SSNV501 – Emboutissage d'une tôle par un poinçon hémisphérique (test de Wagonner)

Résumé :

Ce test représente un calcul d'emboutissage d'une tôle par un poinçon hémisphérique rigide en présence de grandes déformations plastiques. Ce test est très utilisé dans la simulation de la mise en forme de tôle.

Les résultats analysés sont le déplacement vertical du poinçon en fonction de la force imposée. Ils sont comparés à une solution de référence numérique.

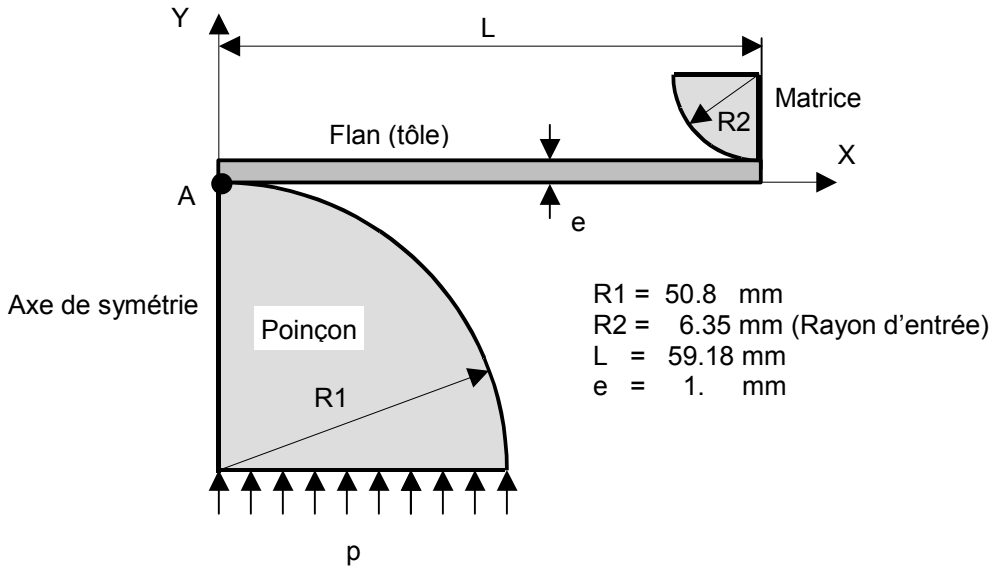
Trois modélisations axisymétriques sont effectuées. Le contact flan/poinçon et flan/matrice est du type nœud-maille.

1) Modélisation A : le coefficient de frottement, contact flan/poinçon et flan/matrice est nul.
2) Modélisation B : le coefficient de frottement, contact flan/poinçon et flan/matrice est égal à 0.15.
3) Modélisation C : modélisation similaire à la modélisation A avec un maillage plus fin pour le flan.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



R1 = 50.8 mm
R2 = 6.35 mm (Rayon d'entrée)
L = 59.18 mm
e = 1. mm

1.2 Propriétés du matériau

Flan :

$E = 69004.\, N/mm^2$ Module d'Young

$\nu = 0.3$ Coefficient de poisson

$\sigma_0 = 589(10^{-4} + \bar{\varepsilon}^p)^{0.216}$ Loi d'écrouissage

Poinçon, matrice

$E = 10^7\, N/mm^2$ Module d'Young

$\nu = 0.3$ Coefficient de poisson

Zones de contact : poinçon/flan, matrice/flan

$\mu = 0.15$ Coefficient de frottement

1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites :

1) la matrice est encastrée
2) la périphérie du flan est encastrée

Chargement : pression $p = 12.33 \mathrm{N}/mm^2$ soit force d'emboutissage de $100\, kN$

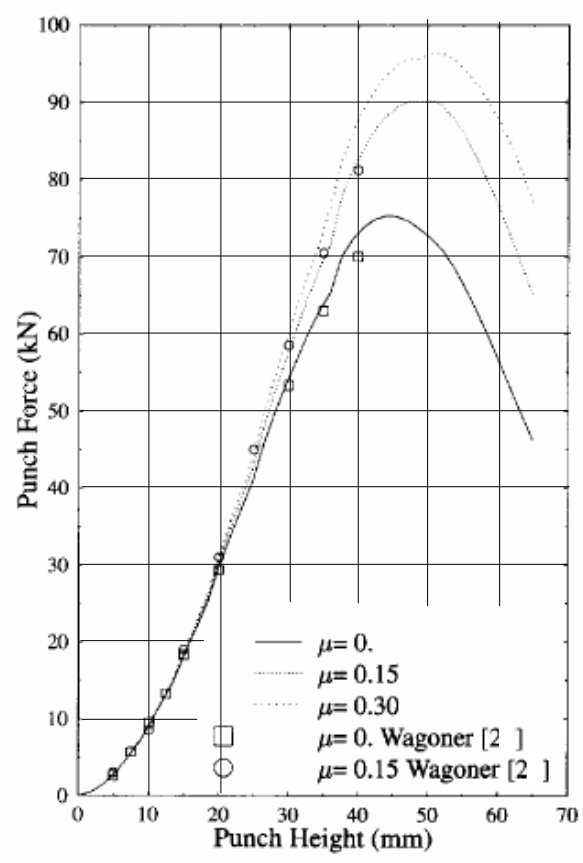
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La méthode de calcul utilisée pour simuler le comportement dans la zone de contact est présentée en détail dans les références [bib1] et [bib2].

2.2 Résultats de référence



Chargement (KN)	Déplacement μ=0, (mm)	Déplacement μ=0.15 (mm)
10	10.6	10.6
20	15.4	15.4
30	20.0	20.0
40	24.7	23.8
50	28.2	27.1
60	33.0	30.8
70	37.4	35.2
75	44.0	36.5
80		38.3
90		50.0

Les déplacements sont extraits de [1].

2.3 Incertitudes sur la solution

Les incertitudes liées à cette référence est inférieure à 5% (lecture des résultats graphiques).

2.4 Références bibliographiques

1) P. CHABRAND, F. DUBOIS, J.C. GELIN : "Modelling drawbeads in sheet metal forming", Int. J. Mechanics, vol 38 n°1 pp 99-77 (1996)

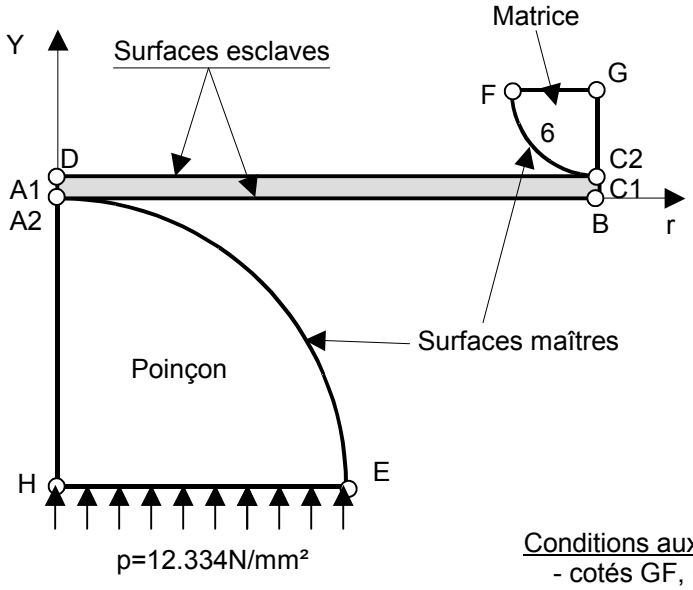
2) R. WAGONER, E. NAKAMACHI and J. K. LEE : A benchmark test for sheet metal forming analysis. Technical RepT. No. ERC/NSM-S-90-22, Ohio State University (1988)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Solide : Modélisation AXIS (QUAD4)
Contact : CONTACT (SEG2)



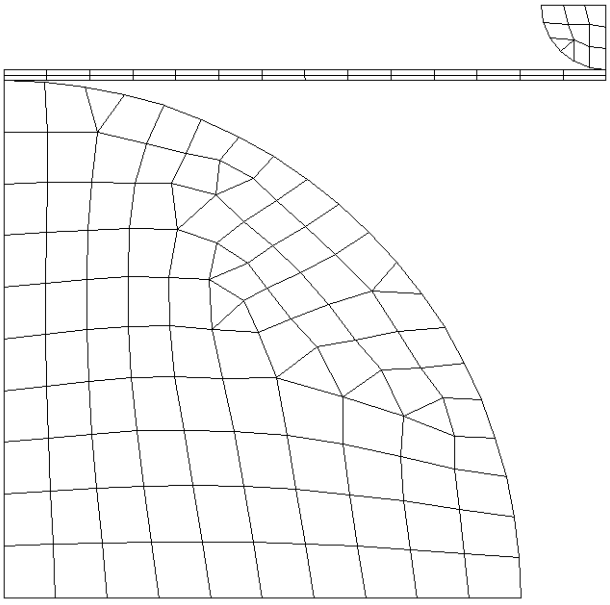
Mailles solides
- Flan
  . 2 éléments dans l'épaisseur
  . 14 éléments suivant le rayon
- Poinçon
  . 20 éléments sur AE
- Matrice
  . 6 éléments sur CF

Zones de contact
- DC1/C2F
- A2B/A1E

Les points :
- A1 et A2 sont géométriquement confondus
- C1 et C2 sont géométriquement confondus
- A1, C1∈ au flan
- A2 ∈ au poinçon
- C2 ∈ au rayon entrée/matrice

Conditions aux limites
- cotés GF, C2G, BC1 : DX=0, DY=0.
- cotés DA1, A2H : DX=0.

Pour éviter les mouvements de corps rigides, on impose que les déplacements DY des points $A1$ (appartenant au flan) et $A2$ (appartenant au poinçon) soient identiques.



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 182

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Nombre de mailles : 131 QUAD4, 12 TRIA3 et 84 SEG2

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification (Déplacement)	Chargement ($\times 10^3 N$)	Référence	Type de référence	Tolérance
DX ($N87$)	10.	10.6	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	20.	15.4	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	30.	20.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	40.	24.7	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	50.	28.2	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	60.	33.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	70.	37.4	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	75.	44.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	10.	10.6	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	20.	15.4	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	30.	20.0	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	40.	24.7	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	50.	28.2	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	60.	33.0	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	70.	37.4	'NON_REGRESSION'	0,1%
DX ($N87$)	75.	44.0	'NON_REGRESSION'	0,00%

3.4 Remarques

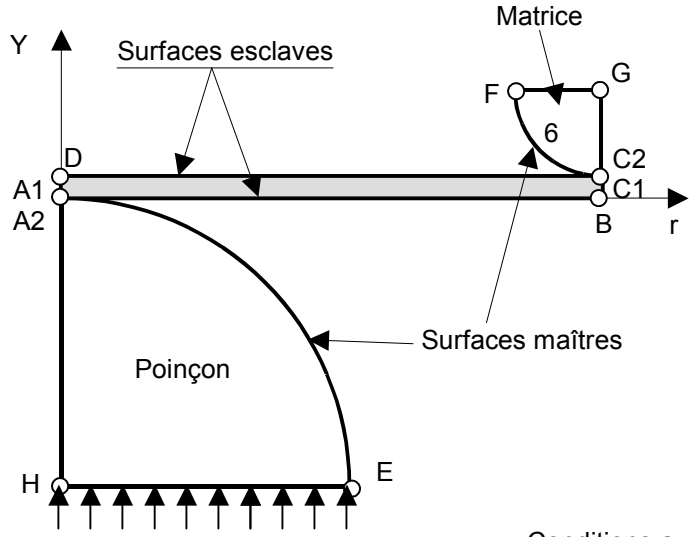
La loi de comportement du matériau constituant la tôle est donnée sous-forme linéarisée.
Le calcul ne converge plus au-delà de 75% de la charge totale.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Solide : Modélisation AXIS (QUAD4)
Contact : CONTACT (SEG2)



Mailles solides
- Flan
  . 2 éléments dans l'épaisseur
  . 14 éléments suivant le rayon
- Poinçon
  . 20 éléments sur AE
- Matrice
  . 6 éléments sur CF

Zones de contact
- DC1/C2F
- A2B/A1E

Les points :
- A1 et A2 sont géométriquement confondus
- C1 et C2 sont géométriquement confondus
- A1, C1∈ au flan
- A2 ∈ au poinçon
- C2 ∈ au rayon entrée/matrice

Conditions aux limites
- cotés GF, C2G, BC1 : DX=0, DY=0.
- cotés DA1, A2H : DX=0.

Pour éviter les mouvements de corps rigides, on impose que les déplacements DY des points $A1$ (appartenant au flan) et $A2$ (appartenant au poinçon) soient identiques.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 182
Nombre de mailles : 131 QUAD4, 12 TRIA3 et 84 SEG2

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification (Déplacement)	Chargement ($\times 10^4 N$)	Référence	Type de référence	Tolérance
DX ($N87$)	0.3	5.00	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	0.6	7.00	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
DX ($N87$)	0.3	5.00	'NON_REGRESSION'	0,10%
DX ($N87$)	0.6	7.00	'NON_REGRESSION'	0,10%

4.4 Remarques

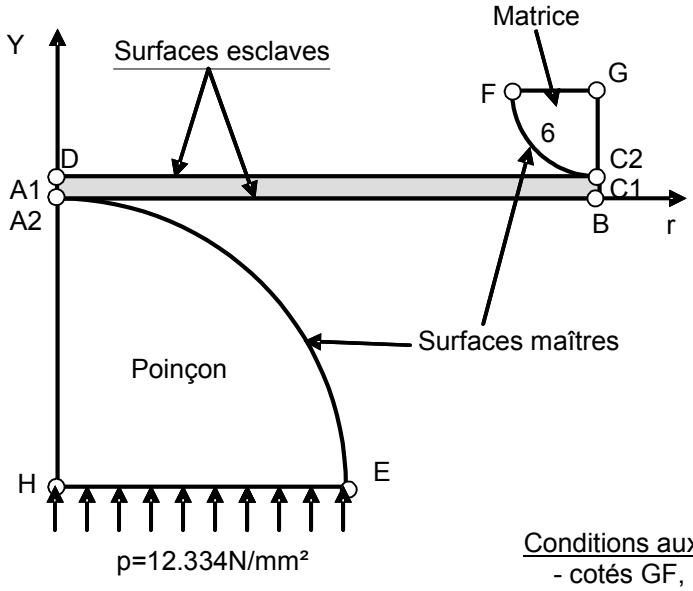
La loi de comportement du matériau constituant la tôle est donnée sous forme linéarisée.
Les calculs ont été effectués jusqu'à 6% du chargement, ils peuvent se poursuivre sans problème jusqu'à 78% de la charge totale, au-delà le calcul ne converge plus.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Solide : Modélisation AXIS (QUAD4)
Contact : CONTACT (SEG2)



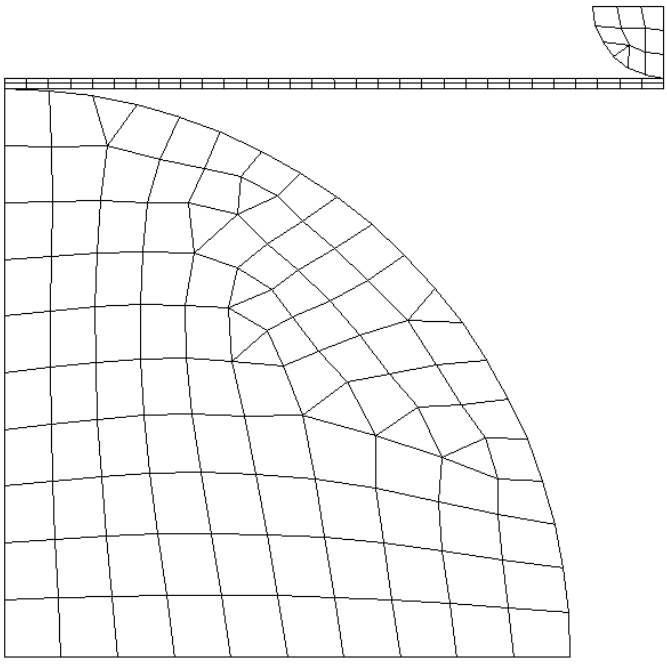
Mailles solides
- Flan
  . 2 éléments dans l'épaisseur
  . 30 éléments suivant le rayon
- Poinçon
  . 20 éléments sur AE
- Rayon entrée/matrice
  . 6 éléments sur CF

Zones de contact
- DC1/C2F
- A2B/A1E

Les points :
- A1 et A2 sont géométriquement confondus
- C1 et C2 sont géométriquement confondus
- A1, C1∈ au flan
- A2 ∈ au poinçon
- C2 ∈ au rayon entrée/matrice

Conditions aux limites
- cotés GF, C2G, BC1 : DX=0, DY=0.
- cotés DA1, A2H : DX=0.

Pour éviter les mouvements de corps rigides, on impose que les déplacements DY des points $A1$ (appartenant au flan) et $A2$ (appartenant au poinçon) soient identiques.



5.2 Caractéristiques du maillage

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Nombre de nœuds : 230
Nombre de mailles : 291 mailles (163 QUAD4, 12 TRIA3 et 116 SEG2)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification (Déplacement)	Chargement ($\times 10^4 N$)	Référence	Type de référence	Tolérance
$DX\ (N87)$	1.	10.6	'SOURCE_EXTERNE'	25,00%
$DX\ (N87)$	2.	15.4	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	3.	20.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	4.	24.7	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	5.	28.2	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	6.	33.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	7.	37.4	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	7.5	44.0	'SOURCE_EXTERNE'	10,00%
$DX\ (N87)$	1.	10.6	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	2.	15.4	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	3.	20.0	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	4.	24.7	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	5.	28.2	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	6.	33.0	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	7.	37.4	'NON_REGRESSION'	0,10%
$DX\ (N87)$	7.5	44.0	'NON_REGRESSION'	0,10%

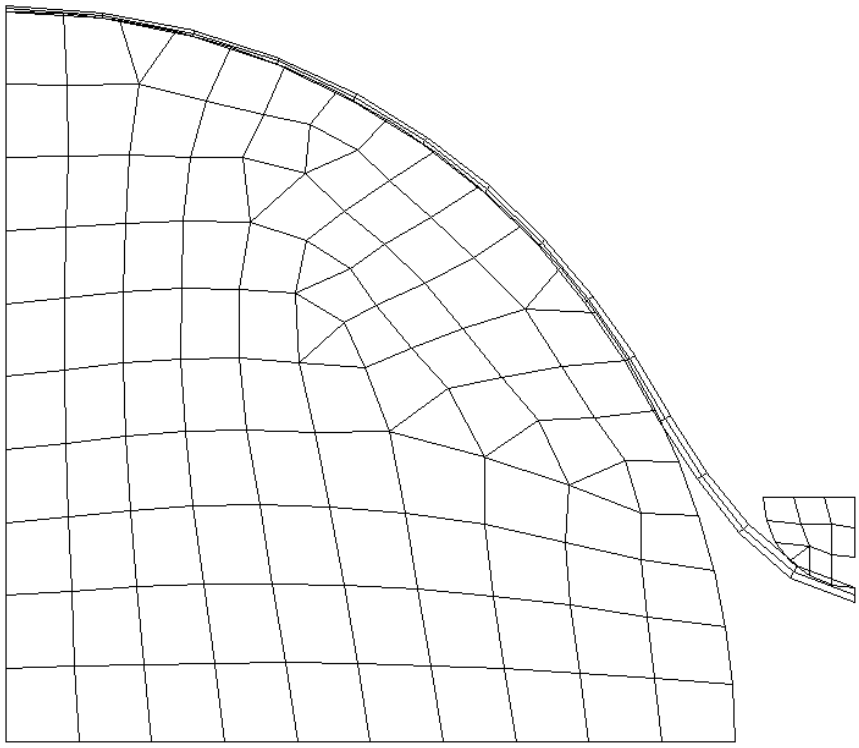
5.4 Remarques

La loi de comportement du matériau constituant la tôle est donnée sous-forme linéarisée.
Le calcul ne converge plus au-delà de 75% de la charge totale.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Synthèse des résultats

Sur la figure ci-dessous nous présentons, pour la modélisation A, la déformée du flan, la position de la matrice et du poinçon pour un chargement de $75\,kN$.



On constate un écart par rapport aux références [bib1] et [bib2]. Pour un chargement atteignant 75% du total précisé dans ces références, nous avons :

1) pour A, 7,5% d'erreur sur le déplacement,
2) pour C, 9,7% d'erreur sur le déplacement.

Pour la modélisation B (avec frottement), l'erreur à 75% de la charge donnée par les références [bib1] et [bib2] est de 6%.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)