

Choix du modèle de calcul

Les méthodes de calcul décrites au chapitre 2 ne semblent pas convenir au procédé de repoussage. Il a donc été question de chercher ailleurs. Lors de l'étude bibliographique, on a constaté que des travaux tout récents se sont penchés vers la simulation mais au moyen d'un code différent et pour des pièces épaisses repoussées à chaud tolérant la réduction de l'épaisseur [5].

La solution d'analyse par éléments finis optimise le prototypage virtuel et la simulation numérique pour l'entreprise en utilisant les hypothèses de la mécanique de la rupture en élasticité et de la dynamique. Ainsi elle simule et améliore les performances des composants, des matériaux et des produits sujets à de fortes exigences opérationnelles (sécurité, endommagement...).

D'un point de vue technique, les résultats obtenus grâce à ABAQUS sont le bilan des énergies, des forces nodales, des déformations, des déplacements, des contraintes, des vitesses, des accélérations et de toutes les grandeurs physiques nécessaires à la conception d'un modèle.

Les logiciels de calcul de structures comme NASTRAN, RADIOS, ANSYS sont utilisés pour la modélisation de l'endommagement d'une structure métallique.

Nous utiliserons le logiciel ABAQUS [11] (analyse dynamique linéaire et non linéaire).

ABAQUS est très largement utilisé dans les industries automobiles et aéronautiques. En raison du large spectre de ses capacités d'analyse et de sa bonne ergonomie, il est également très populaire dans les milieux universitaires, pour la recherche et l'éducation.

ABAQUS fut d'abord conçu pour analyser les comportements non-linéaires. Il possède en conséquence une vaste gamme de modèles de matériau. Ses modélisations d'élastomères, en particulier, méritent d'être reconnues.

Présentation du code ABAQUS

Fondé en 1978, ABAQUS, est l'un des premiers fournisseurs mondiaux de logiciels et services pour l'analyse par éléments finis. La gamme de logiciels d'ABAQUS est particulièrement réputée pour sa technologie, sa qualité et sa fiabilité. Elle s'est imposée comme partie intégrante des processus de conception de sociétés de renommée mondiale dans tous les secteurs industriels. ABAQUS offre les meilleures solutions pour des problèmes linéaires, non linéaires, explicites et dynamiques.

Le logiciel est divisé en neuf modules indépendants les uns des autres (annexe 6) :

Premier module : Part

Deuxième module : Property

Troisième module : Assembly

Quatrième module : Step

Cinquième module : Interaction

Sixième module : Load

Septième module : Mesh

Huitième module : Job

Neuvième module : Visualisation

3.3. Application du modèle au repoussage

Premier module : Part (figure 22)

Dans notre cas on quatre pièces à dessiner intervenant dans l'opération de repoussage :

- le flan qui est la pièce à repousser considérée comme déformable.
- Le mandrin considéré comme rigide, donnant la forme que doit épouser le flan en rotation pour donner lieu à la pièce repoussée.
- Le serre flan considéré comme rigide et a pour but de serrer le flan contre le mandrin en rotation.
- La molette considérée comme indéformable constitue l'outil de travail devant rabattre le flan sur le mandrin moyennant plusieurs passes.

ABAQUS travaille sans unités, il est donc préférable de les définir avant et de s'en tenir tout au long du calcul (Tableau de correspondance des unités Annexe 6)

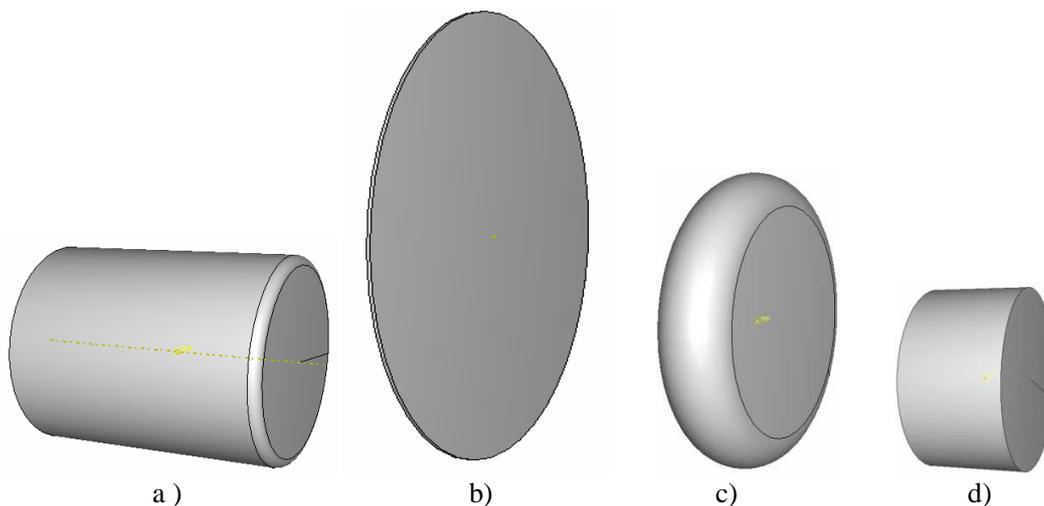


Figure 22. Les pièces du problème :
a) mandrin -b) flan -c) molette -d) serre flan

Deuxième module : Property

Il faut **créer** le matériau, c'est-à-dire, élaborer toutes ses propriétés mécaniques, thermiques ou acoustiques. (Masse volumique, module d'Young, coefficient de Poisson,...) selon le problème étudié (annexe 6)

Troisième module : Assembly

On rassemble toutes les pièces avec 'Create Instance' afin de modéliser le phénomène physique. Le contact est réalisé avec 'Create Constraint'.

Il est crucial pour déterminer le contact entre deux pièces de définir les surfaces de contact, sa direction et la distance, ou 'Clearance', qui les séparent.

La figure 23 illustre l'assemblage des quatre pièces avec les contacts convenables.

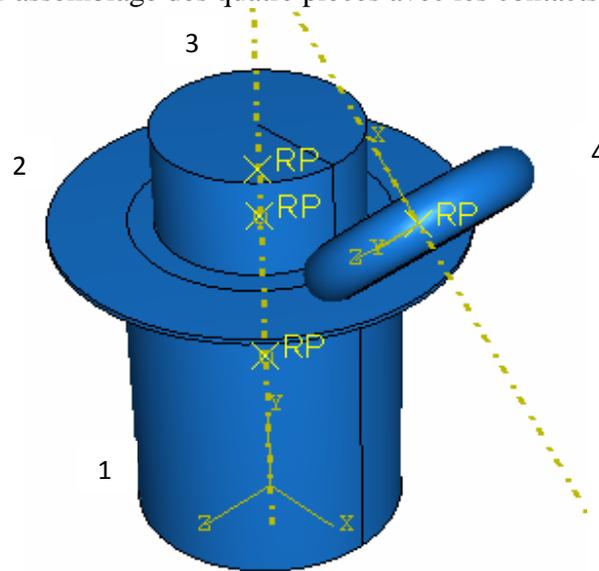


Figure 23. Assemblage
(1)Mandrin, (2).flan, (3).serre flan,

Quatrième module : Step

On détermine l'incrément, valeur du pas de temps, et la valeur du temps final, qui est un temps « virtuel », temps sans unité.

Cinquième module : Interaction

Il définit les interactions entre chaque pièce et introduit les premières hypothèses portant sur les contacts, les contraintes et les connexions éventuelles.

Sixième module: Load

L'utilisateur définit le système à partir de 'Create Boundary Condition' et de 'Create Load' :

La partie 'BC' regroupe tous les mouvements possibles que l'on rencontre, le nombre de degrés de liberté pour chaque pièce.

La partie 'Load' regroupe l'ensemble des forces auxquelles le système est soumis (Création du mouvement et définition des encastremets; Création des forces).

Septième module : Mesh

Voici les pièces telles qu'elles se présentent dans le menu maillage.

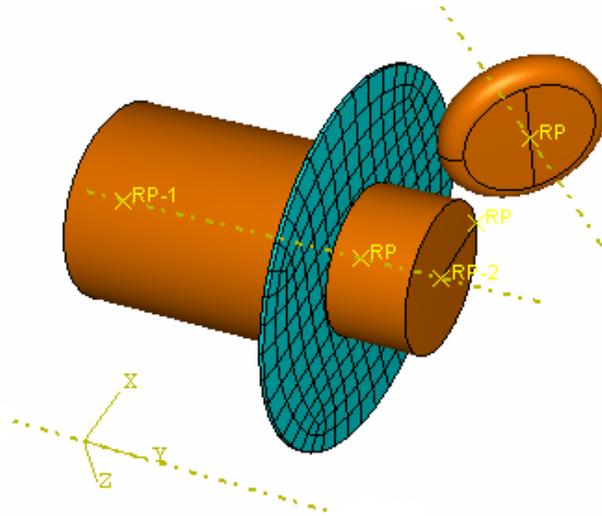


Figure 24. Maillage du flan

Afin qu'ABAQUS maille correctement, il faut remplir des conditions satisfaisantes et facilitant le calcul numérique, dans le module 'Mesh'. En effet, l'art du maillage repose essentiellement sur deux critères : Les éléments de maillage (par exemple, hexaédriques, cubiques, tétraédrique dans « Mesh Control ») et la complexité topologique de chaque pièce. Plus la difficulté est accrue, plus la couleur se rapproche du rouge, et inversement, plus le maillage sera aisé, plus la pièce se verra colorée en vert.

Huitième module : Job

L'utilisateur définit tous les critères de calcul utilisés par ABAQUS dans le module Job.

Le module 'Job' reprend les caractéristiques de calcul dans le module 'Step'. On pourra lancer plusieurs calculs différents.

Neuvième module : Visualisation

L'utilisateur voit le résultat du calcul numérique dans 'Result' : soit par la visualisation des déformations dans 'Field Output' : Par Exemple, les déformations, les contraintes, les vitesses ou les forces nodales ; soit par les courbes dans **'History OutpConditions de la simulation'**

Données : Matériau en acier $E=210000$ Mpa ;

Coefficient de poisson = 0,3 ; $A\%= 0,37$; et $R=350-400$ Mpa.

Maillage type C 3 D R8

Flan : élément déformable

Outils (mandrin, serre-flan, molette) : en Discrete Rigide.

On considère l'opération élémentaire de repoussage sur un flan de diamètre 170 mm, d'épaisseur 2mm monté sur un mandrin considéré comme rigide de diamètre 106 mm. Conditions aux limites : la région centrale en contact avec le mandrin est considérée comme rigide figure 25.

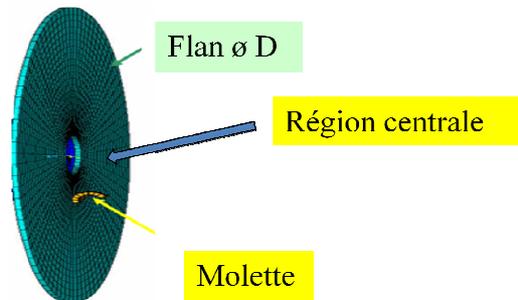


Figure 25. Conditions aux limites

Nous sommes parvenus à avoir un modèle qui marche après de longues manipulations notamment sur l'établissement des conditions aux limites qui présentaient la seule et majeure difficulté.

3.3 Exposé des résultats de la simulation

On a réussi à obtenir un modèle qui tourne mais qui peut bien être amélioré, tout dépendra du pas de calcul et de la finesse des conditions aux limites introduites. Avec le logiciel ABAQUS on peut :

1°) Visualiser l'évolution de la forme de la structure (flan) en acier E34 d'épaisseur 2mm et 1mm en cours de déformation figure 26 a et b

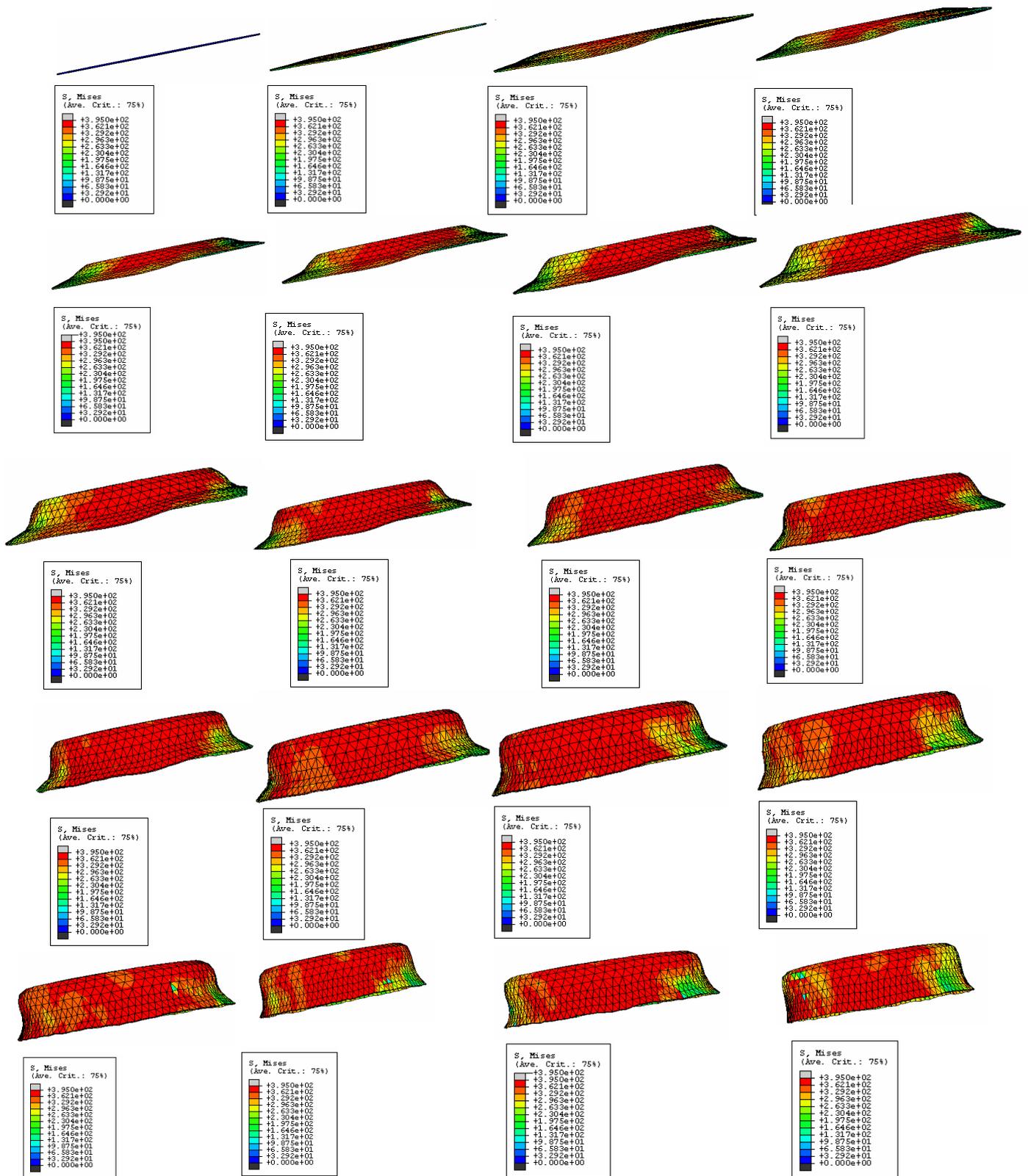


Figure 26 a. Evolution du flan e=1mm au cours du repoussage

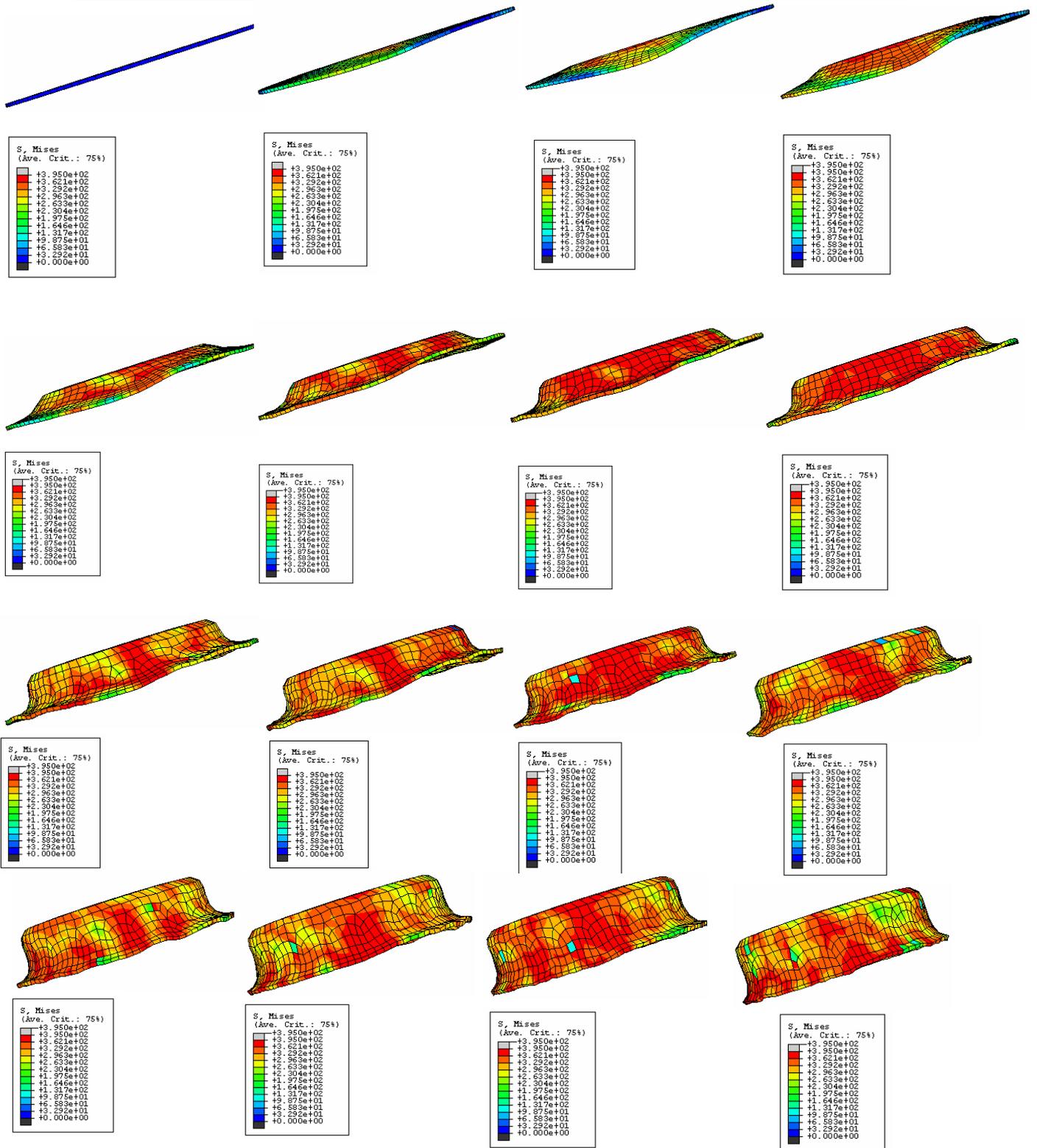


Figure 26 b. Evolution du flan e=2mm au cours du repoussage

On remarque dans ces figures l'apparition du phénomène du retour élastique, ce qui correspond à la nature du repoussage.

2°) Les grandeurs qu'on peut visualiser sont :

➤ *en terme de contraintes*, on a accès à :

- la contrainte équivalente de Von Mises (S-Mises) en tout point le long de la méridienne.
- la contrainte équivalente de Tresca (S-Tresca) en tout point le long de la méridienne.
- le tenseur de contrainte en tout point sélectionné de la structure (S)
- les contraintes principales en tout point sélectionné de la structure (S-Max-Mid-Min Principale).
- ainsi que d'autres grandeurs (pression hydrostatique, invariant,.....)

➤ *en terme de déformation*, on a accès à :

- le tenseur de déformation en tout point sélectionné de la structure (LE-LE11, LE22,.....)
- les déformations élastiques principales en tout point (LE- Max-Mid-Min Principale)
- le tenseur de déformation plastique en tout point sélectionné de la structure (PE-PE11, PE22,.....)
- les déformations plastiques principales en tout point (PE- Max-Mid-Min Principale)
- la déformation plastique équivalente (PEEQ)
- le champ de déplacement (U- U1-U2-U3)

Les principaux résultats sont rassemblés en annexe 7. Les tableaux des coordonnées des nœuds et les valeurs correspondantes des grandeurs visualisées sont représentées en annexe 8.

3.3.3 Procédure d'exploitation des résultats

➤ Nous avons choisi trois structures différentes du flan, à savoir :

Frame 1, Frame 10 (ou 11), Frame 17 qui correspond à des configurations du flan en cours de déformation plus ou moins éloignées.

➤ Dans chaque cas on a repéré un certain nombre de nœuds sur la méridienne de l'intérieur vers l'extérieur (Path1, Path2, Path3 respectivement) choisis sous la molette figure 27.

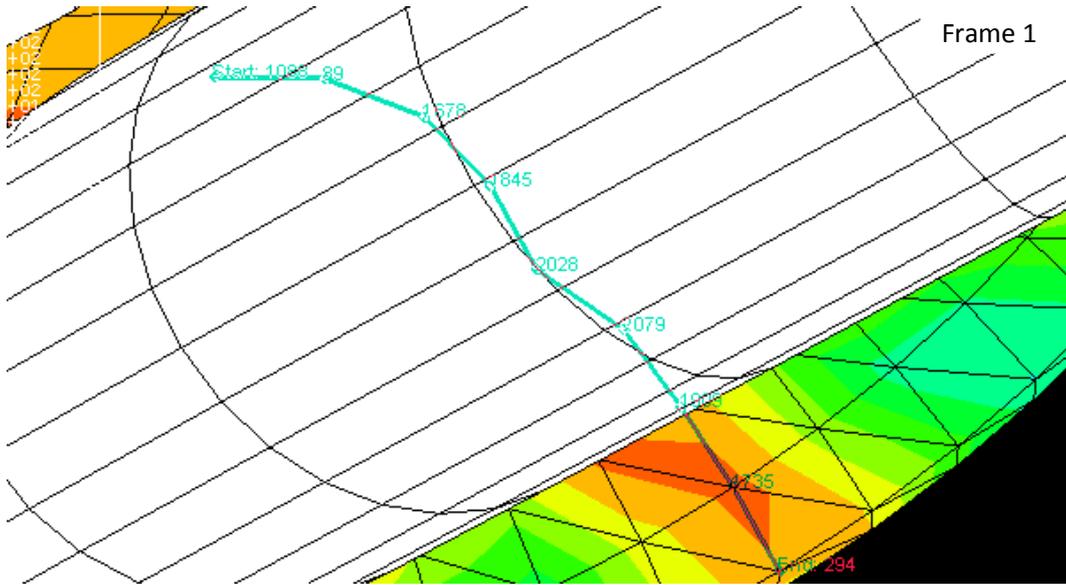


Figure 27. Choix de la liste des nœuds sous la molette (e=2mm) Path1

- On sélectionne ensuite la grandeur à visualiser par exemple la contrainte équivalente de Mises (notée S-Mises) figure 28 et la contrainte équivalente de Tresca (notée S-Tresca) figure 29 pour chaque structure déformée du flan (allant de 1 à 20)

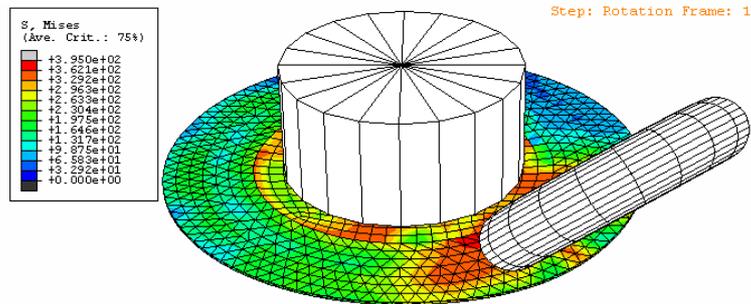


Figure 28. Visualisation de la contrainte de Von Mises

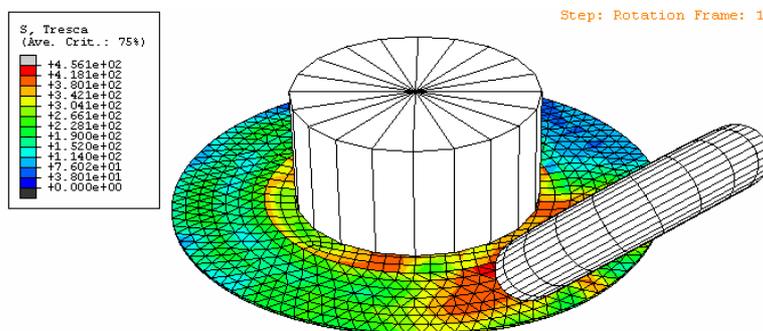


Figure 29. Visualisation de la contrainte de Tresca

➤ Enfin les courbes correspondantes peuvent être tirées ensemble figure 30

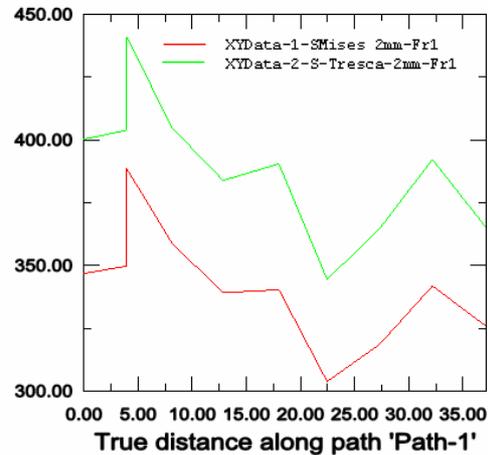


Figure 30. Courbes des Contraintes équivalentes de Mises et Tresca

Les valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés sont données au tableau 3.1

Frame 1				
Ordre	Noeud	Distance X (mm)	Contrainte Equivalente De Von Mises (MPa)	Contrainte Equivalente De Tresca (MPa)
1	1089	0	346.831	400.286
2	89	3.94541	349.761	403.862
3	89	3.94541	388.583	440.977
4	1678	8.15034	358.769	404.784
5	1845	12.8509	339.183	383.865
6	2028	18.0035	340.352	390.448
7	2079	22.4542	303.818	344.464
8	1909	27.284	318.543	364.585
9	1735	32.183	341.849	392.226
10	294	37.1574	325.795	364.986

Tableau 3.1 Valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés

On procède de la même manière pour les deux autres configurations (Frame 10 et Frame 17) pour le flan d'épaisseur $e=2\text{mm}$. Les résultats correspondants sont représentés ci-dessous.

La figure 31 illustre le repérage des nœuds le long de la méridienne (Path2)

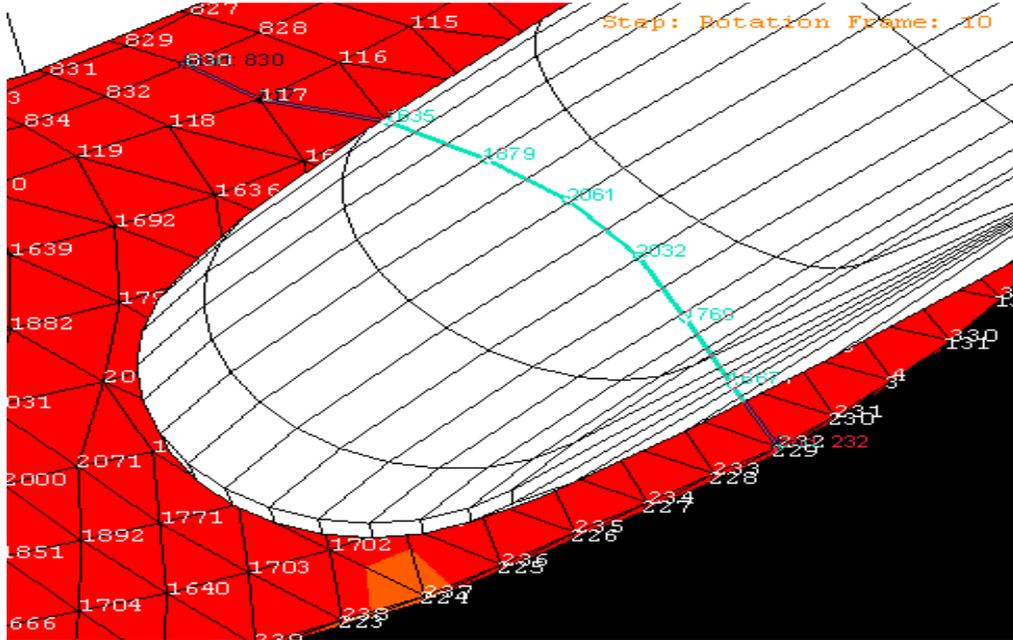


Figure. 31 Choix de la liste des nœuds sous la molette (e=2mm) Frame 10

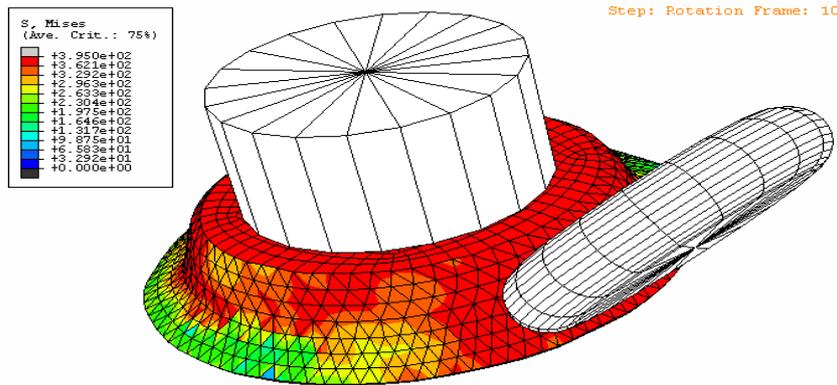


Figure 32 Visualisation de la contrainte de Von Mises

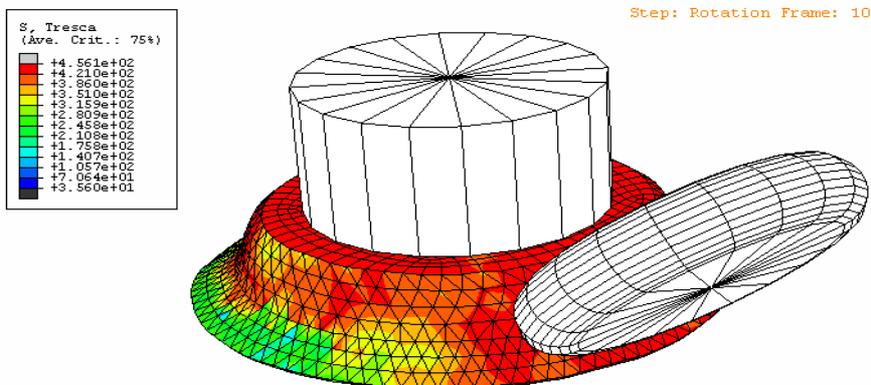


Figure 33 Visualisation de la contrainte de Tresca

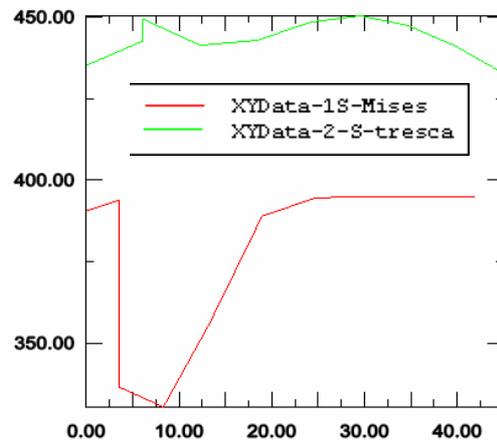


Figure 34 Courbes des Contraintes équivalentes de Mises et Tresca

Les valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés sont données au tableau 3.2

Frame 10				
Ordre	Noeud	Distance X (mm)	Contrainte Equivalente De Von Mises (MPa)	Contrainte Equivalente De Tresca (MPa)
1	830	0	394.832	435.193
2	117	6.02383	394.663	442.556
3	117	6.02383	394.988	449.515
4	1635	12.2872	395	441.37
5	1879	18.4123	395	442.858
6	2061	24.1618	395	448.426
7	2032	29.5629	395	450.382
8	1769	34.5711	395	447.546
9	1667	39.7829	392.703	441.17
10	232	45.041	380.27	432.695

Tableau 3.2 Valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés.

La figure 35 illustre le repérage des nœuds le long de la méridienne (Path3)

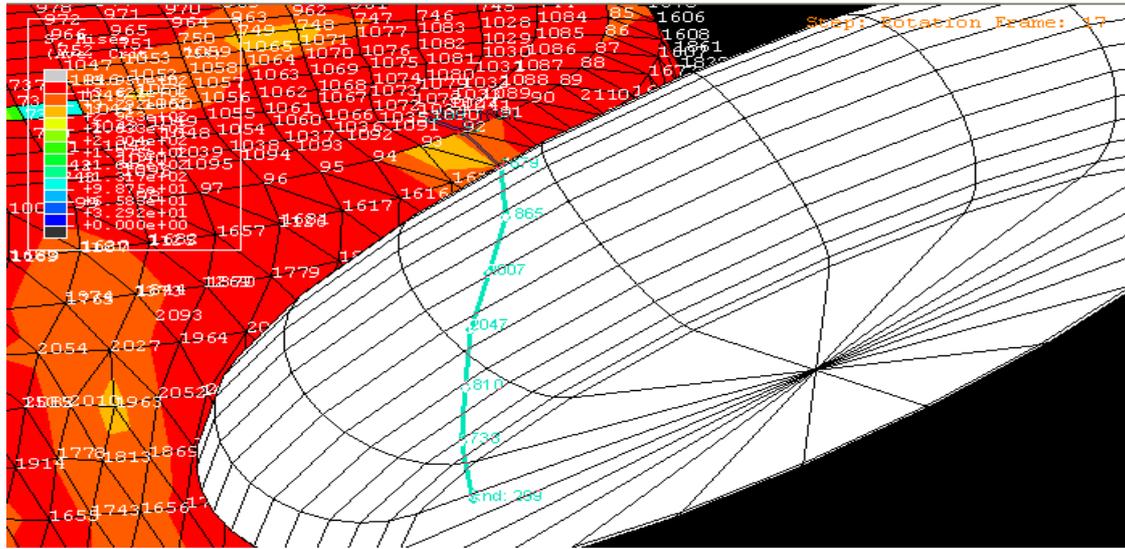


Figure35. Choix de la liste des nœuds sous la molette (e=2mm) Frame 17

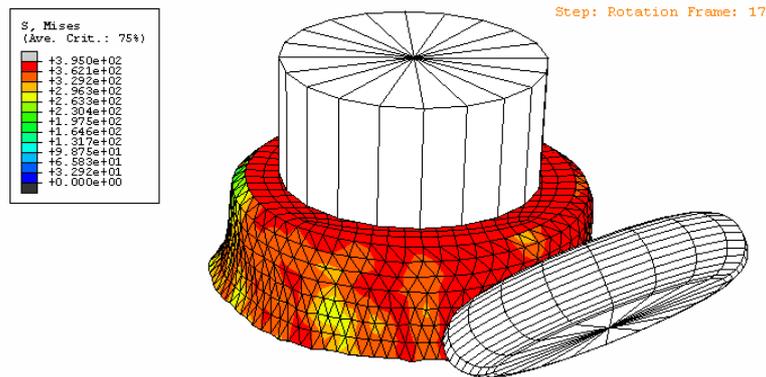


Figure36. Visualisation de la contrainte de Von Mises

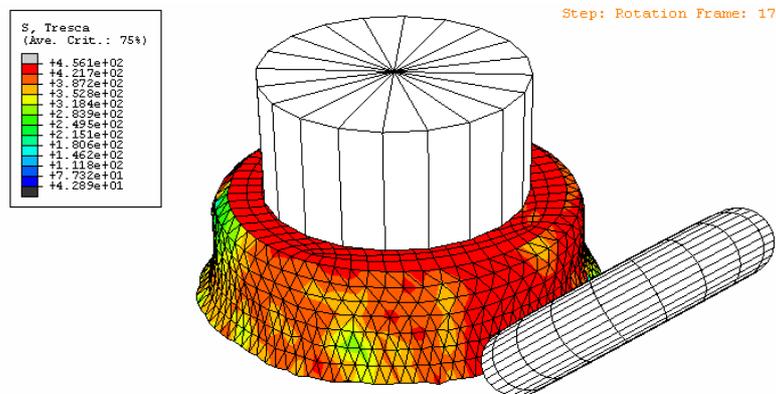


Figure37. Visualisation de la contrainte de Tresca

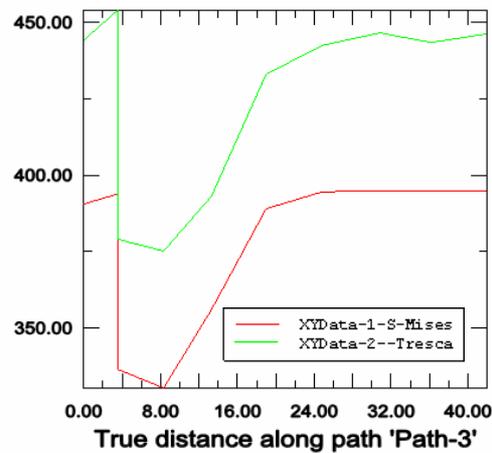


Figure38. Courbes des Contraintes équivalentes de Mises et Tresca

Les valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés sont données au tableau 3.3

Frame 17				
Ordre	Noeud	Distance X (mm)	Contrainte Equivalente De Von Mises (MPa)	Contrainte Equivalente De Tresca (MPa)
1	1090	0	390.595	444.22
2	92	5.52035	393.87	453.972
3	92	5.52035	336.542	379.114
4	1679	8.31508	330.37	375.185
5	1865	13.2835	355.958	393.098
6	2007	18.9836	389.044	433.092
7	2047	24.8082	394.581	442.474
8	1810	30.8184	395	446.607
9	1738	36.1652	395	443.451
10	299	41.9871	395	446.291

Tableau3.3 Valeurs des Contraintes équivalentes de Mises et de Tresca aux nœuds considérés

- On termine par une tentative d'interprétation des résultats de simulation et leur comparaison avec les résultats expérimentaux.

3.3.4. Tentative d'interprétation des résultats de simulation

En fin d'opération (frame 17), on dispose des maximums des contraintes équivalentes de Mises et de Tresca qui se manifeste près du contact mandrin-flan les maximums sont de l'ordre de 395 MPa pour la contrainte équivalente de Mises et 453.972 MPa pour la contrainte équivalente de Tresca. Comparativement avec l'expérimentation l'effort de repoussage maximal se manifeste en dernières passes.

On peut affirmer que ce résultat de simulation coïncide avec la réalité expérimentale.

Remarquons que l'écart entre les maximums des contraintes équivalentes est de l'ordre de 60 MPa environ pour les trois configurations du flan en cours de déformation.