

Striction et Contrainte de Cauchy

par
DJAMA DIRIEH Nasteho
CHAPELIER Bastien
ZHANG Xunjie

Modélisation et simulation en mécanique non-linéaire des structures

fait le 10 Janvier 2018

Table des matières

1	Introduction	2
2	Bibliographie	3
3	Méthodes	4
4	Résultats	7
5	Discussion/Conclusion	12

Chapitre 1

Introduction

Objectif :

Au cours de ce projet, nous étudions une plaque soumise à un effort de traction. Nous cherchons à observer le phénomène de striction. Pour cela, nous sollicitons en traction, sur ses bords latéraux, une plaque en Aluminium, rectangulaire infiniment longue de section 20cm x 5cm. On veut étudier le comportement de la plaque lorsqu'on l'étire de plus de 20 % de sa largeur. Le comportement du matériau est élasto-plastique, avec un module d'Young de 70 GPa et un coefficient de Poisson de 0,33. Sa courbe de comportement nous est donnée.

Dans un premier temps, nous cherchons à Modéliser le problème à l'aide du logiciel PATRAN en fixant les conditions limites en fonction des hypothèses émises. Une fois la modélisation terminée, nous effectuons la simulation à l'aide de différents solveurs : Le solveur linéaire et le solveur non-linéaire. Nous comparerons et commenterons les graphiques de déplacement, de déformations et de contraintes.

Dans le cas du calcul avec le solveur non-linéaire, nous chercherons où sont situés les maxima de la contrainte vraie de Von Mises, de déformation et où est située la zone de faiblesse de la plaque Enfin nous modifierons les paramètres d'itération afin d'expliquer l'influence sur le résultat.

Chapitre 2

Bibliographie

L'essai de traction est une expérience de physique qui permet, entre autre, de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau. À partir d'un certain allongement, la déformation est concentrée dans une zone, c'est la striction. La striction marque un point d'inflexion, puisque la section diminue plus vite que la force. L'apparition de cette striction coïncide avec le passage au maximum de la charge

On note que la contrainte vraie σ atteinte au moment de la rupture est très supérieure à la charge unitaire.

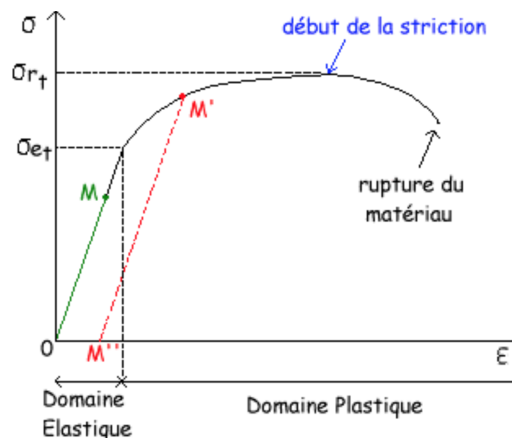
Un problème non linéaire est un problème pour lequel la matrice de rigidité de la structure varie et n'est plus constante. Au cours d'une analyse non linéaire, la matrice de rigidité doit être assemblée et inversée à chaque increment de temps ce qui rend l'analyse très longue.

La loi de comportement relie les tenseurs de contraintes et de déformation $\sigma = E\epsilon$, avec $\sigma = \frac{F}{S}$ et $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$.

Dans le domaine élastique, la contrainte est linéairement liée à la déformation. En effet dans ce domaine la déformation présente un effet de réversibilité ce qui traduit bien le comportement élastique du matériau.

Lorsqu'on poursuit le chargement au delà du seuil d'élasticité, la déformation de la plaque devient irréversible et on observe le début de la striction sur le graphe puis s'i l'on continue jusqu'à une certaine force on a la rupture du matériau. Lorsqu' on arrête la sollicitation, la plaque se décharge de façon à ce que subsiste un allongement remanent. On est dans le domaine plastique.

Voici une courbe théorique de traction typique que nous devrions retrouver lors des essais de traction sur le logiciel Patran. Elle représente la contrainte en fonction de la déformation que nous comparerons à nos graphiques obtenus.



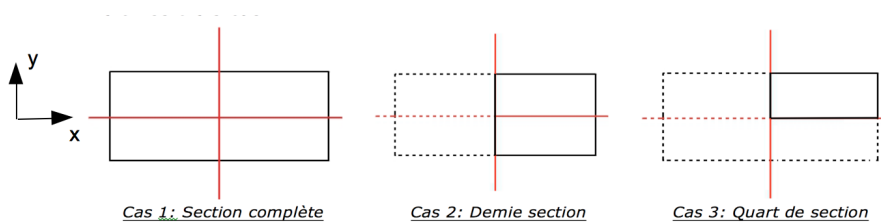
Chapitre 3

Méthodes

Avant de réaliser la modélisation, nous pouvons émettre différentes hypothèses :

Tout d'abord, nous pouvons considérer la section de la plaque comme symétrique. Nous faisons l'hypothèse que cette symétrie nous permettra de simplifier et réduire le temps des calculs sur le logiciel PATRAN.

Grace à cette axisymétrie, nous pouvons donc étudier seulement un quart de la section et donc nous avons décidé de diviser le travail en trois cas pour lesquels nous souhaitons comparer les résultats obtenus. Voici les trois cas :



- Cas 1

Dans le cas 1, la section est complète, nous appliquons donc des charges équivalentes de part et d'autre de la section de façon à ce qu'elle soit en traction.

- Cas 2

Dans le cas 2, la section est divisée en deux. Nous appliquons donc une charge à l'extrémité droite. A gauche, une liaison glissière bloque les déplacements selon l'axe x et permettant uniquement les déplacements selon l'axe y.

- Cas 3

Dans le cas 3, la section est divisée en quatre. Comme pour le cas 2, nous appliquons une charge à l'extrémité droite, une liaison glissière à gauche permettant uniquement les déplacements selon l'axe y et une liaison sur la surface inférieure autorisant les déplacements selon l'axe x et bloquant ceux selon l'axe y.

Dans chacun des cas, des efforts empêchent les déplacements selon l'axe z. Les charges, efforts et liaisons sont appliquées aux nœuds de maillage.

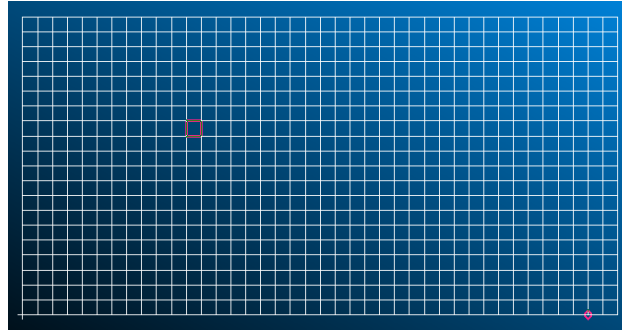
Modélisation

A l'aide de la fonction "Geometry", nous avons créé le modèle géométrique, c'est à dire la section d'une plaque rectangulaire infiniment longue. Les dimensions de cette section sont : 20cm x 5cm.

Nous créons ensuite un maillage à l'aide de l'outil "Elements". Nous choisissons un maillage 2D de

type quadrangle. Nous choisissons ce maillage du fait que notre section soit de forme rectangulaire, et donc sans sommets complexes, mais également car les éléments Quadrangle sont plus précis par rapport aux éléments triangle car les déplacements sont interpolés à un degré plus élevé en quadrangle par rapport aux éléments triangulaires.

Bien que les calculs soient plus rapides avec un maillage triangle, les mailles quadratiques donnent de meilleurs résultats.

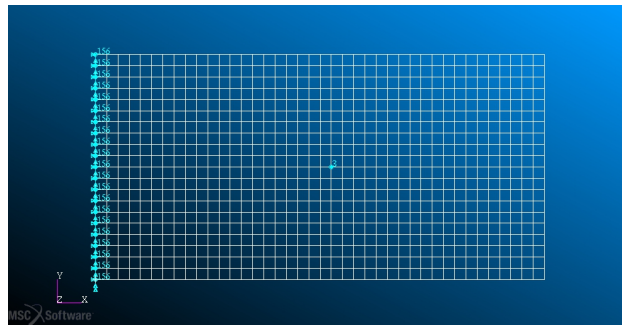


De plus, à l'aide de ce maillage, nous obtenons une répétition régulière de mailles. Pour commencer les premières analyses et expériences, nous choisissons un maillage grossier. Par la suite, nous avons fait varier le maillage afin de comparer les résultats ainsi que la convergence de ce dernier pour s'assurer que les résultats ne dépendent pas du maillage. Nous nous sommes vite rendus compte que plus le maillage est fin, plus les calculs sont précis mais plus ils sont longs. C'est pourquoi nous avons choisi un maillage intermédiaire pour la suite des expériences (Cf. image précédente).

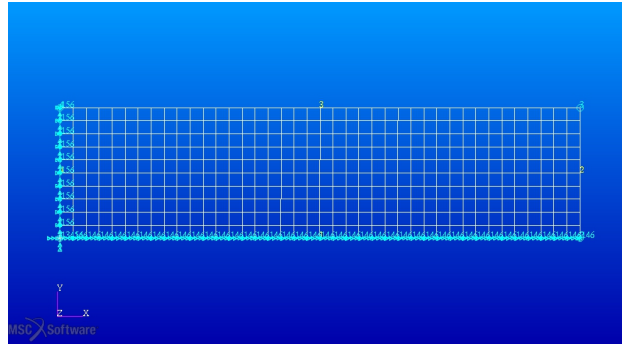
Après avoir réalisé le maillage, nous définissons les conditions physiques (conditions limites, densités, matériaux, propriété...)

Tout d'abord, les conditions aux limites aux noeuds spécifiques, c'est à dire :

- Une déplacement nul selon l'axe z en trois noeuds de façon à bloquer définitivement les déplacements selon z, mais également de façon à bloquer toute rotation du système.
- Une liaison glissière bloquant les déplacements selon l'axe x sur les noeuds de la demie section comme suit :



- Une liaison glissière bloquant les déplacements selon l'axe x et une liaison glissière bloquant les déplacements selon l'axe y sur les noeuds comme suit sur le quart de la section :

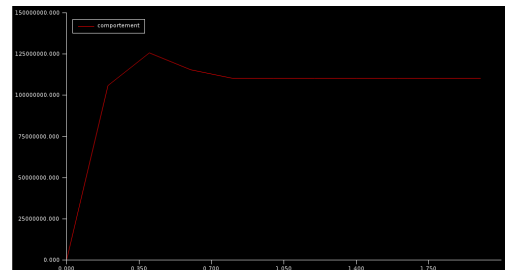


Pour chaque un des cas, nous appliquons un effort de manière à simuler la charge fournie par les mâchoires de la machine de traction lors des essais de traction. Sur le logiciel PATRAN, ces efforts sont modélisés par des déplacements imposés aux noeuds.

Nous avons dans un premier temps essayé d'imposer aux noeuds des forces, des pressions ou encore des charges distribuées afin de simuler ces efforts, mais après plusieurs tentatives, nous nous sommes résignés à utiliser des déplacements. En effet ces derniers fournissaient de meilleurs résultats.

Nous définissons ensuite un matériau, qui est l'aluminium, avec un module d'Young de 70 GPa et un coefficient de Poisson de 0,33. Sa courbe de comportement nous est donnée et est la suivante :

Déformation logarithmique	Contrainte vraie (MPa)
0	0
0,0003	19,6
0,0023	33,8
0,0053	42,0
0,0153	55,5
0,0453	73,6
0,1253	96,0
0,3503	125,7
0,5003	125,7
0,6503	110,3
2	110,3



Le comportement du matériau est défini comme élasto-plastique. Il est caractérisé par un seuil d'écoulement au-dessous duquel le comportement est purement élastique. Une fois le seuil élasto-plastique atteint, la déformation n'est plus réversible.

La déformation est indépendante du temps. Elle n'évolue pas si la charge est maintenue constante, elle ne disparaît pas progressivement après décharge. De même, le seuil n'est pas fonction de la vitesse de déformation.

De plus le matériau constitutif de la poutre est supposé homogène et isotrope et continu.

Chapitre 4

Résultats

- 1ère expérience

De façon à simuler la traction, nous imposons un déplacement de part et d'autre de la section. Nous imposons ce déplacement à 0.02m, c'est à dire 10 % de sa largeur.

Nous réalisons dans un premier temps la simulation avec le solveur linéaire statique 600, puis avec le solveur non linéaire 600 de façon à comparer les graphiques de déplacements, de déformations et de contraintes.

Voici les résultats obtenus pour chacun des solveurs :

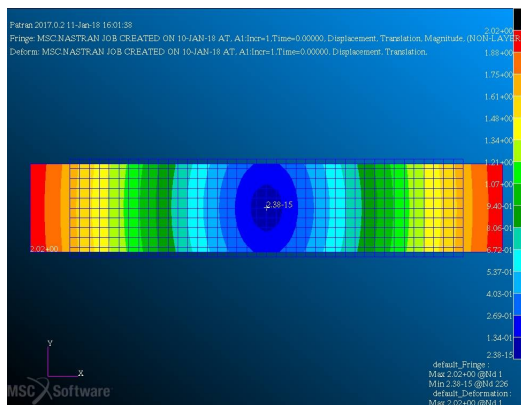


FIGURE 4.1 – Simulation Linéaire

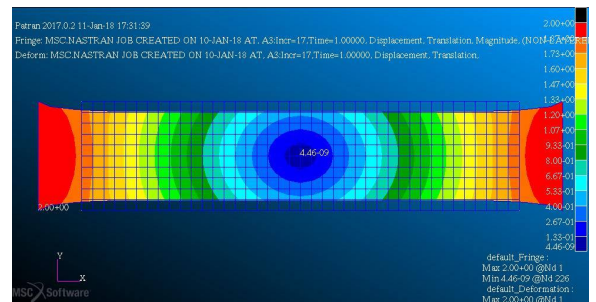


FIGURE 4.2 – Simulation Non linéaire

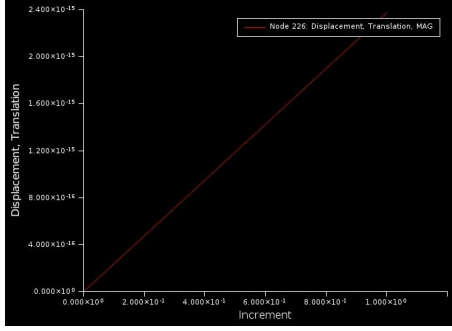


FIGURE 4.3 – Déplacement Linéaire

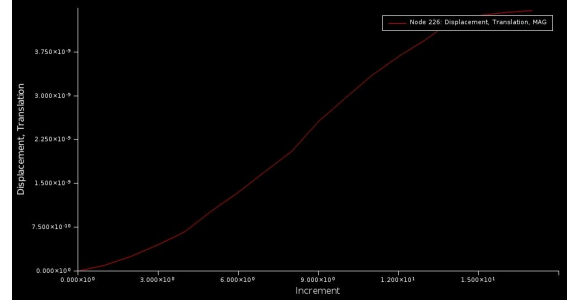


FIGURE 4.4 – Déplacement Non linéaire

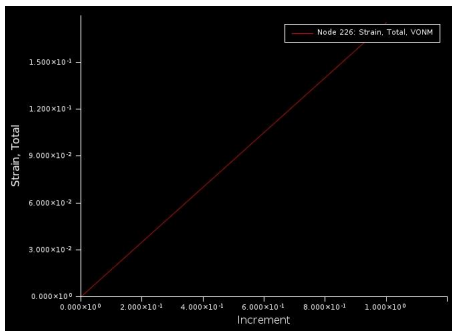


FIGURE 4.5 – Déformation Linéaire

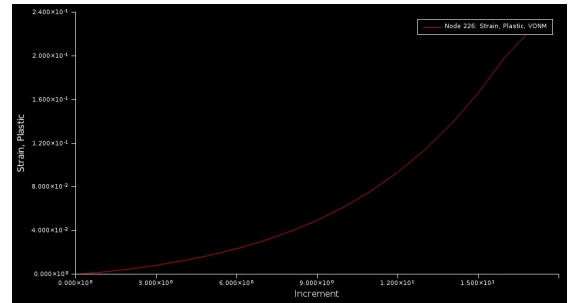


FIGURE 4.6 – Déformation Non linéaire

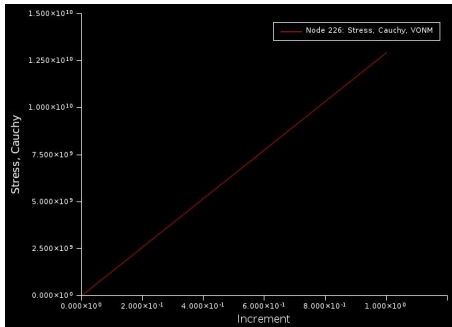


FIGURE 4.7 – Contrainte Linéaire

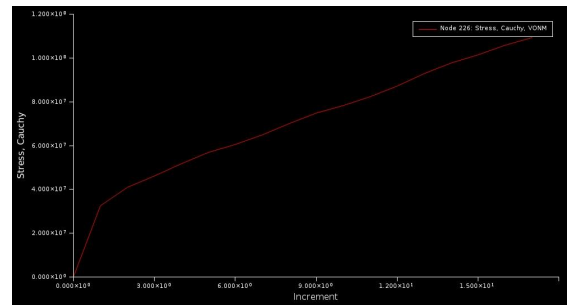


FIGURE 4.8 – Contrainte Non linéaire

En ce qui concerne la comparaison entre le solveur linéaire et le solveur non linéaire, comme attendu nous constatons que les résultats obtenus avec le solveur non linéaire, notamment les graphiques, sont beaucoup plus précis qu'avec le solveur linéaire. Cependant nous ne constatons pas de grosse différence entre les deux visuels (figure 4.1 et 4.2). Nous observons dans les graphes obtenus avec le solveur linéaire 600, qu'il y'a une évolution linéaire du déplacement, de la contrainte et de la dformation en fonction de l'incrémentation. Alors que pour les graphes obtenus avec le solveur non linéaire nous constatons des fonctions par morceaux. Cependant plus les effort appliqués sont importants plus nous visualisons la différence entre les deux solveurs, c'est pourquoi, pour des grand déplacements il est préférable d'utiliser le solveur non linéaire.

A l'aide de cette comparaison sur un cas simple, nous constatons donc que les analyses linéaires, même si elles couvrent un vaste domaine d'applications, répondent modérément aux exigences de certaines situations. L'analyse non linéaire reste donc la plus précise et celle qui répond le mieux aux exigences des situations complexes.

En utilisant le solveur 600 non linéaire, nous avons obtenu plusieurs fichiers de sortie dont l'un correspondait au fichier marc.sts. Celui ci fournit progressivement des informations concises. Ce fichier contient un suivi des informations sur le travail, y compris le nombre d'itérations, le nombre d'incréments, le temps total des pas et des incréments. Il nous permet de visualiser l'évolution du travail de manière appropriée quand cela n'était pas le cas, il nous fallait modifier notre analyse, notre solveur ou même vérifier nos conditions aux limites ainsi que les propriétés du matériau. Nous avons de plus constaté que lorsque nous travaillions avec le solveur linéaire, le temps de résolution est plus rapide qu'avec le solveur non linéaire et plus nous augmentons les efforts de traction et plus l'analyse fut longue.

- 2nde expérience

Dans cette partie, nous nous intéressons à la striction de la plaque.

Nous réalisons toutes nos analyses à l'aide du solveur non linéaire 600.

Pour faire apparaître la striction, nous augmentons petit à petit les efforts de traction jusqu'à apparition de la striction. Nous commençons par un déplacement de 0.02m et nous étirons jusqu'à 0.07m. Nous constatons visuellement l'apparition de la striction à partir d'un allongement de 0.06m, c'est à dire 24% de sa largeur.

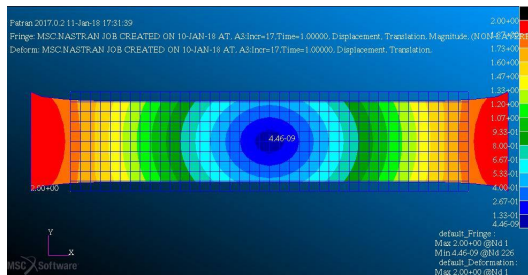


FIGURE 4.9 – Simulation numérique pour un allongement de 0.02m

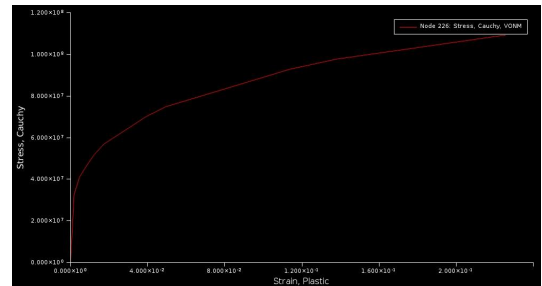


FIGURE 4.10 – Graphique de la contrainte en fonction de la déformation pour un allongement de 0.02m

Nous constatons sur le graphe, en accord avec le visuel, qu'il n'y a pas encore de striction mais seulement un allongement de la section. En effet sur le graphique, nous constatons que nous sommes dans le domaine plastique, c'est à dire que la déformation n'est plus réversible.

Nous voyons l'apparition du domaine de striction qu'à partir d'un certain temps. Dans notre cas nous constatons l'apparition du domaine de striction à partir d'un déplacement de 0.06m.

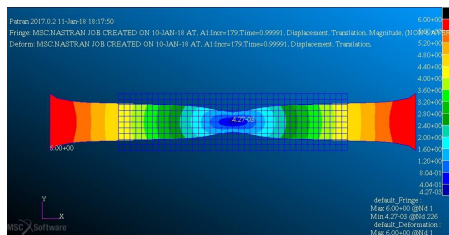


FIGURE 4.11 – Simulation numérique pour un allongement de 0.06m

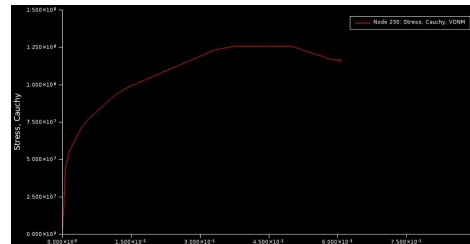


FIGURE 4.12 – Graphique de la contrainte en fonction de la déformation pour un allongement de 0.06m

Nous voyons sur le graphique que la courbe tend à redescendre sur la fin de l'expérience, ce qui se traduit par l'apparition du domaine de striction. Pour un déplacement de 0.065m, nous constatons une chute sur le graphique qui correspond à la rupture de la section.

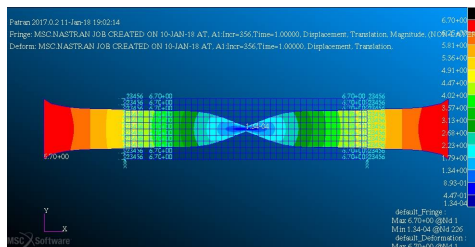


FIGURE 4.13 – Simulation numérique pour un allongement de 0.067m

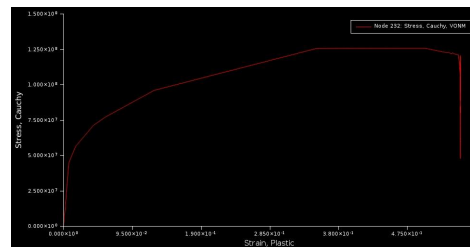


FIGURE 4.14 – Graphique de la contrainte en fonction de la déformation pour un allongement de 0.065m

- 3ème expérience

Nous voyons que plus on étire la section, plus la zone où se situe le maximum de contraintes se concentre sur le centre de la pièce, comme nous pouvons le voir ce dessous :

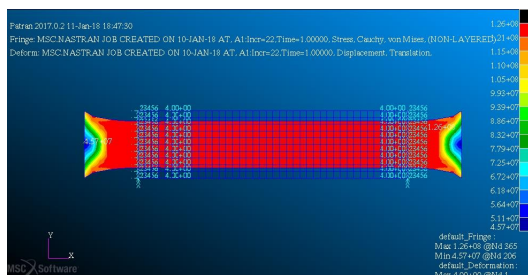


FIGURE 4.15 – Contraintes de Von Mises pour un allongement de 0.04m

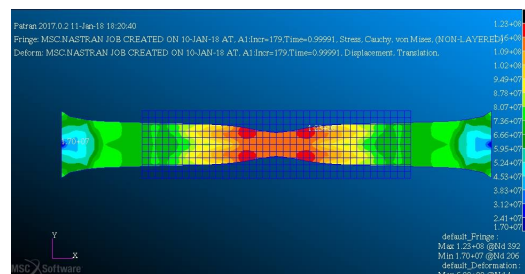


FIGURE 4.16 – Contraintes de Von Mises pour un allongement de 0.06m

Dans la zone en striction, il est évident que les contraintes ne sont plus uniformes. Et comme nous le constatons sur la figure n4.16, les maxima de contrainte de Von Mises sont situés dans la

zone de striction.

De même pour les déformations qui, plus l'allongement est important, plus se concentrent sur le centre de la poutre jusqu'à ce concentrer sur la striction. Le maxima de déformation se situe dans la zone de striction lorsqu'il y a striction.

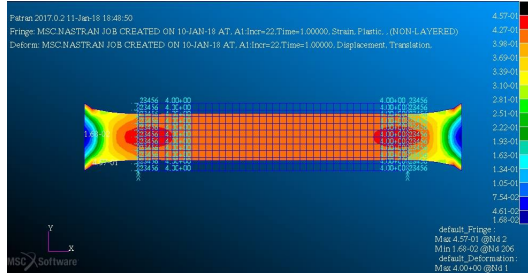


FIGURE 4.17 – Déformation pour un allongement de 0.04m

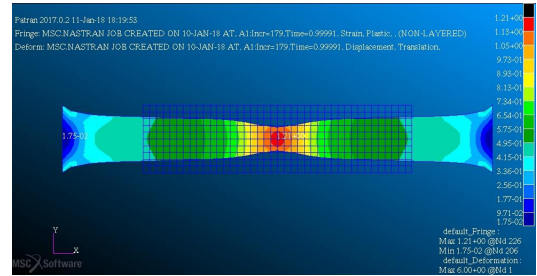


FIGURE 4.18 – Déformation pour un allongement de 0.06m

Chapitre 5

Discussion/Conclusion

Discussion

Nous n'avons pas réussi à réaliser les études sur un quart de la section, c'est pourquoi nous avons réalisé les analyses sur l'ensemble de la section. En effet les calculs pour le quart étaient beaucoup plus long du fait du nombre plus important de contraintes (liaisons glissières). Ce qui est en totale contradiction avec nos hypothèses de départ.

En ce qui concerne l'essai de traction, nous avons tracé les graphiques de la contrainte en fonction de la déformation que nous avons obtenu à l'aide du logiciel PATRAN. Lorsque l'on compare nos résultats aux graphiques de la théorie, nous constatons que nos résultats sont très proches de la théorie lors de l'apparition de la striction.

En effet nous retrouvons la courbe de traction typique constituée de :

- une partie rectiligne correspondant au domaine d'élasticité.
- le domaine de déformation plastique uniforme
- un maximum correspondant à la charge maximale supportée par l'éprouvette, appelée "charge de rupture"
- le domaine de striction dans lequel les déformations se localisent dans une zone limitée dont la section diminue rapidement (lorsque l'allongement est suffisamment grand)
- la rupture de l'éprouvette (lorsqu'il s'agit d'un allongement suffisamment grand)

Sur le logiciel PATRAN, nous avons donné une profondeur à notre section, de façon à représenter la plaque infiniment longue, cependant jusqu'à l'apparition de la striction, l'analyse d'un essai de traction sur une plaque n'est pas différente de celle d'un essai sur une éprouvette. La seule différence est que dans une plaque mince, la striction prend la forme d'une bande étroite tout le long de la plaque. C'est pourquoi nous nous sommes simplement intéressé à la striction d'une section de cette plaque.

Nous n'avons malheureusement pas trouvé de ressources correspondant à notre cas d'étude qui nous permet de comparer nos résultats. La plupart des essais de traction étant réalisés sur des éprouvettes cylindriques.

Conclusion

En conclusion, ce mini projet nous a beaucoup apporté, non seulement au niveau des connaissances scientifiques, mais aussi au niveau des connaissances en simulation numérique sur un logiciel utilisant la méthode des éléments finis qui est Patran. Nous avons, au cours de ce projet, manipulé différents solveurs de façon à mettre en évidence les différences entre les résolutions linéaires et non linéaires. Nous avons également pu visualiser les déformations d'une plaque en traction au cours de différentes expériences. Grâce à cela, nous avons pu observer le phénomène de striction, ce qui nous a permis d'apercevoir la concentration de contrainte et de déplacement au cours de ce phénomène de striction. Les résultats et graphiques obtenus ont été comparés à la théorie, ce qui nous a permis de valider la cohérence de nos résultats.

Bibliographie/Liens

Le comportement élastoplastique

https://educnet.enpc.fr/pluginfile.php/19701/mod_resource/content/1/Chapitre1%20comportement%20C3%A9lasto-plastique.pdf

Lois de comportement des métaux - Élastoplasticité. - Techniques de l'ingénieur - Dominique FRANÇOIS - 10 mars 2005

<http://www.techniques-ingenieur.fr/doclec.univ-lyon1.fr/res/pdf/encyclopedia/42531210-m4152.pdf>