

CAELinux et l'analyse par éléments finis.

Exercice 2, mesure de déformée

Jean-Marc LICHTLE *

6 mai 2006

Table des matières

1 Introduction	1
2 Génération du cube percé	2
2.1 Génération du cube	2
2.2 Génération du cylindre	2
2.3 Génération du cercle des noeuds	2
3 Maillage	2
3.1 Maillage et groupes de noeuds	2
3.2 CODE-ASTER et retour à SALOME	3
4 Génération tableau de déplacements	5
5 Interprétation, validité de résultats	6
5.1 Unités	6
5.2 Vérification de l'unicité des résultats	7
5.3 Pertinence du résultat obtenu	7
6 Conclusion, auteur	7

Résumé

L'objectif de ce second document est de présenter la façon dont on peut mesurer des déformations de pièces sous charge simulée. Deux méthodes seront abordées :

- La mesure directe des coordonnées des noeuds dans le module post-pro de SALOME
- La récupération de données chiffrées sous forme d'un tableau qui sera utilisable, par exemple, pour dessiner la déformée en CAO.

1 Introduction

L'intérêt de telles mesures peut sembler éloigné de l'objectif poursuivi c'est à dire la maîtrise rapide de l'ensemble SALOME + CODE-ASTER, il correspond toutefois à un premier cas d'utilisation qui m'a été proposé sur mon lieu de travail. Pour préciser il s'agissait d'imaginer la forme que devait avoir une pièce produite dans un matériau relativement souple pour que celle-ci, dans un état de charge défini, prenne exactement la forme souhaitée par le client.

Il va sans dire que les formes et matériaux qui servent de support à l'exercice n'ont strictement rien à voir avec les produits sur lesquels je travaille. Pour aller vite et rester dans des choses supposées connues et maîtrisées suite à l'étude attentive du document

CAELinux et l'analyse par éléments finis. Exercice 1, cube percé

* Ingénieur Arts et Métiers promotion CH73

je reprendrais l'exemple du cube percé, cette fois avec quelques différences dans la façon de générer la pièce. Pour l'exercice nous mesurerons la déformation du perçage, plus précisément les déplacements des noeuds précisément situés sur le cercle d'intersection de l'alésage cylindrique avec la face carrée de coordonnées $Z=0$.

2 Génération du cube percé

2.1 Génération du cube

Nous irons cette fois bien plus vite que pour l'exercice précédent. Lancer SALOME, module Geometry, menu File / New. Construire le cube avec menu New Entity, Primitives, Box. Choisir l'option saisie des dimensions 3D (case à cocher de droite dans le boîte de dialogue) puis saisissez les dimensions, 2, 2, 2 et validez avec OK. Agrandissez le cube, visualisez le comme il vous plaira, vous devriez savoir vous débrouiller pour cette partie. Nous venons de construire un cube dont un angle est positionné à l'origine du système de coordonnées.

2.2 Génération du cylindre

Comme pour le cube nous allons utiliser l'option Primitives du menu New entity, mais cette fois avec l'option Cylinder. Notre objectif est de centrer ce cylindre sur la face. On pourrait construire le cube à l'origine en donnant simplement ses dimensions comme à l'étape du cube et le déplacer ensuite. Je préfère la méthode qui consiste à définir directement le cylindre au bon endroit, centré sur la face $Z=0$. Pour cela construire le point de centre de coordonnées (1,1,0) correspondant au centre de la face souhaitée puis le vecteur (0,0,1) perpendiculaire à cette face. Une fois ces constructions faites revenez à la construction du cylindre, vous ne devriez avoir aucune difficulté à venir à bout de cette partie du travail.

2.3 Génération du cube percé, génération du cercle des noeuds

La partie "perçage" est classique (menu Operation / Boolean / Cut), voir l'exercice précédent si nécessaire. A ce stade le cube percé est généré. Il va falloir maintenant successivement :

- Décomposer ce volume en faces, pour créer la face d'appui fixe et la face soumise à la contrainte.
- Générer, par décomposition d'une face, le cercle dont nous voulons suivre la déformation.

La décomposition en faces ne devrait plus avoir de secrets pour vous (menu New Entity / Explode / Face [sélectionner l'objet à décomposer] puis OK. Repérez la face du cube située dans le plan $Z=0$. Dans mon exemple il s'agit de Face_5 mais, si vous avez suivi une autre démarche pour générer le cube percé la numérotation des faces peut changer. Adaptez donc à votre cas. Décomposez à son tour cette face en arêtes puis repérez l'arête constituant le cercle souhaité, dans mon cas Edge_1. Arrivé à ce stade vous devriez avoir à l'écran une mage très voisine de celle de la figure 1. Personnellement j'ai pris l'habitude de renommer les faces et arêtes pour leur donner des désignations "parlantes". Je renomme donc Face_2 base, Face_4 pression et Edge_1 cercle. Voilà, la partie Geometry est finie, nous passons au maillage.

3 Maillage

3.1 Maillage et génération des groupes de mailles et noeuds

Concernant la réalisation du maillage reportez vous éventuellement à l'exercice 1. Le maillage réalisé ici est obtenu avec les valeurs suivantes :

- Average Length 0.2 soit 1/10ème de l'arête ce qui donne un maillage assez grossier mais ne charge pas outre mesure la machine et est amplement suffisant pour un simple exercice.
- Max. Element Volume 1.

La création des groupes de maille correspondant aux faces base et pression est trivial, je nomme ces groupes Base et Pression, avec une majuscule pour les distinguer des faces de solide. La création du groupe Cercle sur lequel doivent se situer les noeuds dont nous voulons mesurer les déplacements est assez semblable à une face de maille à ceci près qu'il faut cliquer dans la case Node au lieu de

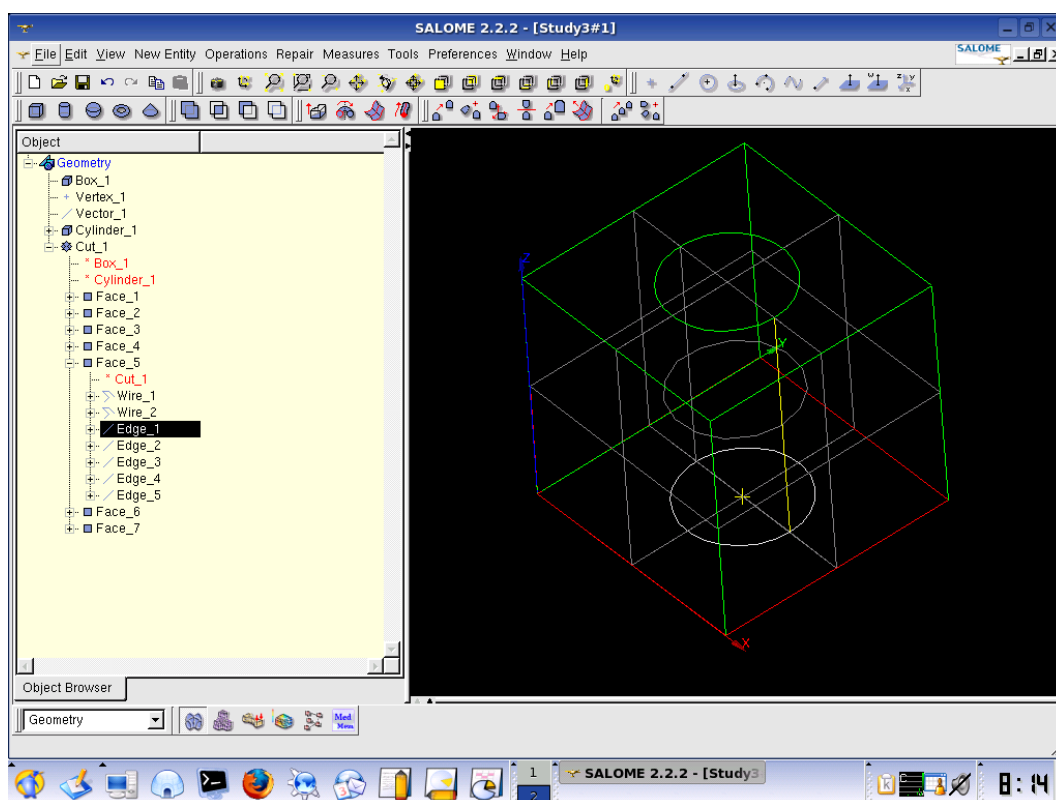


FIG. 1 – Le cercle en arrière plan du cube percé

Face dans la partie de la boîte de dialogue nommée Elements type. Voir à ce sujet la figure 2. Voilà, vous avez créé le maillage, vous pouvez maintenant l'exporter.

3.2 Calcul Code-Aster et retour au module post-pro de Salome

Aucune nouveauté dans la façon de créer une nouvelle analyse, lancer ASTK puis EFICAS et paramétrer le fichier .comm de réglage de Code-Aster. J'ai bloqué la face Base ($DDL_IMPO\ DX=0, DY=0, DZ=0$) puis appliqué une pression répartie (PRES_REP) de $1e6$ Pascal sur la face Pression. Un petit RUN et nous sommes prêts à revenir à SALOME, cette fois dans le module Post-pro.

Importez le résultat du calcul de Code-Aster puis affichez la figure de la pièce déformée (Solution-DEPL / 0, INCONNUE / Deformed Shape). Attention ! Nous allons mesurer directement la position des noeuds sur l'écran. Il est donc impératif que le facteur d'échelle soit de 1 (Scale Factor). Voir figure 2. Si vous mettez un autre facteur d'échelle vous amplifiez / réduisez la déformation et transformez en conséquence les mesures que nous allons conduire dans un instant.

Sélectionnez Def.Shape :1 dans le menu de gauche puis faites un clic droit sur la vue du cube percé. Choisissez l'option Sélection Info du menu contextuel pour afficher la boîte de dialogue correspondante. Vous devriez avoir un écran assez semblable à celui de la figure 4. Il suffit maintenant de cliquer sur un noeud pour voir s'afficher dans la boîte de dialogue "Data on elements" les valeurs numériques associées au noeud sélectionné :

- Scalar Value donne la valeur du déplacement (norme du vecteur de déplacement)
- Vector Values mesure les trois projections du vecteur déplacement sur le repère.
- Coordinates donne les trois coordonnées du noeud dans le repère.

Vous noterez que les coordonnées sont celles du noeud dans sa nouvelle position (déformée) et non sa position d'origine. Cette observation prendra tout son sens un peu plus loin lorsque nous récupérerons le tableau correspondant à tous les noeuds du cercle, les positions X, Y et Z seront les positions d'origine !

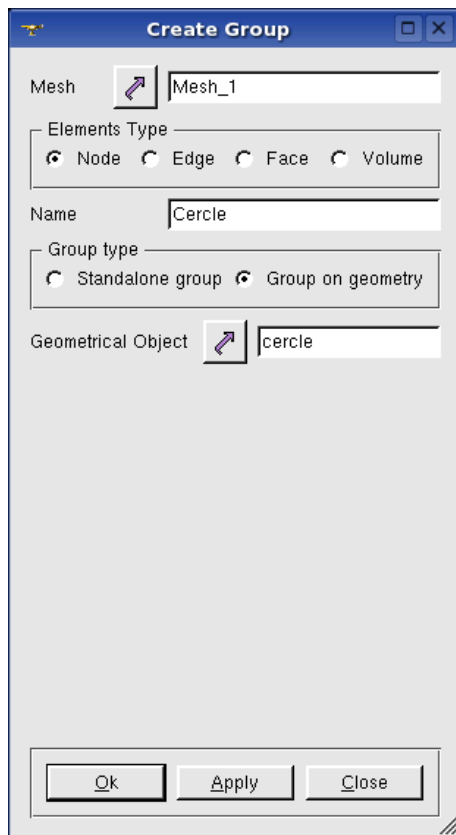


FIG. 2 – Boite de dialogue création du cercle des noeuds

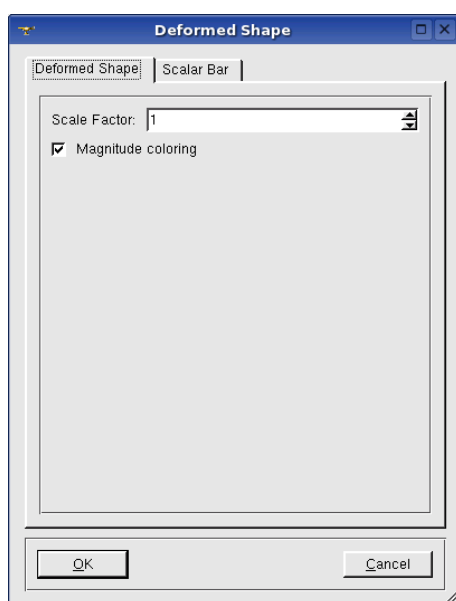


FIG. 3 – Réglage du facteur d'échelle de la déformée

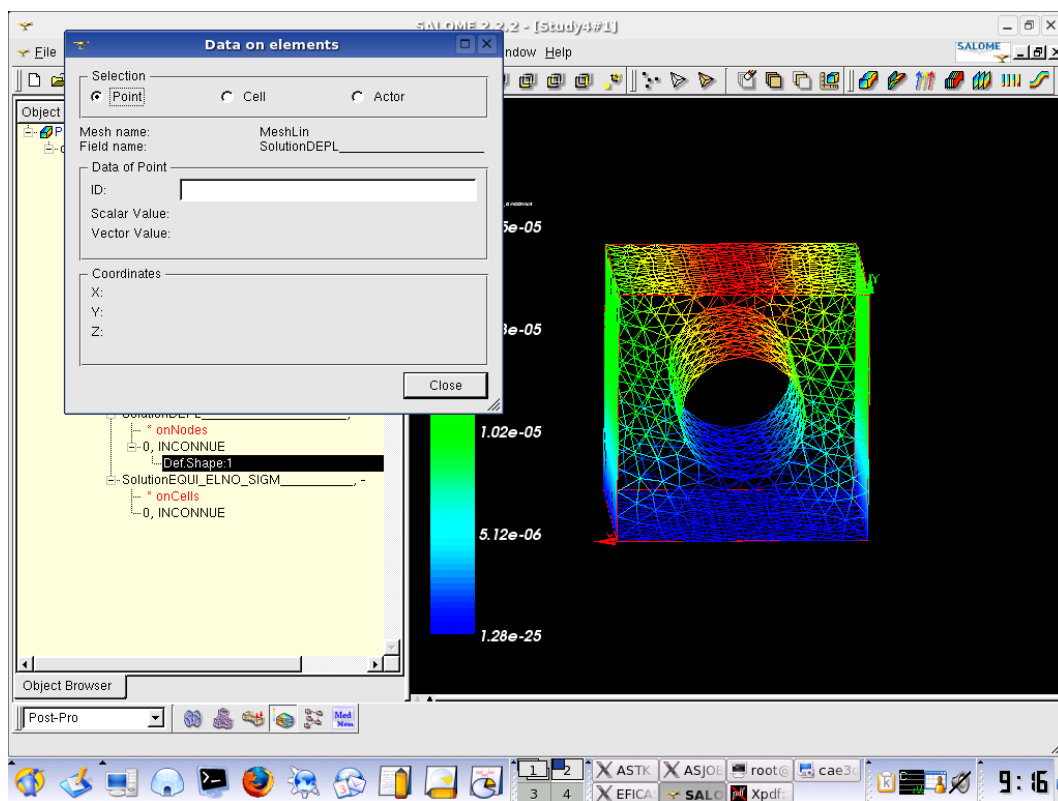


FIG. 4 – Ecran de mesure de position et déplacement de noeud

4 Aménagements au fichier .comm pour créer le tableau de déplacements

Jusqu'à présent nous n'avons pas utilisé la notion de groupe de noeud et le groupe "Cercle" n'a pas servi. De fait nous avons reproduit les étapes du premier exercice, n'ajoutant que la mesure directe sur des noeuds choisis dans le module Post-pro de SALOME. Le moment est venu de passer aux choses sérieuses et de modifier le fichier .comm pour que ce soit CODE-ASTER qui nous génère un tableau correspondant aux noeuds du cercle. Pour cela :

- Revenez à EFICAS
- Via l'onglet "Nouvelle commande" (à droite de l'écran) ajoutez une nouvelle ligne IMPR_RESU, par exemple avant la ligne IMPR_RESU existante qui restera inchangée.

Paramétrez cette nouvelle ligne comme le montre la figure 5. Le script correspondant à ce réglage est le suivant :

- Réglez les valeurs de MODELE et FORMAT, la valeur de format qui est normalement MED (dans le IMPR_RESU standard) doit ici être réglée à RESULTAT.
- Dans la section RESU réglez MAILLAGE.
- Créer une nouvelle entrée "RESULTAT" ce qui va ajouter quelques lignes d'options possibles. Réglez RESULTAT à la valeur par défaut.
- Dans la rubrique b-extrac ajouter NOM_CHAM et sélectionnez DEPL dans la liste déroulante qui s'affiche alors.
- Dans b_comp ajouter NOM_CMP et faites passer successivement "DX" puis "DY" et enfin "DZ" dans la liste des valeurs.
- Dans b_topologie ajouter GROUP_NO et donnez lui la valeur "Cercle" pour que CODE-ASTER limite les calculs de coordonnées / déplacements aux noeuds présents sur ce cercle.
- On terminera en ajoutant IMPR_COOR à b_valeurs en le mettant à oui.

Il suffit maintenant de relancer le calcul de CODE-ASTER pour que ce dernier génère le tableau des résultats. Pour accéder à ce tableau il suffit simplement d'ouvrir le fichier suffixe .resu dans le sous répertoire correspondant à l'étude. Le tableau, reproduit dans la figure 6 est situé tout à la fin du

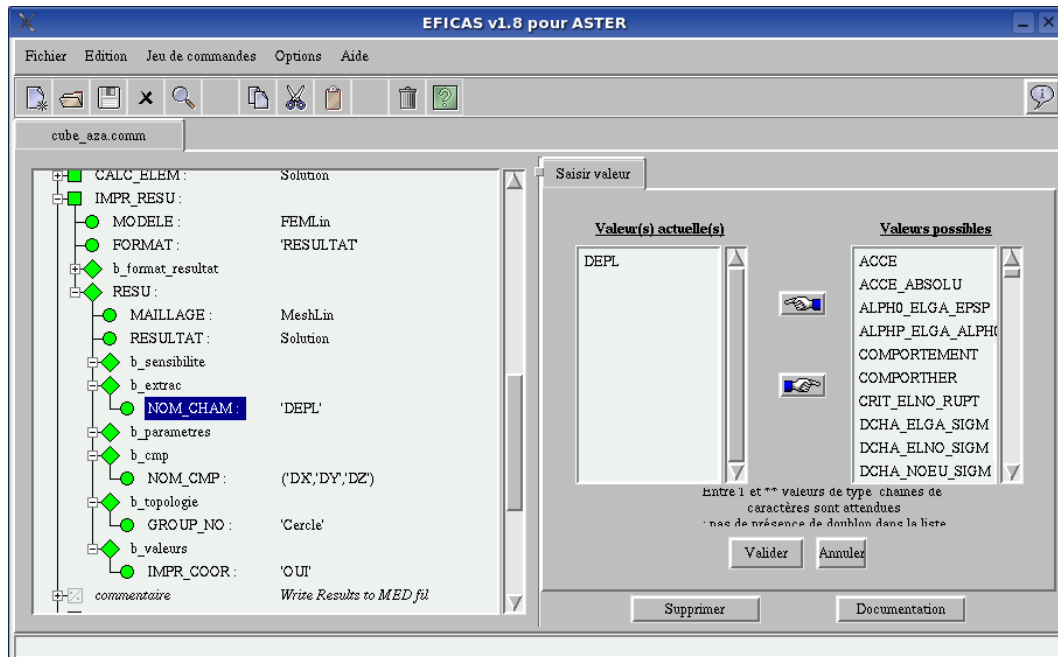


FIG. 5 – IMPR_RESU spécifique pour génération tableau

fichier, juste avant le tableau résumant les temps de calculs. Pour lire ce fichier plusieurs solutions s'offrent à vous, soit utiliser un éditeur de texte type vi (ou vim), soit utiliser les commandes tail et head associées aux redirections de flux pour visualiser le contenu de la fin du fichier et copier la partie sélectionnée dans un nouveau fichier. La copie d'écran 6 a été obtenue avec la commande :

```
tail -n 45 cube_perce.resu | head -n 27
```

Un petit coup de » jml.txt à la fin comme ceci :

```
tail -n 45 cube_perce.resu | head -n 27
```

et voilà un beau fichier texte contenant vos valeurs numériques !

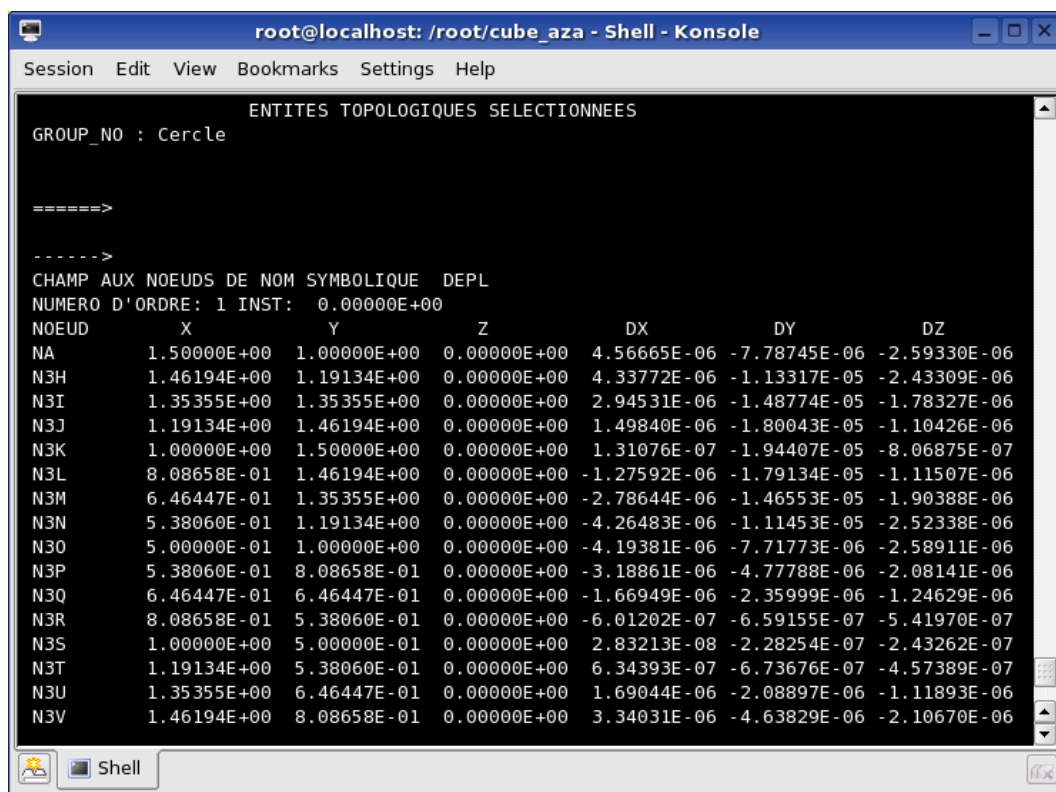
ATTENTION à l'interprétation des résultats ! J'ai déjà mis le doigt sur le problème plus haut dans le paragraphe parlant de la mesure directe des noeuds dans SALOME, ici le tableau va comprendre des colonnes de coordonnées et des projections de déplacements. Les coordonnées sont dans ce cas les coordonnées de départ, avant déformation, alors que dans SALOME nous mesurons les coordonnées après déformation.

5 Interprétation, validité de résultats

5.1 Unités

Dans tout ce qui précède j'ai simplement précisé que la pression de 1e6 est exprimée en Pascal (N/m²). Cela sous entend que toutes les valeurs de dimension sont exprimées en m. Dans notre exemple nous avons donc un cube d'acier de 2m d'arête alésé à 500 mm. Je préfère ne pas tenir la chignole dans cette affaire ! Sérieusement dans l'industrie les dimensions sont souvent exprimées en mm, les volumes que vous pouvez éventuellement importer dans SALOME au lieu de générer les pièces avec le module Geometry sont généralement construits en utilisant le mm comme unité. Il en découle que vous pouvez

- soit transformer les volumes en leur appliquant un facteur d'échelle ce qui n'est pas obligatoirement très pertinent puisque le mm est souvent un choix de raison,
- soit exprimer toutes les autres grandeurs dans un système d'unité qui soit cohérent avec le choix du mm, les pressions par exemple en N/mm².



```

root@localhost: /root/cube_aza - Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help

ENTITES TOPOLOGIQUES SELECTIONNEES
GROUP_NO : Cercle

=====
----->
CHAMP AUX NOEUDS DE NOM SYMBOLIQUE DEPL
NUMERO D'ORDRE: 1 INST: 0.00000E+00
NOEUD      X      Y      Z      DX      DY      DZ
NA      1.50000E+00 1.00000E+00 0.00000E+00 4.56665E-06 -7.78745E-06 -2.59330E-06
N3H      1.46194E+00 1.19134E+00 0.00000E+00 4.33772E-06 -1.13317E-05 -2.43309E-06
N3I      1.35355E+00 1.35355E+00 0.00000E+00 2.94531E-06 -1.48774E-05 -1.78327E-06
N3J      1.19134E+00 1.46194E+00 0.00000E+00 1.49840E-06 -1.80043E-05 -1.10426E-06
N3K      1.00000E+00 1.50000E+00 0.00000E+00 1.31076E-07 -1.94407E-05 -8.06875E-07
N3L      8.08658E-01 1.46194E+00 0.00000E+00 -1.27592E-06 -1.79134E-05 -1.11507E-06
N3M      6.46447E-01 1.35355E+00 0.00000E+00 -2.78644E-06 -1.46553E-05 -1.90388E-06
N3N      5.38060E-01 1.19134E+00 0.00000E+00 -4.26483E-06 -1.11453E-05 -2.52338E-06
N3O      5.00000E-01 1.00000E+00 0.00000E+00 -4.19381E-06 -7.71773E-06 -2.58911E-06
N3P      5.38060E-01 8.08658E-01 0.00000E+00 -3.18861E-06 -4.77788E-06 -2.08141E-06
N3Q      6.46447E-01 6.46447E-01 0.00000E+00 -1.66949E-06 -2.35999E-06 -1.24629E-06
N3R      8.08658E-01 5.38060E-01 0.00000E+00 -6.01202E-07 -6.59155E-07 -5.41970E-07
N3S      1.00000E+00 5.00000E-01 0.00000E+00 2.83213E-08 -2.28254E-07 -2.43262E-07
N3T      1.19134E+00 5.38060E-01 0.00000E+00 6.34393E-07 -6.73676E-07 -4.57389E-07
N3U      1.35355E+00 6.46447E-01 0.00000E+00 1.69044E-06 -2.08897E-06 -1.11893E-06
N3V      1.46194E+00 8.08658E-01 0.00000E+00 3.34031E-06 -4.63829E-06 -2.10670E-06

```

FIG. 6 – Le tableau situé à la fin de xxxx.resu

5.2 Vérification de l'unicité des résultats

Je vous engage à vérifier sur des points caractéristiques et faciles à identifier, par exemple $X=1$, $Y=0.5$, que les deux méthodes donnent effectivement le même résultat. Par ailleurs le calcul prend en compte un comportement élastique de l'acier. Il en découle qu'une charge double de la charge initiale doit entraîner une déformation double elle aussi. Essayez avec les deux méthodes décrites pour bien vérifier que vous avez bien saisi cet exercice.

5.3 Pertinence du résultat obtenu

Comme toujours il convient, lorsqu'on vient d'obtenir un résultat, de se poser la question de la pertinence de celui-ci. Observez que la déformation sous l'effet de la pression, sur la face $Y=2$ nommée Pression conduit à des déplacements des noeuds du cercle selon X et Y (on s'y attendait) mais aussi selon Z . Ce déplacement selon Z est lié à l'effet de gonflement (valorisé par le coefficient de POISSON du matériau). Il en découle que si vous cherchez effectivement à quantifier la déformation du solide au niveau de la face vous avez le bon chiffre mais si vous souhaitez valoriser ce déplacement dans une section courante, ce qui est assez classique sur un produit long obtenu par tout procédé ad-hoc, laminage, extrusion etc... alors vous devez vous poser sérieusement la question de validité du résultat obtenu. En supposant que le solide soit simplement une tranche de produit long dont vous voulez analyser le comportement dans une section quelconque située loin des extrémités, vous avez probablement intérêt à "bloquer" les deux faces sur lesquelles débouchent les perçages de façon à éviter les déformations selon Z .

6 Conclusion, auteur

Droit d'auteur : L'utilisation de ce document sous quelque forme que ce soit est absolument libre au sens que la licence GPL donne à ce terme. Je souhaite simplement, si de larges extraits de cette publication sont utilisés dans d'autres documents, qu'il soit fait mention du nom de l'auteur du docu-

ment initial.

L'auteur : Jean-Marc LICHTLE Ingénieur Arts et Métiers, promotion Chalons 1973-1977.

Les commentaires sont à adresser à :

jean-marc.lichtle@gadz.org