



Département Génie Mécanique et Productique
Laboratoire de dimensionnement des structures
17 rue de France
69627 Villeurbanne cedex

TP de Dimensionnement des Structures

**Semestre N°3 : Modélisation par éléments finis d'un capteur
d'effort de type « S »**



Rédigé par : équipe de DDS – Version N°2





Table des matières

Introduction	3
I – Etude par éléments finis du capteur	4
1°/ Modélisation du capteur.....	4
a – Maillage de la géométrie du corps d'épreuve	4
b – Matériau du corps d'épreuve	5
c – Conditions aux limites de la simulation	5
2°/ Convergence des études par éléments finis	6
3°/ Autres méthodes de validation de l'étude par éléments finis.....	7
a - Modèle « grossier » de type poutre.....	7
b – Méthode expérimentale.....	8
Annexe N°1 : Mise en plan du corps d'épreuve	9
Annexe N°2 : Caractéristiques mécaniques d'un alliage d'aluminium de type 2017.....	10
Annexe N°3 : Réalisation d'une étude par éléments finis.....	11

Introduction

Les questions liées à la résistance d'une structure ne peuvent être dissociées de sa géométrie, du matériau qui la compose et des chargements extérieurs auxquels elle est soumise. Cette réalité atteste de la complexité du travail d'un concepteur. Qu'il s'agisse d'une étude de pré-dimensionnement ou d'optimisation d'une pièce, la démarche mise en œuvre est rigoureusement la même. Elle consiste à mettre en relation le triptyque [matériau – géométrie – conditions aux limites] à partir d'essais expérimentaux, de calculs analytiques et/ou numériques.

Ces derniers sont aujourd'hui très répandus dans le monde industriel au travers de logiciels exploitant la méthode des éléments finis (figure N°1).

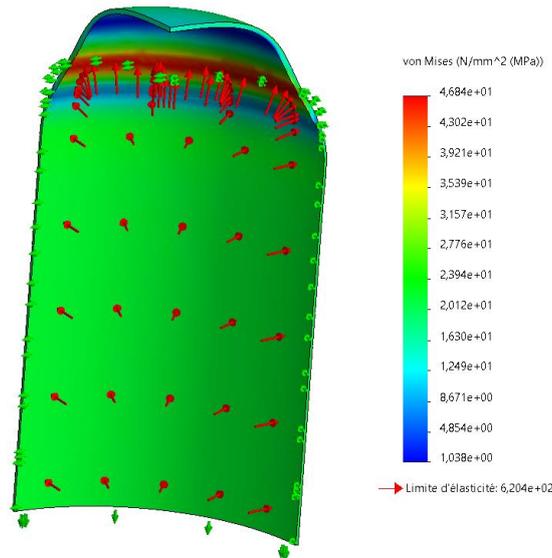


Figure N°1 : Vue d'une simulation par élément fini d'une partie d'une cuve sous pression

Ce mode de résolution d'un problème de dimensionnement est rapide, aisé et visuel du point de vue des technologues. La simplicité apparente d'utilisation des codes de calculs n'arrange rien à cette image de logiciel « clic bouton ». Pour autant et bien que très puissante, cette méthode n'en reste pas moins un outil performant qu'il convient de savoir maîtriser pour ne pas risquer l'intégrité des structures qui en résultent.

Ce TP propose à travers l'étude d'un capteur d'effort uniaxiale de type « S » (figure N°2) de mettre en place les outils et la démarche nécessaires pour réaliser un dimensionnement par éléments finis.



Figure N°2 : Vue d'un capteur d'effort de type « S » (source : sensel-measurement.fr)

A l'issue de cette activité, le(la) futur(e) technicien(ne) en génie mécanique disposera des moyens nécessaires à la mise en place ainsi qu'à la vérification de tels calculs.

I - Etude par éléments finis du capteur

1°/ Modélisation du capteur

Le capteur d'effort en S (figure N°3) est composé d'un corps d'éprouve en alliage d'aluminium et de deux fois quatre jauges de déformations (numérotées de J1 à J8).

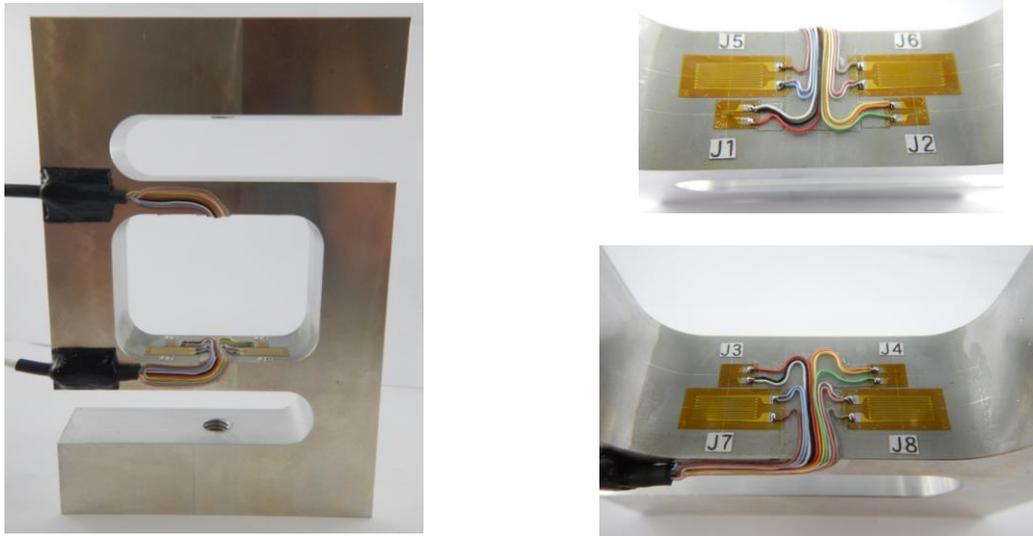


Figure N°3 : Capteur d'effort de type « S »

La géométrie du corps d'éprouve est définie par sa mise en plan donnée dans l'annexe N°1.

a - Maillage de la géométrie du corps d'éprouve

Le maillage utilisé pour discrétiser la géométrie du corps d'éprouve dans la simulation par éléments finis est de type « Delaunay T6-1 ». Les points à mailler¹ sur ce corps d'éprouve sont définis par la figure N°4 suivante :

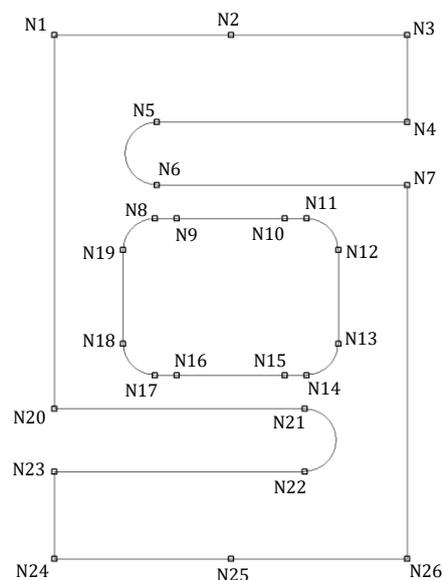


Figure N°4 : Cartographie des points à mailler sur le corps d'éprouve

¹ Un point à mailler permet de raffiner localement le maillage (diminuer la taille des mailles) et/ou permet d'obtenir une information (contrainte, déplacement, déformation, ...) sur un emplacement précis de la géométrie.

Avec :

- Les nœuds N°2 et N°25 sont respectivement au centre des segments [N1-N3] et [N24-N26].
- Les nœuds N°9, N°10, N°16 et N°15 (points de collage des jauges N°1 & 5, N°2 & 6, N°4 & 8 et N°3 & 7) sont respectivement éloignés d'une distance de 6,25mm des nœuds N°8, N°11, N°17 et N°14.

Les différents maillages utilisés pour les simulations du comportement du corps d'éprouve sont résumés dans le tableau N°1 ci-dessous :

N°	Nb d'éléments	Nœuds à raffiner (coefficient à appliquer)															
		5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22
1	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	100	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	300	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6
4	500	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	8
5	700	10	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	10	10

Tableau N°1 : Maillages utilisés pour la SEM du corps d'éprouve

b – Matériau du corps d'éprouve

Le corps d'éprouve du capteur est réalisé dans un alliage d'aluminium de type 2017. Le brut ayant servi à l'obtention de cette pièce a également permis de réaliser des éprouvettes de traction. Les résultats des essais de caractérisation de ce matériau sont donnés dans l'annexe N°2.

c – Conditions aux limites de la simulation

Les conditions aux limites utilisées pour réaliser la simulation par éléments finis du corps d'éprouve du capteur en S sont quant à elles définies par la figure N°5 ci-dessous :

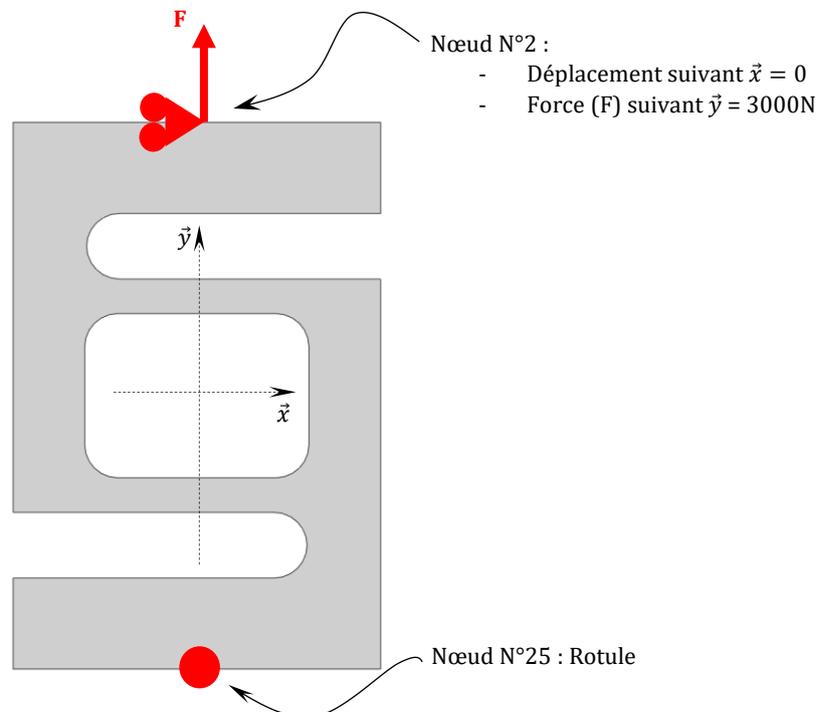


Figure N°5 : Modélisation du capteur en S



2°/ Convergence des études par éléments finis

La réalisation d'une simulation par élément fini (SEM) répond à une succession d'opérations qu'il convient de traiter dans l'ordre pour garantir la robustesse des résultats. L'organigramme présenté dans l'annexe N°3 détaille la manière de conduire ce type d'étude.

Réalisez les étapes suivantes en vous servant de l'organigramme de l'annexe N°3 et des informations données dans le TP :

Etape N°1 : Réalisez une première étude par éléments finis du corps d'épreuve du capteur en « S » répondant au maillage N°1 proposé dans le tableau N°1 du paragraphe I-1-a.

Etape N°2 : Consignez dans un tableur Excel® les valeurs suivantes une fois la première simulation réalisée:

- La distorsion min du maillage
- Le nombre de nœuds
- La contrainte de Von Mises max hors des régions d'application des conditions aux limites
- La contrainte (Sxx) au point de collage des jauges J1 à J4
- Le temps de calcul



Le temps de calcul est disponible dans l'onglet « Résultats » puis cliquez sur « Ficher » → « Editer » → « Fichier .RES »

Etape N°3 : Tracez sous Excel® le début de l'étude de convergence, à savoir :

- La contrainte de Von Mises max en fonction du nombre de nœuds.
- La contrainte au point de collage des jauges J1 à J4 en fonction du nombre de nœuds.



Appelez le professeur pour faire valider cette première simulation.

Dans quelle(s) zone(s) conviendrait-il de raffiner le maillage pour réaliser une deuxième simulation par éléments finis.

Etape N°4 : Répétez les étapes N°1 à 3 pour les maillages N°2, N°3, N°4 et N°5.



Appelez le professeur pour faire valider vos études de convergence.

Etape N°5 : Proposez et réalisez une simulation « N°6 » par éléments finis où le maillage est raffiné à l'extrême (3000 éléments par exemple).

Ajoutez les résultats (distorsion, nombre de nœuds, ...) de cette simulation à votre fichier Excel®.

Etape N°6 : Tracez sous Excel® l'évolution du temps de calcul en fonction du nombre de nœuds contenu dans la simulation par éléments finis.



Appelez le professeur pour discuter de la pertinence de cette dernière simulation et du rôle que revêt l'étude de convergence.

3°/ Autres méthodes de validation de l'étude par éléments finis

Vérifier la cohérence des résultats fournis par une étude aux éléments finis représente un enjeu crucial pour la résistance de la structure concernée. Par extension, la sécurité des utilisateurs est directement visée par la justesse de ces calculs. Il convient d'utiliser des moyens plus ou moins avancés pour valider une simulation par éléments finis avant de l'exploiter.

a - Modèle « grossier » de type poutre

La théorie des poutres, bien que limitée à certain usage permet de donner un ordre de grandeur fiable (bien que l'exactitude n'est pas ici recherchée), rapide et peu couteux de la contrainte attendue au sein de la structure. Les résultats obtenus sont directement comparés à ceux fournis par la simulation aux éléments finis.

Le modèle poutre associé au capteur d'effort de type « S » est donné par la figure N°6 suivante (distances en [mm] et effort en [N]) :

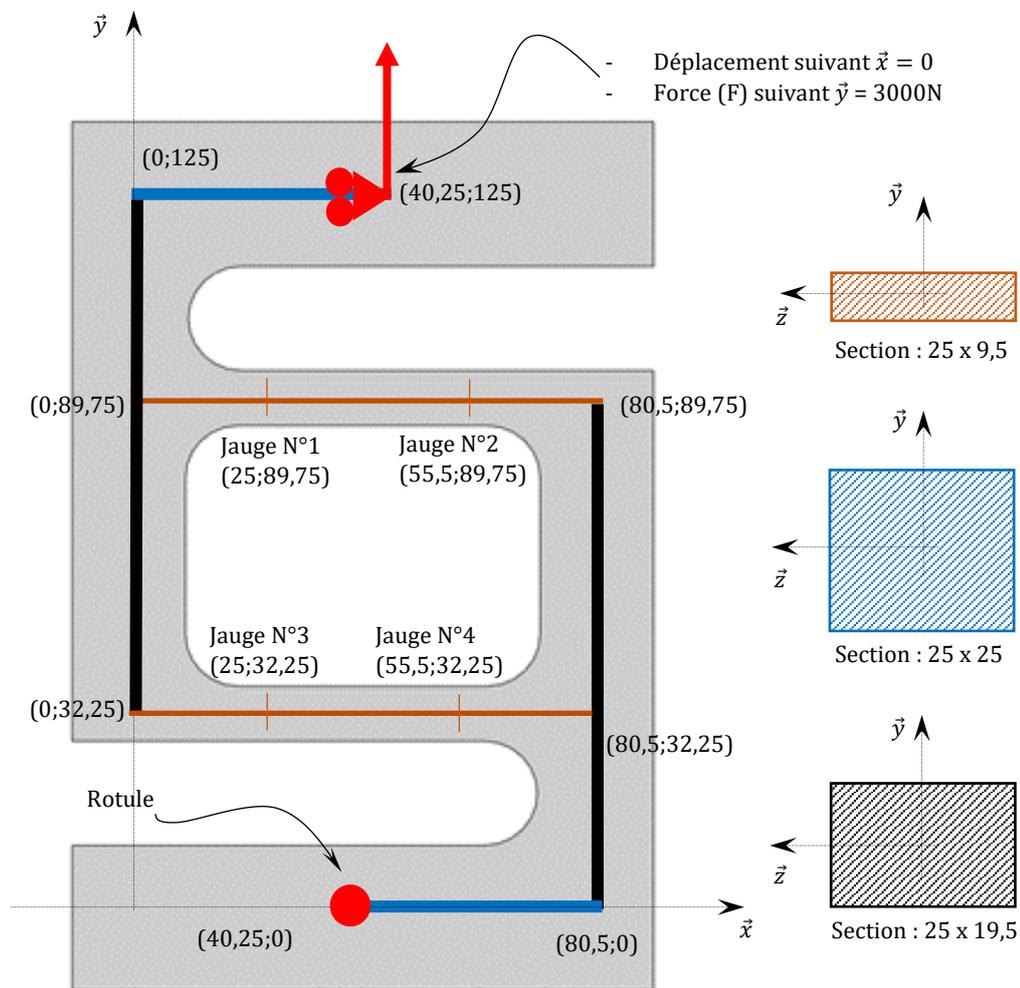


Figure N°6 : Modélisation poutre du capteur d'effort de type « S »



Répondez dans l'ordre aux questions suivantes :

Question N°1 : Est-il possible d'utiliser la théorie des poutres pour valider le pré-dimensionnement du capteur d'effort de type « S » ? Pourquoi ?

Question N°2 : Modélisez le problème proposé sous RDM7® ossature plane. Lancez et enregistrez le calcul.



- Le matériau employé est le même que celui du paragraphe précédent.
- Les vidéos utilisées au semestre N°2 pour l'utilisation de RDM7® ossature sont toujours disponibles....

Question N°3 : Donnez la valeur de la contrainte σ_{xx} (contrainte normale) au point de collage des jauges N°1 à N°4.

Question N°4 : Comparer les valeurs précédentes à celles données par la simulation aux éléments finis du paragraphe I.2. Que pouvez-vous conclure quant à la pertinence de chacun des modèles ?



Appelez le professeur pour faire valider votre étude.

b – Méthode expérimentale

Bien que très coûteux, la mise en place d'essais expérimentaux reste le moyen le plus efficace et sûr pour valider/invalider les résultats d'une simulation par éléments finis.

Le protocole de mesure proposé permet, à partir de jauge de déformation suffisamment petite (taille de grille <1mm) et d'une machine d'essais de directement confronter les résultats obtenus à ceux des paragraphes précédents.

Répondez dans l'ordre aux questions suivantes :

Question N°5 : Réalisez trois cycles de charge/décharge du capteur d'effort en « S » à l'aide de la machine d'essais en relevant à chaque fois la valeur des jauges N°1 à N°4.

Question N°6 : Post-traitez les données obtenues à la question précédente afin d'obtenir les valeurs suivantes :

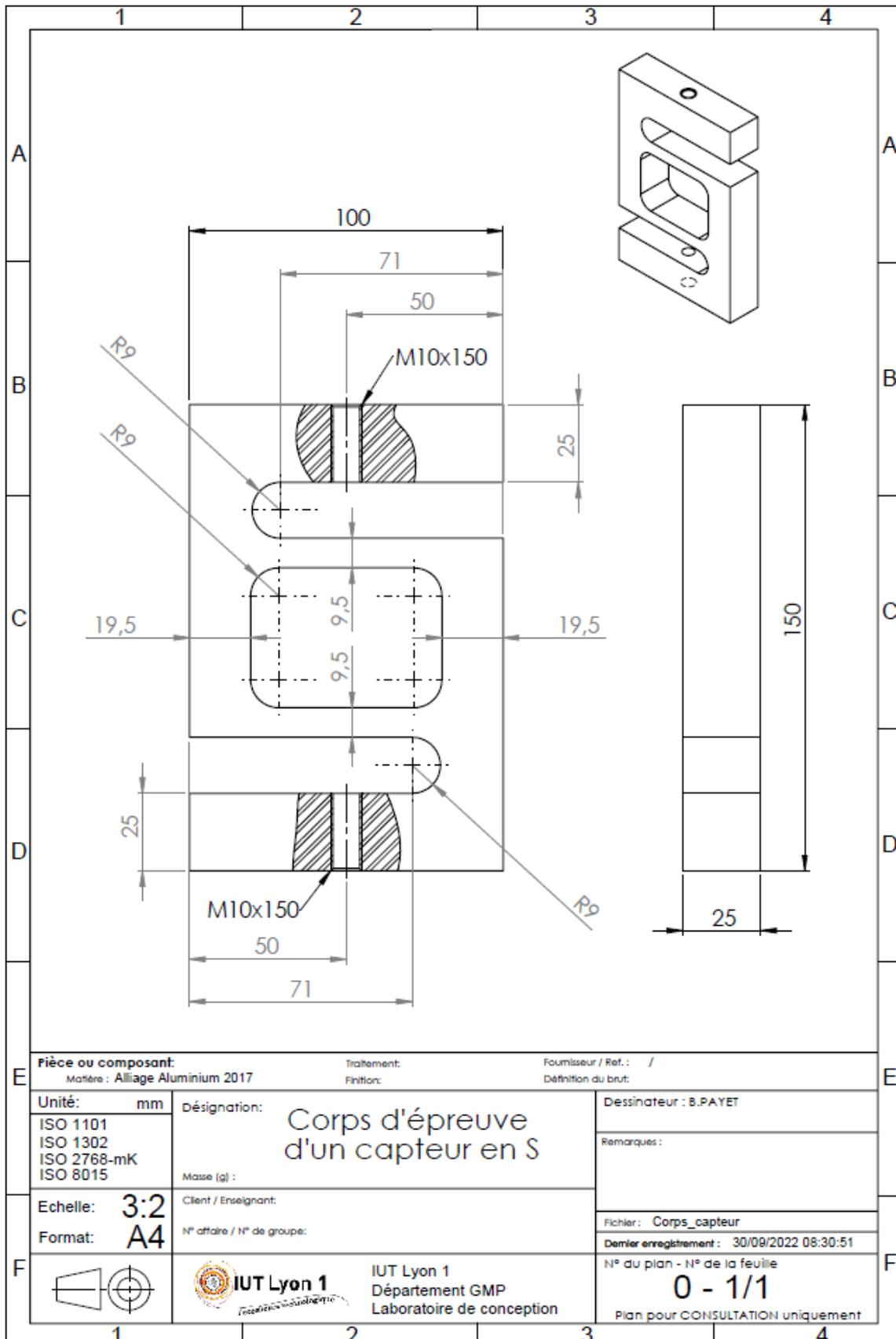
- La moyenne des déformations pour chacune des jauges
- La contrainte moyenne au niveau de chacune des jauges (hypothèse : chaque jauge est collée dans la direction principale des contraintes).

Question N°7 : Conclure sur la validité de la simulation par éléments finis du capteur d'effort étudié.

II – Conclusion

Question N°8 : Conclure sur l'ensemble de la démarche à mettre en œuvre pour réaliser une simulation par éléments finis.

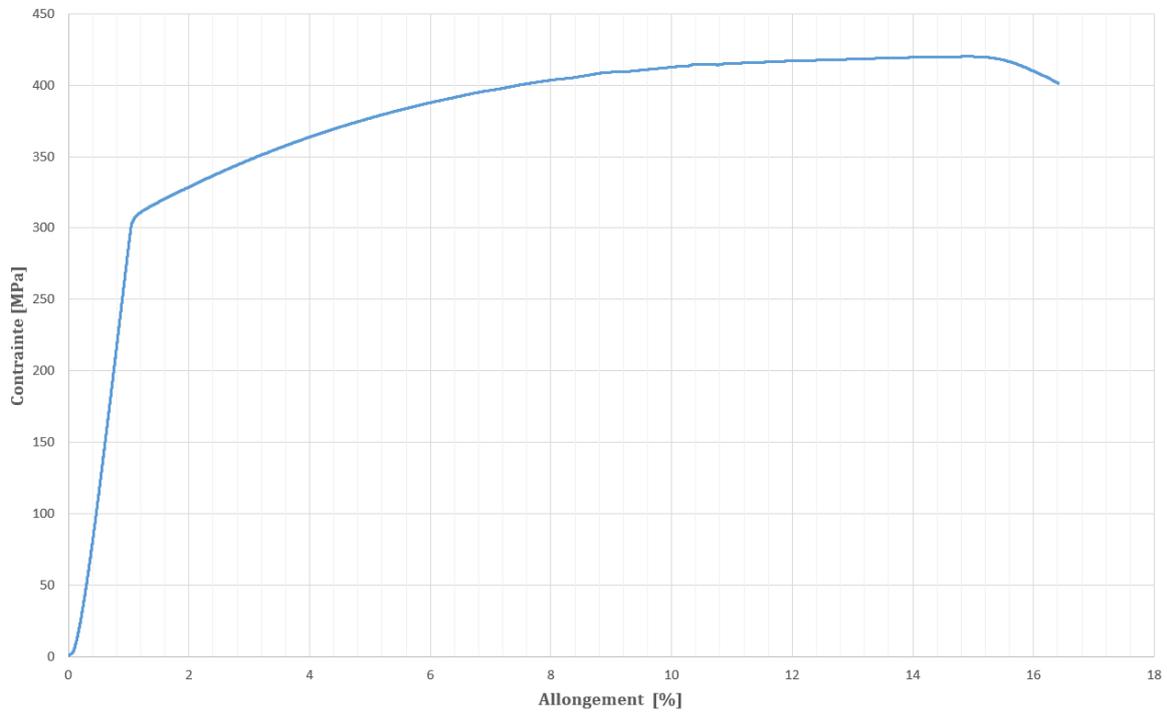
Annexe N°1 : Mise en plan du corps d'épreuve



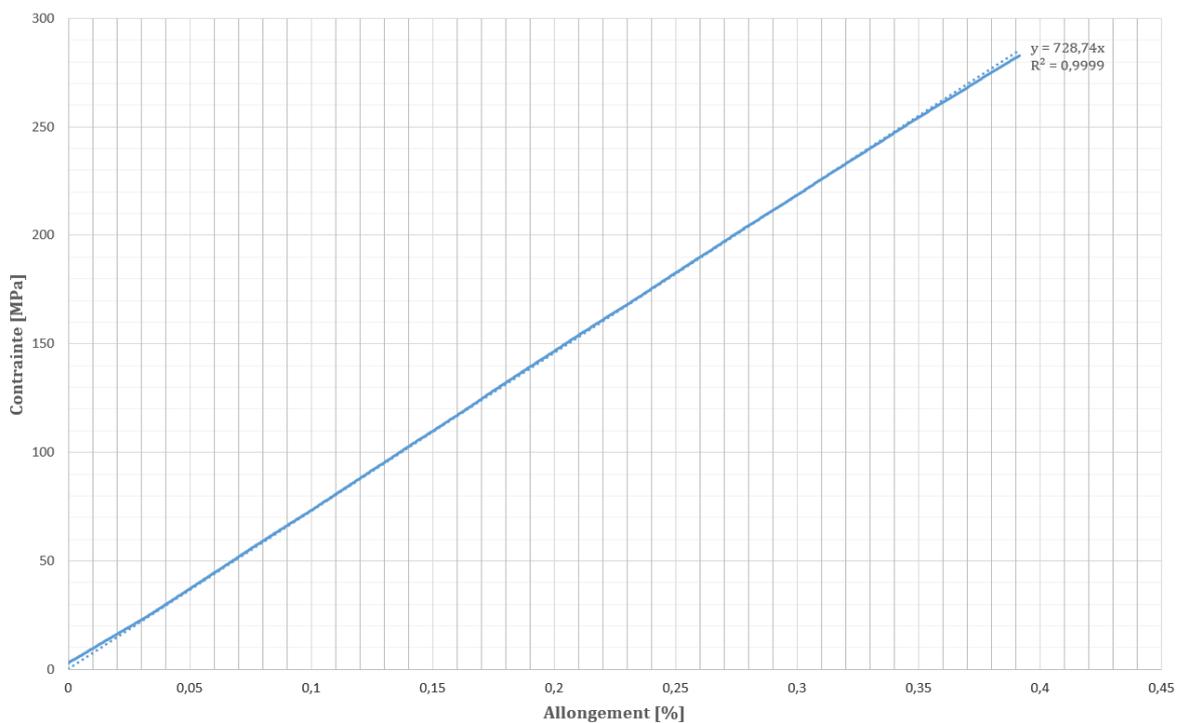


Annexe N°2 : Caractéristiques mécaniques d'un alliage d'aluminium de type 2017

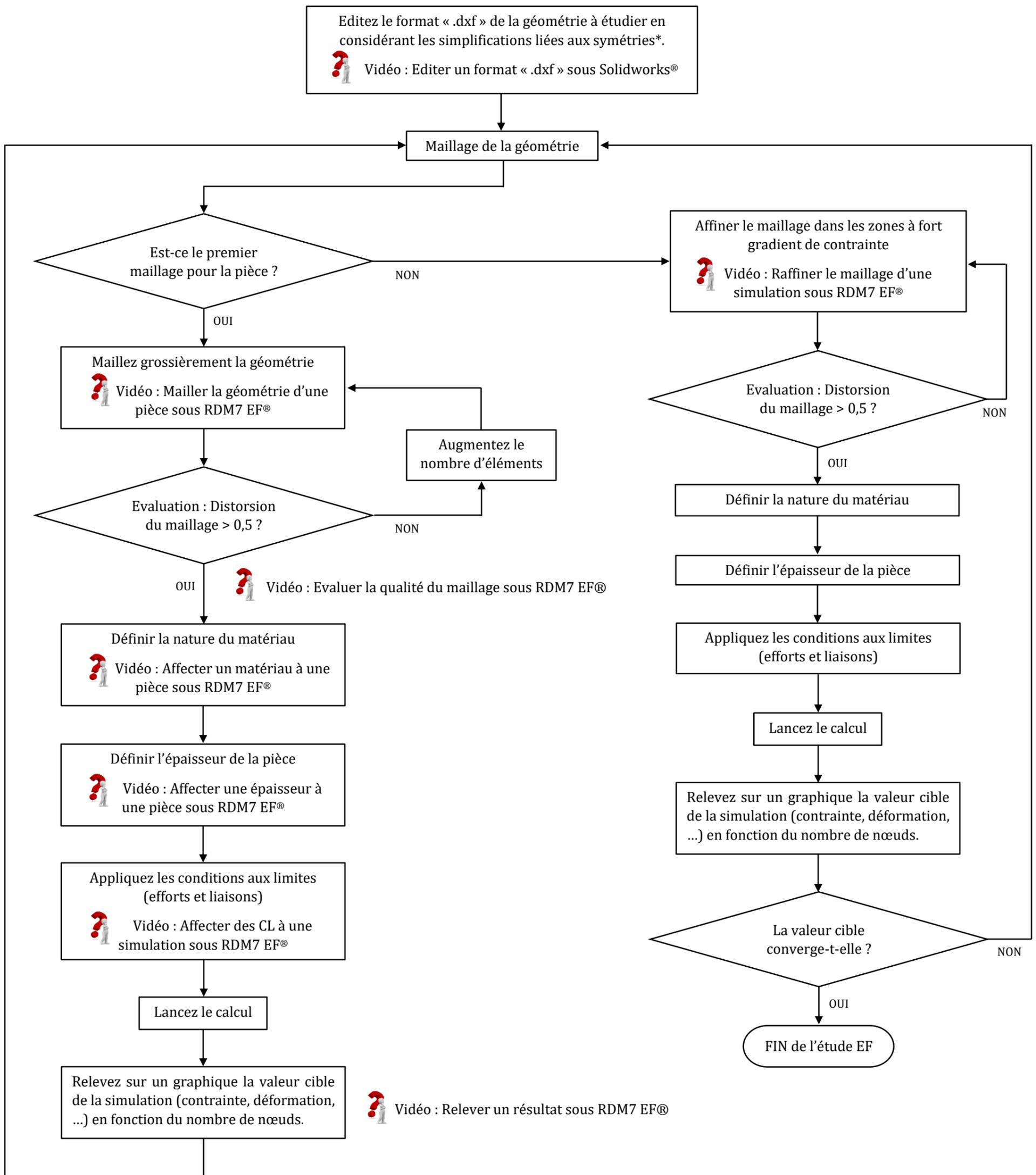
Courbe Contrainte/déformation d'un alliage d'aluminium de type 2017



Etude de la zone élastique d'un alliage d'aluminium de type 2017



Annexe N°3 : Réalisation d'une étude par éléments finis



*Les conditions de symétries s'appliquent uniquement si la géométrie et les conditions aux limites (efforts et liaisons) se répètent.