



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 : Etude du dimensionnement d'un levier de  
presse pneumatique**



Rédigé par : équipe de DDS – Version N°3





## Table des matières

I - Introduction.....	2
II – Contexte de l'étude .....	3
III - Etude du comportement de la presse .....	5
1°/ Etude expérimentale.....	5
2°/ Etude analytique.....	6
3°/ Analyse des résultats .....	7
IV - Modélisation EF du levier.....	8
1°/ Maillage de la géométrie du levier .....	8
2°/ Matériau du levier.....	8
3°/ Conditions aux limites de la simulation .....	9
4°/ Mise en œuvre de la simulation.....	9
V – Vérification du modèle EF du levier .....	10
1°/ Etude de pré-dimensionnement du levier .....	10
VI - Conclusion.....	11
Annexe N°1 : Relevés de mesures .....	12
Annexe N°2 : Mise en plan de la biellette .....	13
Annexe N°3 : Aide pour ajouter une courbe à un graphique sous Excel .....	14
Annexe N°4 : Mise en plan du flasque du levier .....	15
Annexe N°5 : Réalisation d'une étude par éléments finis.....	16
Annexe N°6 : Aide pour la prise en main du module « ossature » .....	17

## I - Introduction

Les questions liées à l'intégrité physique 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 du concepteur (Figure N°1).

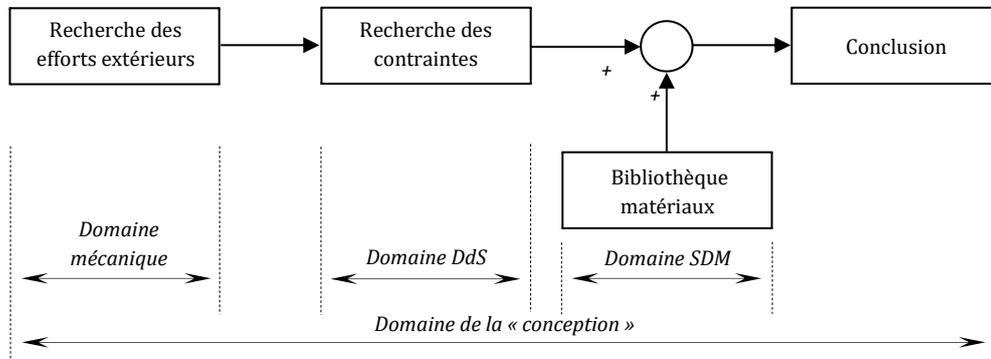


Figure N°1 : Le travail du concepteur

Qu'il s'agisse d'une étude de pré-dimensionnement ou d'optimisation d'une structure, la démarche mise en œuvre est rigoureusement la même. Elle consiste à mettre en relation le triptyque [matériau – géométrie – conditions aux limites (efforts et liaisons)] à partir de calculs numériques, analytiques et/ou d'essais expérimentaux.

Ce TP propose la mise en place d'une démarche de dimensionnement à partir de l'étude d'une presse d'atelier (Figure N°2), en se focalisant plus particulièrement sur l'une des pièces qui la compose, son levier (Figure N°3).

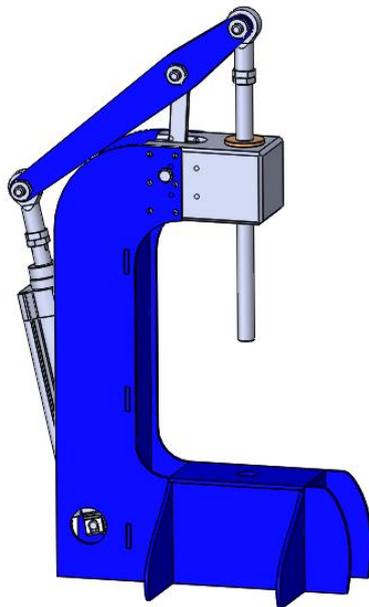


Figure N°2 : Vue de la presse pneumatique



Figure N°3 : Ensemble « levier »

Ainsi, une première partie sera consacrée à la caractérisation expérimentale du comportement de la presse lors de son utilisation. Les données recueillies seront comparées à un modèle analytique fourni puis utilisées pour créer dans une deuxième partie, un modèle numérique. Une troisième partie sera consacrée à la vérification des calculs. Enfin une conclusion sera apportée sur l'ensemble des études menées afin de présenter une synthèse des résultats obtenus et de discuter de leur pertinence.

## II - Contexte de l'étude

La presse présentée en Figure N°4 est un outil permettant le montage/démontage d'éléments mécaniques (roulement, palier, ...). Plusieurs modèles utilisant différentes énergies (hydraulique, pneumatique, électrique, ...) sont aujourd'hui commercialisés. Il s'agit ici d'une presse de type « pneumatique à levier ». Elle se compose d'un bâti (1), d'un vérin pneumatique (2), d'un levier double (3), d'une bielle (4) et d'un poussoir (5).

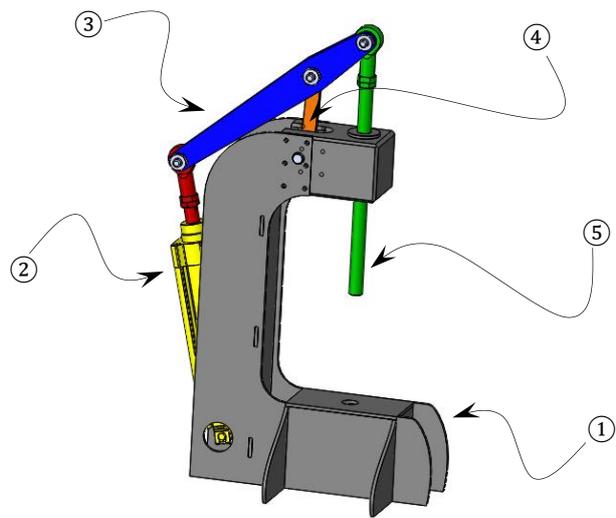


Figure N°4 : Présentation de la presse à levier

Le schéma cinématique plan présenté en Figure N°5 permet de formaliser les liaisons ainsi que leur agencement :

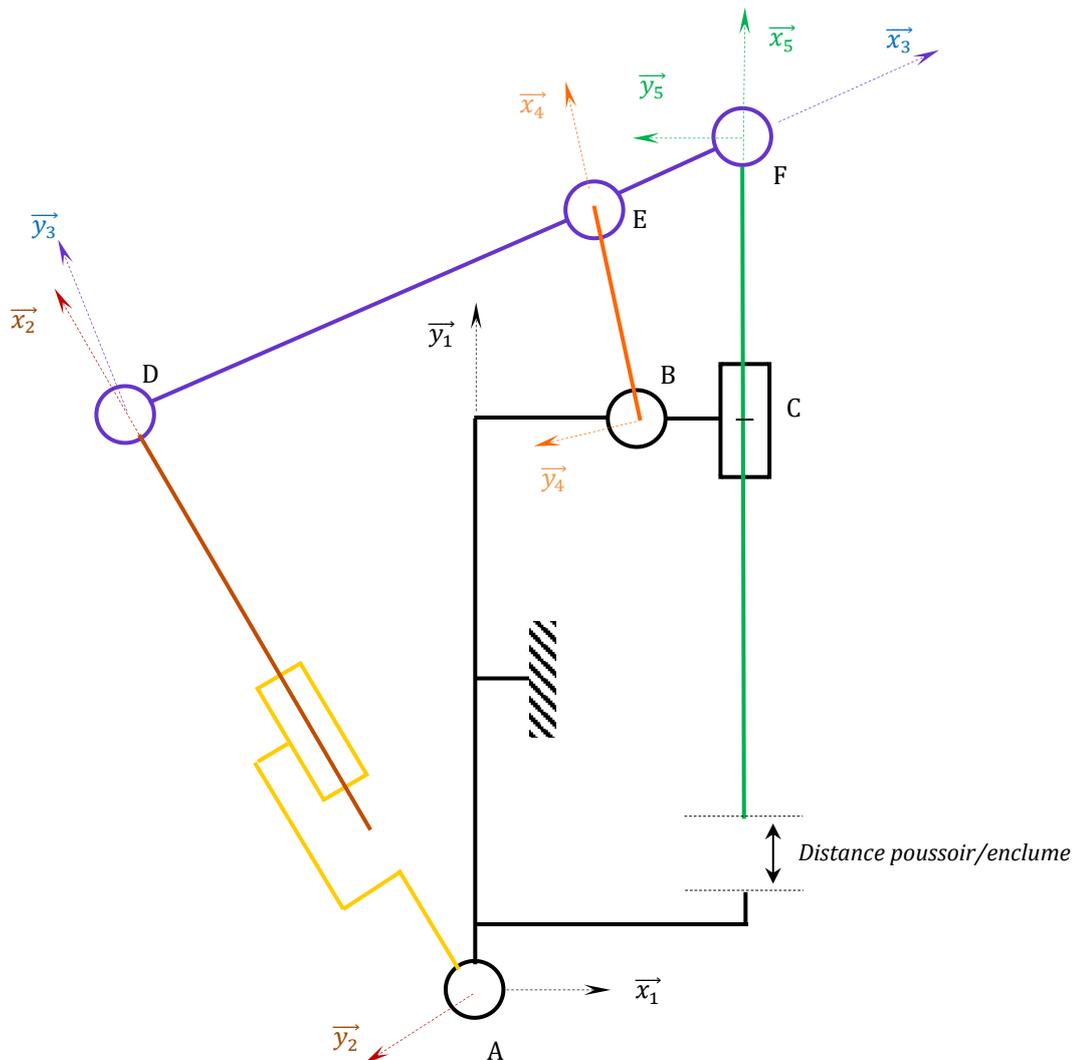


Figure N°5 : Schéma cinématique

Avec les paramètres suivants :

- $\overrightarrow{AB} = 97,5 \overrightarrow{x_1} + 441,9 \overrightarrow{y_1}$
- $\overrightarrow{BC} = 182,5 \overrightarrow{x_1}$
- Course du poussoir : 50mm
- $\overrightarrow{AD} = [416,5; 554] \overrightarrow{x_2}$
- $\overrightarrow{BE} = 120 \overrightarrow{x_4}$
- $\overrightarrow{DE} = 250 \overrightarrow{x_3}$
- $\overrightarrow{EF} = 100 \overrightarrow{x_3}$

Les liaisons en A, B, C, D, E et F sont considérées parfaites (sans jeu et sans frottement).

A chaque pièce est associé un repère local noté  $(\overrightarrow{x_i}; \overrightarrow{y_i})$ . Les angles entre les repères locaux des pièces ②, ④, ⑤ et le repère local de la pièce ③ (« levier double ») sont notés respectivement  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ . Les figures de changement de base relatives au levier sont définies par la Figure N°6.

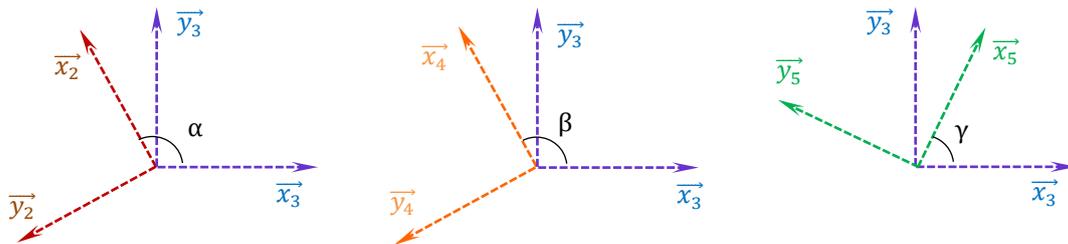


Figure N°6 : Changement de base par rapport au levier

Une étude géométrique permet de définir l'ensemble de ces angles en fonction de la distance poussoir/enclume (passage disponible sous le « col de cygne » lors de l'utilisation de la presse). Les résultats sont synthétisés dans le Tableau N°1.

Distance poussoir/enclume [mm]	$\alpha$ [deg]	$\beta$ [deg]	$\gamma$ [deg]
0	99,9	89,4	82,6
5	97,2	86,2	79,8
10	94,3	82,9	76,9
15	91,4	79,4	74,0
20	88,3	75,7	71,0
25	85,0	71,9	68,1
30	81,5	67,8	65,1
35	77,8	63,5	61,9
40	73,8	58,9	58,7
45	69,3	53,9	55,2
50	64,2	48,4	51,6

Tableau N°1 : Changement de repère en fonction de la distance poussoir/enclume

Les caractéristiques du vérin sont récapitulées dans le Tableau N°2 suivant :

Diamètre du piston $\varnothing_{\text{piston}}$ [mm] :	50
Diamètre de tige $\varnothing_{\text{tige}}$ [mm] :	20
Course de la tige [mm] :	150
Pression max d'utilisation [bar] :	10

Tableau N°2 : Caractéristiques techniques du vérin équipant la presse à levier

### III - Etude du comportement de la presse

Le dimensionnement d'une pièce mécanique nécessite d'identifier la configuration dans laquelle elle est la plus sollicitée. Il existe pour cela plusieurs méthodes. La première s'appuie sur une modélisation (schéma cinématique, plan d'ensemble, ...) définissant la position des liaisons entre elles. Une étude analytique paramétrée permet alors de déterminer la configuration la plus défavorable servant par la suite au dimensionnement. La deuxième méthode nécessite l'instrumentation du système. L'opérateur doit alors effectuer une série de mesures afin d'isoler le point de fonctionnement critique. Cette démarche ne peut donc concerner que la validation ou l'optimisation de tout ou d'une partie du mécanisme. Dans la suite de ce paragraphe, on se propose de mettre en œuvre ces deux méthodes.

#### 1°/ Etude expérimentale

Afin de caractériser les sollicitations extérieures réelles endurées par le levier durant ses multiples phases de fonctionnement, la presse a été équipée d'une série de capteurs. Leur implantation est donnée au travers de la Figure N°7.

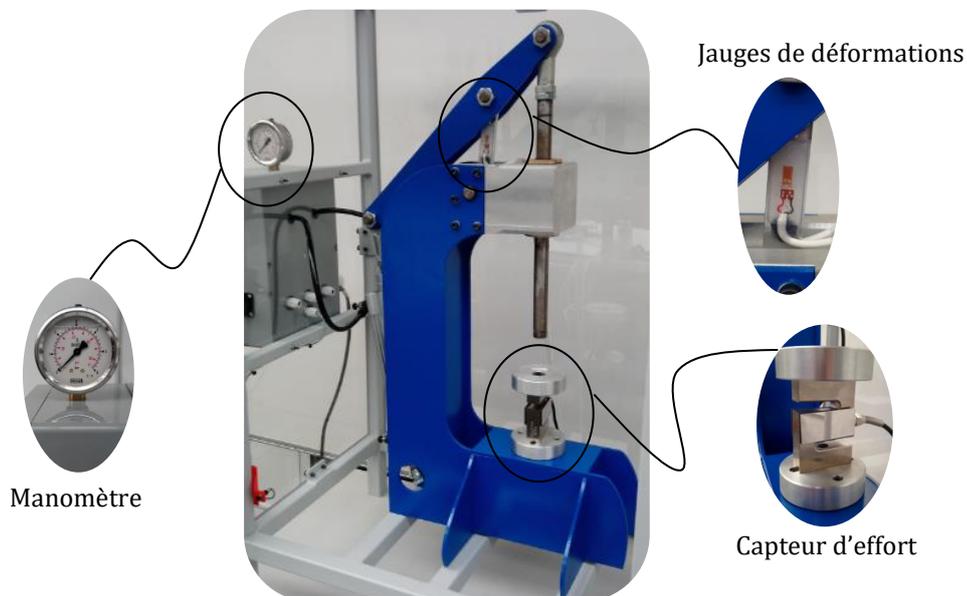


Figure N°7 : Instrumentation de la presse

Les moyens de mesures sont :

- Un manomètre indiquant la pression régnant dans la chambre arrière du vérin ②.
- Des jauges de déformations indiquant la déformation longitudinale de la biellette ④.
- Un capteur d'effort (type « S ») indiquant l'effort du poussoir ⑤. Cet effort est dirigé dans la direction du poussoir.

Le manomètre et les jauges de déformations ne fournissent pas une lecture directe de l'effort développé ou enduré respectivement par le vérin et la biellette. On parle alors de mesure indirecte : la relation liant la valeur donnée par ces instruments à la grandeur cible (ici l'effort) doit être déterminée analytiquement.

Dans la suite de cette partie, on se propose de mettre en œuvre un protocole expérimental afin de rendre compte des efforts auxquels le levier est soumis. Pour ce faire, répondez dans l'ordre aux questions suivantes :



- Question N°1 :** A partir de vos observations sur la chaîne de mesures, donnez les unités propres à chaque capteur utilisé sur le banc.
- Manipulation N°1 :** Réalisez la campagne d'essais à partir du protocole expérimental N°1 présent sur le poste de travail et consignez vos résultats dans un tableau (Annexe N°1).
- Question N°2 :** Déterminez la relation liant l'effort développé par le vérin (2) en sortie de tige (noté  $F_{\text{vérin} \rightarrow \text{levier}}$ ) en fonction de la pression d'alimentation (noté  $P_{\text{alim}}$ ) et des caractéristiques du vérin.
- Question N°3 :** Déterminez la relation permettant de donner l'effort normal dans la bielle (4) (noté  $N_{\text{bielle}}$ ) en fonction de ses caractéristiques (surface notée  $S_{\text{bielle}}$  et module de Young noté  $E_{\text{bielle}}$ ) et de l'information moyenne donnée par les jauges (notée  $\varepsilon_{\text{moy}}$ ).
- Question N°4 :** Dédurre de la question précédente la relation donnant l'effort (noté  $F_{\text{bielle} \rightarrow \text{levier}}$ ) auquel est soumis le levier. Rappel : la bielle est un solide soumis à deux forces.
- Manipulation N°2 :** A l'aide de la feuille Excel fournie (commun → DDS → prendre → TP\_2 → relevés\_de\_mesures.calc), complétez l'onglet « expérimentations ». Les courbes suivantes se tracent automatiquement dans l'onglet « Résultats » :
- L'évolution de la norme de l'effort du vérin (noté  $F_{\text{vérin} \rightarrow \text{levier}}$  [N]) en fonction de l'altitude du poussoir.
  - La norme de l'effort dans la bielle (noté  $F_{\text{bielle} \rightarrow \text{levier}}$  [N]) en fonction de l'altitude du poussoir.
  - La norme de l'effort du poussoir (noté  $F_{\text{poussoir} \rightarrow \text{levier}}$  [N]) en fonction de son altitude.

## 2°/ Etude analytique

Parmi les différentes méthodes citées précédemment, la résolution analytique en est de loin la plus ancienne et la plus précise. Le calcul des chargements induits sur le levier devient possible lorsque les liaisons, leur agencement dans le plan (ou l'espace) et l'intensité de l'effort d'entrée (vérin) sont connus. Le Tableau N°3 donne les résultats obtenus à la suite de cette analyse correspondant à la modélisation décrite en Figure N°5.

Distance poussoir/enclume [mm]	$F_{\text{vérin} \rightarrow \text{levier}} \vec{x}_2$ [N]	$F_{\text{bielle} \rightarrow \text{levier}} \vec{x}_4$ [N]	$F_{\text{poussoir} \rightarrow \text{levier}} \vec{x}_5$ [N]	$F_{\text{poussoir} \rightarrow \text{levier}} \vec{y}_5$ [N]
0	981,7	-3384,9	2423,86	108,19
5	981,7	-3416,6	2458,42	88,41
10	981,7	-3453	2497,84	62,99
15	981,7	-3495,1	2543	31,64
20	981,7	-3544,3	2594,98	-6,11
25	981,7	-3602,1	2655,1	-51,01
30	981,7	-3670,72	2725,12	-104,11
35	981,7	-3753,17	2807,51	-167
40	981,7	-3853,78	2905,87	-242,08
45	981,7	-3979,32	3025,86	-333,15
50	981,7	-4141,34	3177,21	-446,57

Tableau N°3 : Résultats de l'étude analytique



**Manipulation N°3 :** A partir des résultats de l'étude analytique ci-dessus et de la feuille Excel onglet « Résultats analytique », tracez sur le même graphique que précédemment (cf. annexe N°3) :

- L'évolution de la norme de  $F_{\text{bielle} \rightarrow \text{levier}}$  en fonction de l'altitude du poussoir.
- L'évolution de la composante de  $F_{\text{poussoir} \rightarrow \text{levier}}$  suivant  $\vec{x}_5$  en fonction de l'altitude du poussoir.

### 3°/ Analyse des résultats

Ce paragraphe propose d'analyser les données obtenues par l'une ou l'autre des deux méthodes employées précédemment. Si l'affirmation « les hypothèses de résolution sont correctes » est valide, les résultats issus des deux stratégies doivent être similaires. Le cas échéant, il convient de déterminer la cause des écarts. Si les résultats convergent, alors la configuration du levier la plus défavorable pourra être isolée afin de poursuivre la démarche de dimensionnement. Pour ce faire, répondez dans l'ordre aux questions suivantes :

**Question N°5 :** Comparez les résultats obtenus expérimentalement à ceux obtenus analytiquement. Analysez les écarts (amplitudes, causes possibles) et concluez.

**Question N°6 :** A votre avis, quelle est la configuration à utiliser pour dimensionner le levier ? Pourquoi ?

**Question N°7 :** Concluez quant aux avantages et inconvénients de chacune des méthodes employées pour déterminer la configuration du levier la plus dimensionnante.

## IV - Modélisation EF du levier

Le levier (figure N°8) est composé de deux flasques et d'une série d'axes permettant de réaliser les liaisons avec les autres pièces de la presse.

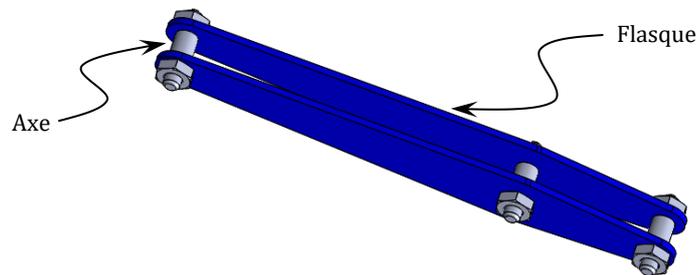


Figure N°8 : Levier de la presse

La géométrie des flasques du levier est définie par une mise en plan donnée dans l'annexe N°4. On se propose ici de mettre en place une simulation aux éléments finis permettant de choisir un matériau adapté au dimensionnement des flasques composant ce levier.

### 1°/ Maillage de la géométrie du levier

Le maillage utilisé pour discrétiser la géométrie du flasque composant le levier dans la simulation par éléments finis est de type « Delaunay T6-1 ». Les points à mailler<sup>1</sup> (noté «  $N_i$  ») et les lignes de séparation<sup>2</sup> (notée «  $L_i$  ») sur cette pièce sont définis par la figure N°9 suivante :

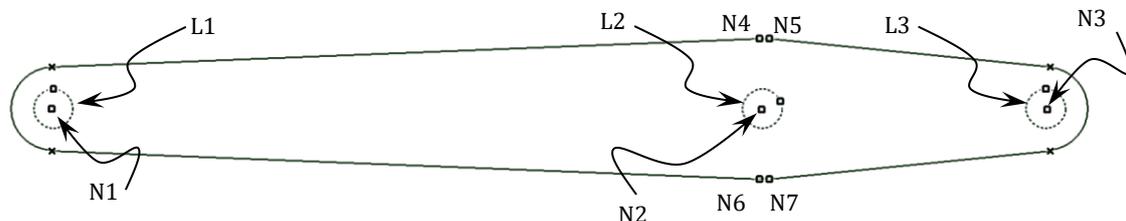


Figure N°9 : Cartographie des points à mailler sur le levier

Nota : Le maillage initial utilisé pour discrétiser la pièce comporte 70 éléments (+/- 15%).

### 2°/ Matériau du levier

A ce stade de l'étude le matériau utilisé pour réaliser le flasque n'est pas encore défini. Toutefois, afin de respecter le plus possible le cas de chargement on se propose d'affecter les matériaux suivants à la simulation EF (figure N°10) :

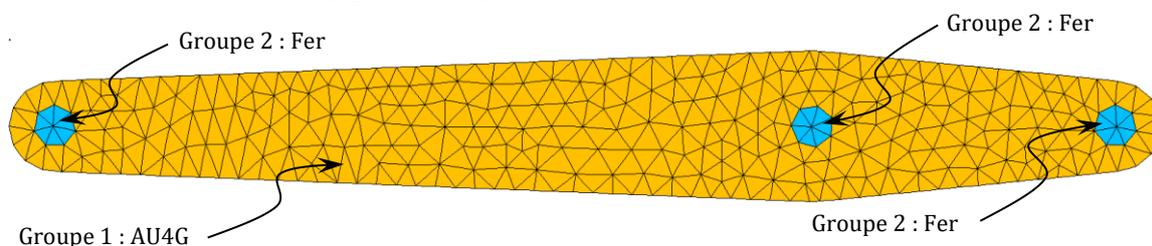


Figure N°10 : Matériaux utilisés pour la simulation EF

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Une ligne de séparation permet de dissocier deux groupes d'éléments

Nota : le groupe 2 « Fer » plus rigide que le groupe 1 modélise l'axe utilisé pour réaliser la liaison entre le flasque et les différentes pièces de la presse.

### 3°/ Conditions aux limites de la simulation

Les conditions aux limites utilisées pour réaliser la simulation par éléments finis du levier sont quant à elles définies par la figure N°11 ci-dessous :

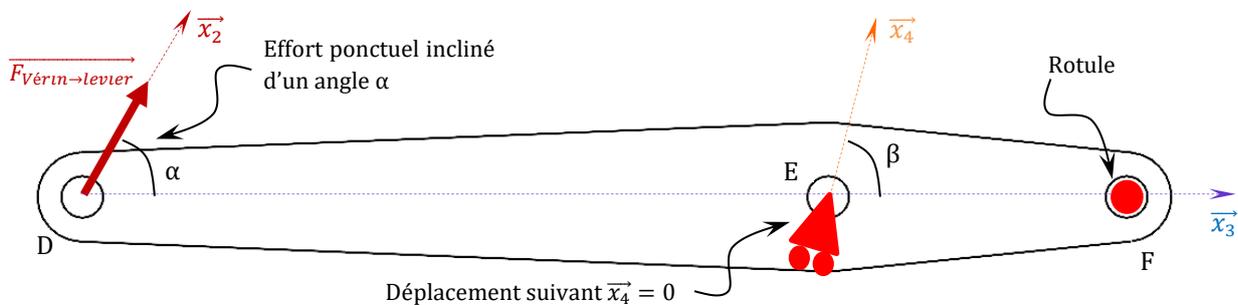


Figure N°11 : Matériaux utilisés pour la simulation EF

Remarque : Les valeurs des angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont à prendre en fonction de la configuration retenue (cf. Question N°6).

### 4°/ Mise en œuvre de la simulation

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°4 détaille la manière de conduire ce type d'étude.

Réalisez les étapes suivantes en vous servant de l'organigramme de l'annexe N°4 et des informations données dans le TP :

**Etape N°1 :** Réalisez une première étude par éléments finis du levier répondant au maillage initial présenté au paragraphe IV-1.

**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

**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.



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 en raffinant le maillage dans les zones à fort gradient de contrainte. Arrêter les simulations lorsque vous avez trois résultats identiques (+/- 5%).



Appelez le professeur pour faire valider votre étude de convergence.

**Question N°8 :** Vérifiez (écarts, cause, ...) la cohérence des actions de liaison aux points E et F entre les résultats issus de la simulation EF et les essais

**Question N°9 :** Calculez le coefficient de sécurité obtenu pour chacun des matériaux de la bibliothèque SDM. Concluez sur le(s) choix à faire.

## V – Vérification du modèle EF du levier

Vérifier la cohérence des résultats fournis par une étude aux éléments finis représente un enjeu crucial pour la résistance de la structure concernée. Il convient d'utiliser des moyens plus ou moins avancés pour valider une simulation par éléments finis avant de l'exploiter.

### 1°/ Etude de pré-dimensionnement du levier

La théorie des poutres, bien que limitée à certain usage permet de donner un ordre de grandeur fiable, 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.

Soit la modélisation poutre du levier (Figure N°12) à associer au Tableau N°1 relatif au paramétrage du système :

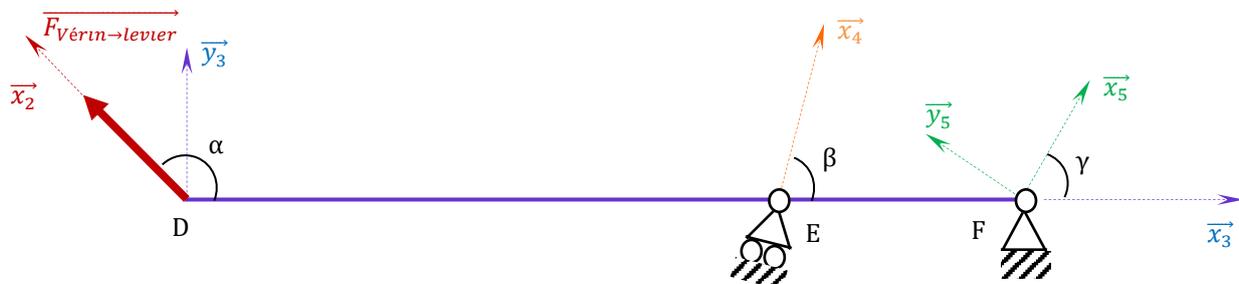


Figure N°12 : Modélisation du levier

Avec les grandeurs suivantes (les distances sont exprimées en [mm]) :

- $\overline{DE} = 250 \overline{x_3}$
- $\overline{EF} = 100 \overline{x_3}$

Répondez dans l'ordre aux questions suivantes :

**Question N°10 :** Recopiez et complétez la modélisation donnée par la Figure N°12 en indiquant les valeurs numériques retenues par rapport à la configuration sélectionnée à la Question N°6. Vous utiliserez pour cela les résultats issus de la résolution EF.

**Manipulation N°4 :** Réalisez la modélisation du levier sous RDM7 ossature® (étude plane).

Remarques :

- La section à paramétrer dans la simulation est à réfléchir car il est impossible d'affecter une section variable sous RDM7 ossature®.
- La spécification du matériau (ici « fer ») dans le logiciel est obligatoire mais n'a pas d'importance pour l'analyse des contraintes dans la poutre.
- Vous utiliserez un changement de repère nodal pour orienter la direction de la résultante en E.



- Vous pouvez vous aider de l'annexe N°4 et des vidéos utilisées au semestre N°2.



Appelez le professeur pour faire valider cette simulation.

**Question N°11 :** Vérifiez la cohérence des efforts de liaisons par rapport aux analyses menées dans les paragraphes précédents. Attention, sous RDM7 ossature®, les réactions des liaisons sont exprimées dans le repère local de la poutre.

**Question N°12 :** Donnez à partir des résultats fournis par RDM7 ossature® les diagrammes des sollicitations en tout point de la poutre. Quel est le point le plus sollicité ?

**Question N°13 :** Donnez la valeur de la contrainte de Von Mises au point le plus sollicité de la poutre.

**Question N°14 :** Les résultats fournis par l'étude précédente sont-ils en accord avec ceux de la simulation EF ? Conclure.

## VI - Conclusion

**Question N°15 :** Réalisez la conclusion de ce TP. Pour cela :

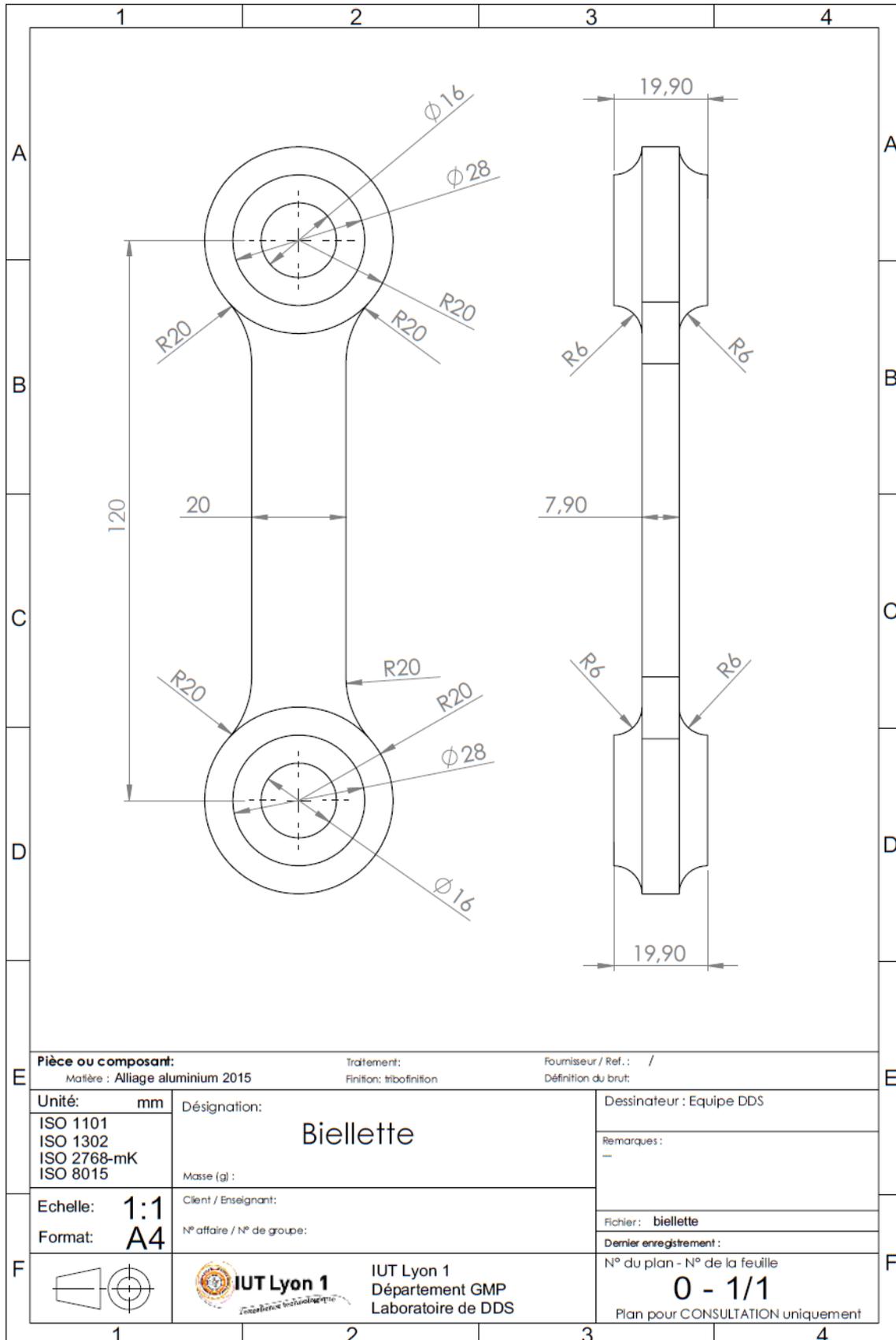
- Rappelez les objectifs initiaux.
- Donnez les démarches de résolution employées.
- Critiquez ces différentes démarches.
- Rappelez les résultats obtenus.
- Analysez les résultats.
- Présentez les différentes solutions retenues.
- Critiquez ces différentes solutions.



## Annexe N°1 : Relevés de mesures

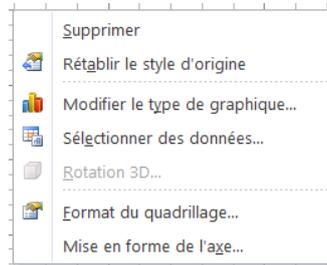
Distance poussoir/enclume [mm]	$\varepsilon_1$ [.....]	$\varepsilon_2$ [.....]	P <sub>vérin</sub> [.....]	F <sub>poussoir→levier</sub> [.....]
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				

## Annexe N°2 : Mise en plan de la biellette

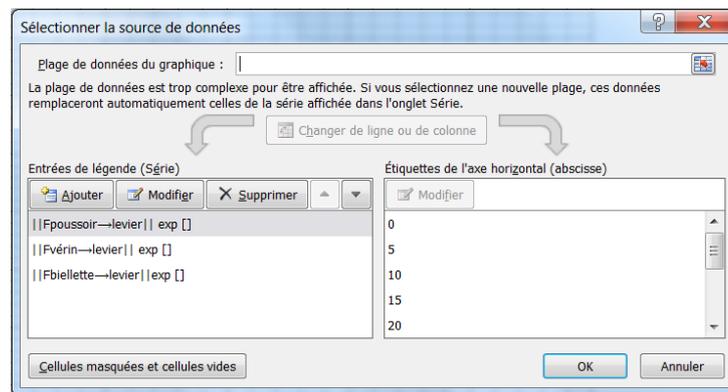


## Annexe N°3 : Aide pour ajouter une courbe à un graphique sous Excel

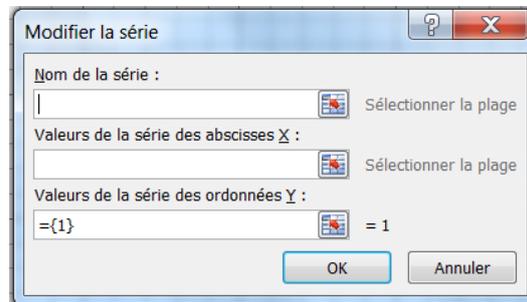
**Etape N°1 :** Faites un clic droit dans la zone du graphique. La fenêtre suivante s'ouvre :



**Etape N°2 :** Cliquez sur « Sélectionner des données ... ». La fenêtre suivante s'ouvre :

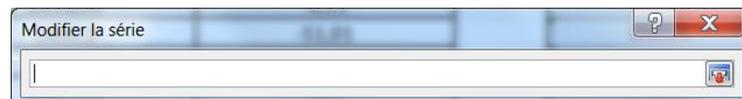


**Etape N°3 :** Cliquez sur « Ajouter ». La fenêtre suivante s'ouvre :



**Etape N°4 :** Remplissez la case « Nom de la série » soit :

- 1°/ En cliquant sur l'icône . Vous pouvez alors sélectionner n'importe quelle cellule de n'importe quel onglet dans la fenêtre qui vient de s'ouvrir. Le remplissage se fera alors automatiquement.

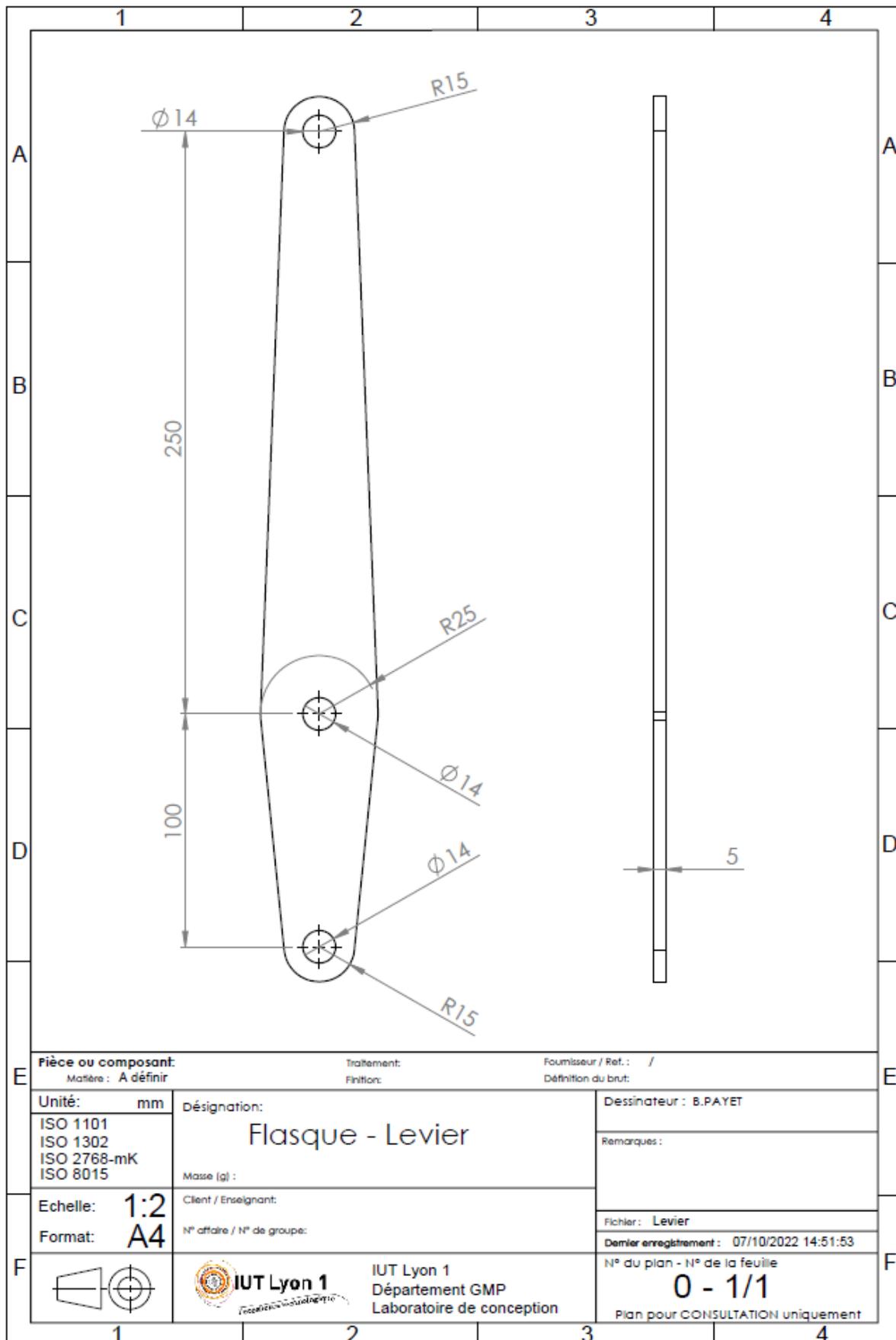


- 2°/ En remplissant manuellement le nom de la série.

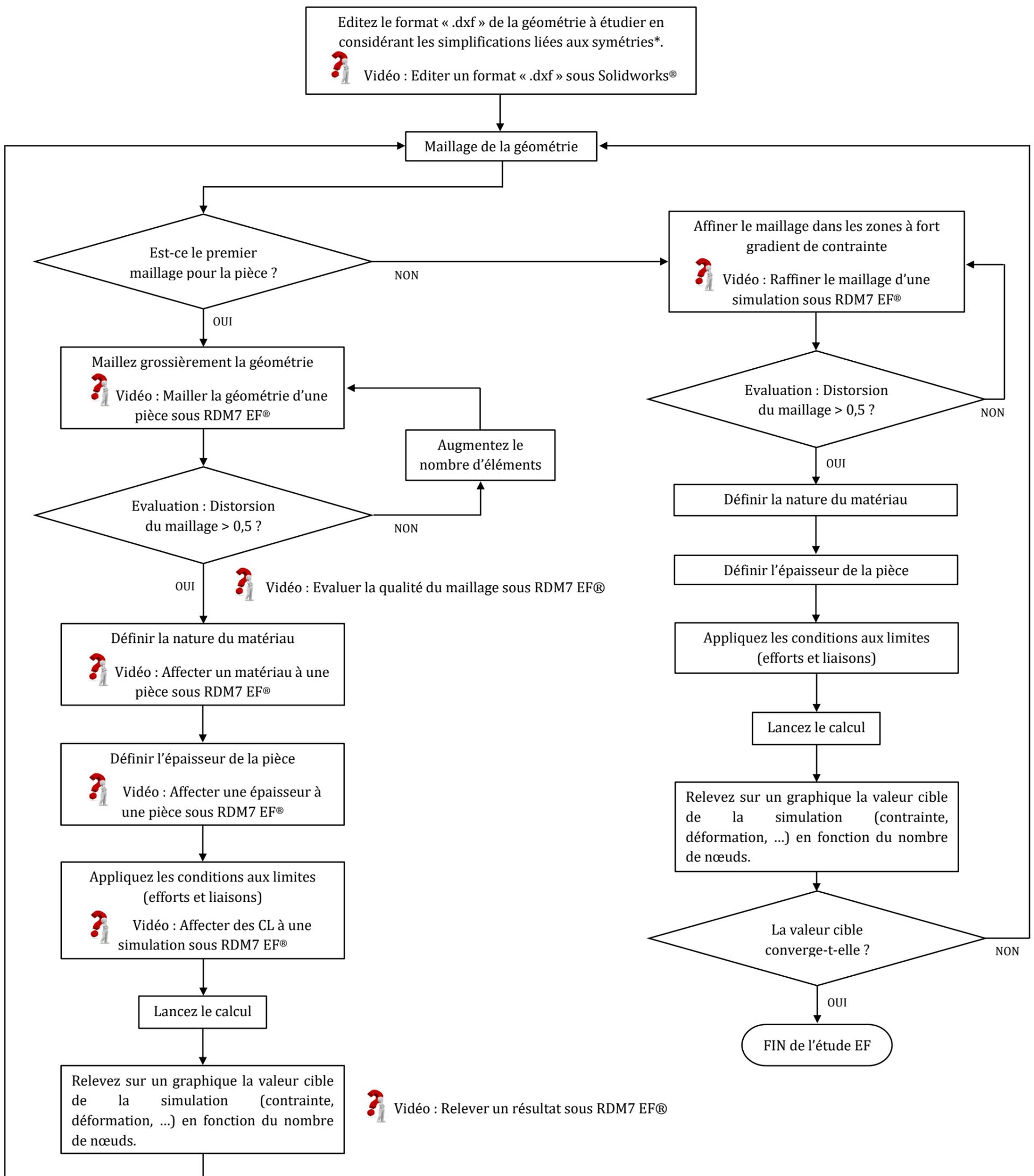
**Etape N°5 :** Répétez l'étape N°4-1 pour la case « Valeurs de la série des abscisses X ».

**Etape N°6 :** Répétez l'étape N°4-1 pour la case « Valeurs des ordonnées Y » en n'oubliant pas d'effacer « = {1} » avant de sélectionner vos données.

### Annexe N°4 : Mise en plan du flasque du levier



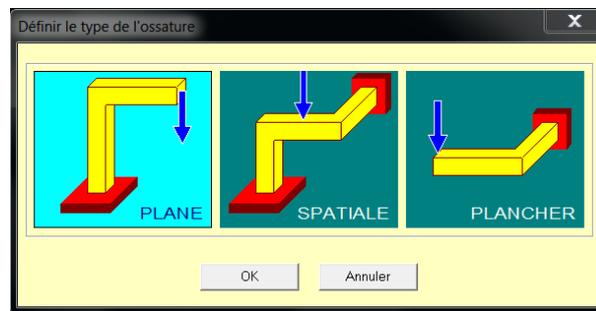
### Annexe N°5 : Réalisation d'une étude par éléments finis



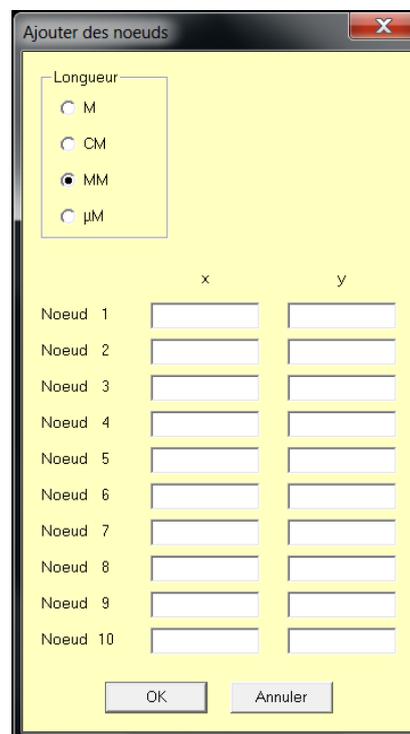
\*Les conditions de symétries s'appliquent uniquement si la géométrie et les conditions aux limites (efforts et liaisons) se répètent.

## Annexe N°6 : Aide pour la prise en main du module « ossature »

**Etape N°1 :** Démarrez RDM6 (ou RDM7) module « OSSATURES ». Cliquez alors sur « fichier » puis sur « Nouvelle étude ». La fenêtre suivante apparaît :



**Etape N°2 :** Cliquez sur « PLANE » puis sur « OK ». La fenêtre suivante apparaît :



Cette fenêtre vous permet de rentrer les différents nœuds de votre structure. Attention de bien sélectionner la bonne unité. Une fois l'ensemble de vos points rentré, cliquez sur « OK ». Nota : Par la suite, vous pourrez ajouter des nœuds à

l'aide de l'outil «  ».

**Etape N°3 :**

A l'aide de l'outil segment «  », vous allez pouvoir construire l'ensemble des poutres reliant les nœuds que vous avez insérés précédemment. Attention, une poutre ne peut relier que deux nœuds seulement.

**Etape N°4 :** Réalisez la modélisation proposée en utilisant les outils suivants :

-  : Permet d'affecter un matériaux à l'ensemble ou une partie de la structure.

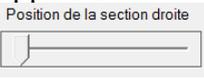


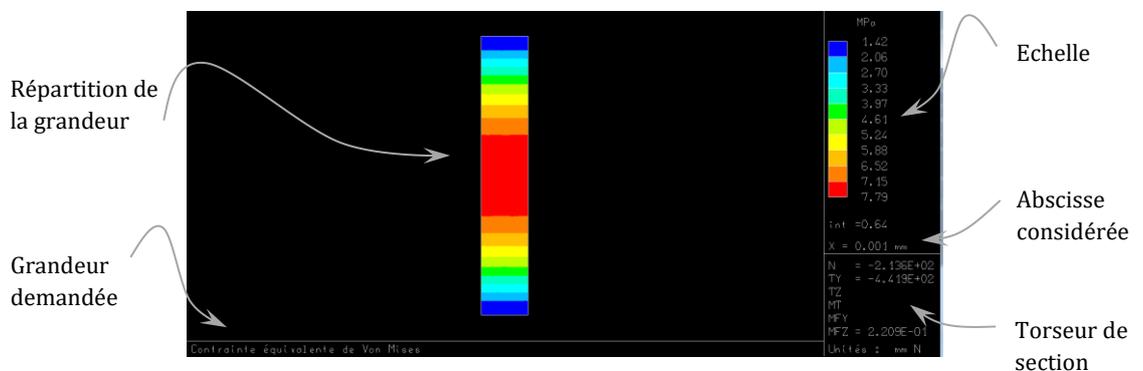
-  : Permet d'affecter une géométrie transversale à l'ensemble ou une partie de la structure.
-  : Permet de modifier localement l'orientation du repère d'un noeud.
-  : Permet d'affecter à un ou plusieurs nœuds des liaisons avec le bâti (rotule, ponctuelle, ...).
-  : Permet d'affecter à un ou plusieurs nœuds des actions extérieures (force, moment, ...).

**Etape N°5 :** Une fois la modélisation terminée, cliquez sur « calculez » puis sur « analyse statique ».

**Etape N°6 :** Le calcul terminé, cliquez sur « résultats ».

**Etape N°7 :** Les outils suivants vous permettent :

-  : Un clic droit sur un nœud vous permet d'obtenir son déplacement et/ou son action de liaison. Un clic droit sur une poutre vous donne la valeur du torseur de cohésion.
- ,  et  vous permettent d'obtenir les diagrammes de l'effort normal, tranchant et du moment fléchissant. Un clic droit sur une poutre vous donne leur valeurs en tous points.
-  : Permet d'obtenir la répartition d'une grandeur (contrainte, déplacement, ...) dans une section droite de la poutre.
  - o Sélectionnez la poutre sur laquelle vous souhaitez travailler.
  - o Une nouvelle fenêtre apparaît
  - o Utilisez le curseur (  ) pour vous placer à une certaine abscisse de la poutre.
  - o Cliquez sur  » puis sur la grandeur désirée.
  - o La fenêtre de résultats apparaît :



- o Vous pouvez fermer cette fenêtre par retourner à l'écran initial.