



### Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: [.http://hdl.handle.net/10985/10475](http://hdl.handle.net/10985/10475)

#### To cite this version :

Alain COMBESCURE, Michel BRUNET, Bertrand MAUREL, Germaine NEFUSSI, Farid ABED-MERAIM - Les simulations numériques de la mise en forme sont-elles fiables ? - 2008

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)



# Les simulations numériques de la mise en forme sont elles fiables ?

A Combescure, M Brunet, B Maurel  
INSA Lyon (France)  
G Nefussi LMT Cachan  
F Abed Meraim LPMM Metz



Aussois janvier 2008



# Pourquoi cet l'exposé ?

- On fait beaucoup de simulation numérique en mise en forme...
- C'est un passage important si l'on veut bien comprendre les procédés
- Pour que les modèles introduits soient crédibles il faut des calculs fiables
- à quelles conditions ?
- Quelques pistes actuelles...

# Plan

- Contexte
- La prévision du retour élastique un vrai challenge en mise en forme
- Les instabilités striction et flambage
- Quelques avancées en EF
- Conclusions perspectives

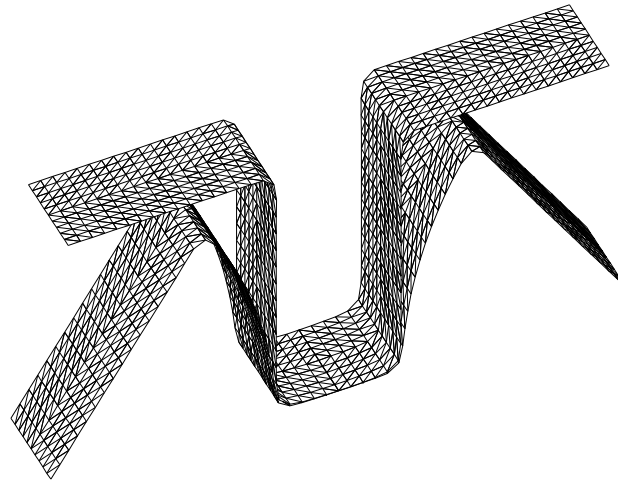
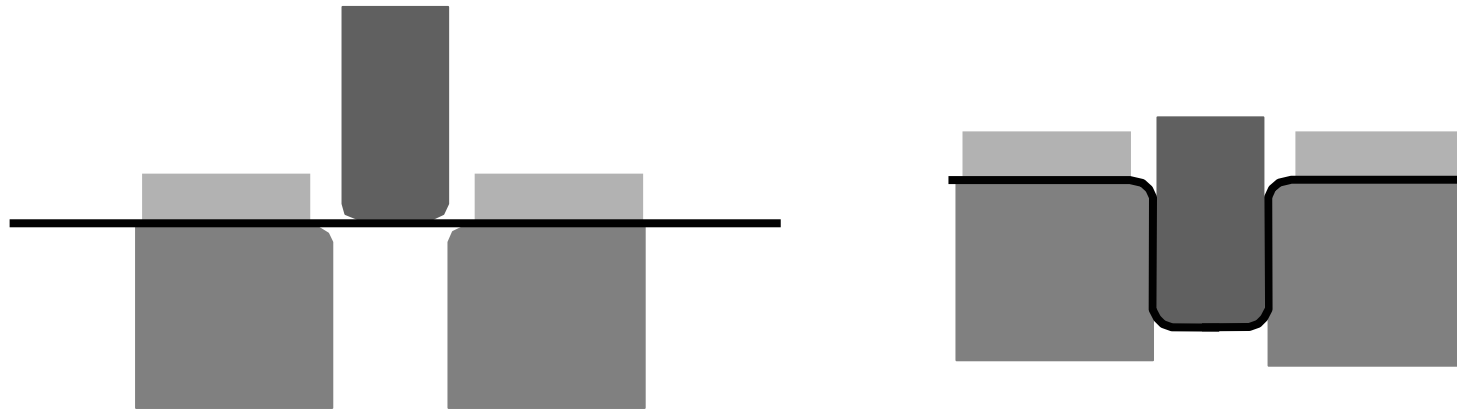
# Contexte

- Plus grande créativité: on essaye en virtuel et on ne teste que les solutions vraiment intéressantes
- Diminution des coûts
- Essai réussi du premier coup
- Avoir fait de nombreux essais numériques PREDICTIFS pour optimiser le procédé
- => Maîtrise de la conception virtuelle
- => plus grande liberté dans l'innovation.

# Mise en forme par emboutissage

- Emboutissage: problème très étudié sur les métaux. Beaucoup de progrès mais pas encore très robuste
- Sur les composites pas si avancé
- Le retour élastique difficile à bien prévoir...(c'est assez général sur tous les procédés.. Soudage par exemple)

# Un exemple emboutissage d'une forme en U

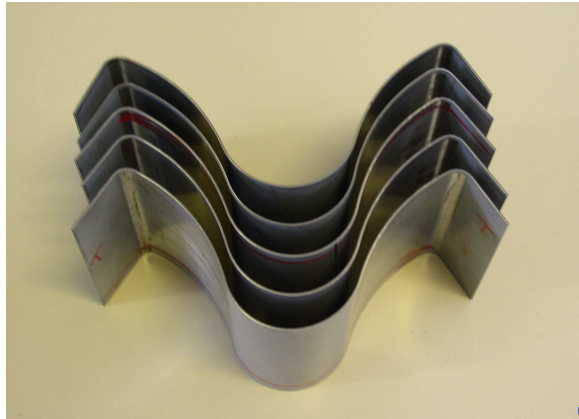


# Emboutissage prévoir la forme finale (pas expliquer la manip...):

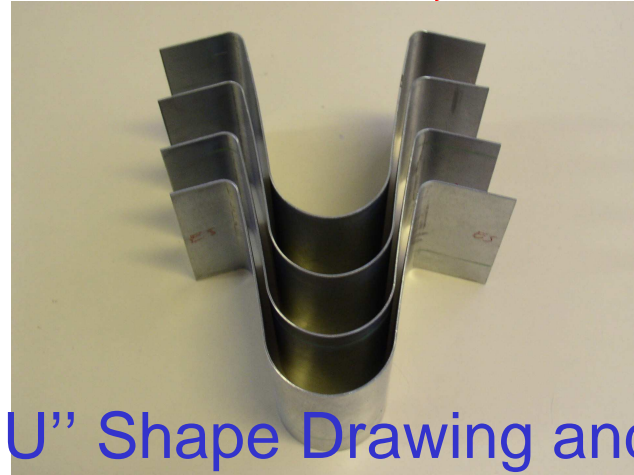
- Points cruciaux: bien identifier les lois de comportement trajet de charge complexe (cinématique....)
- Bien maîtriser les conditions limites coefficient de frottement....
- Les outils de calcul: en général emboutissage dynamique explicite, retour élastique implicite (méthodes inverses ?)
- Sont-ils fiables ?



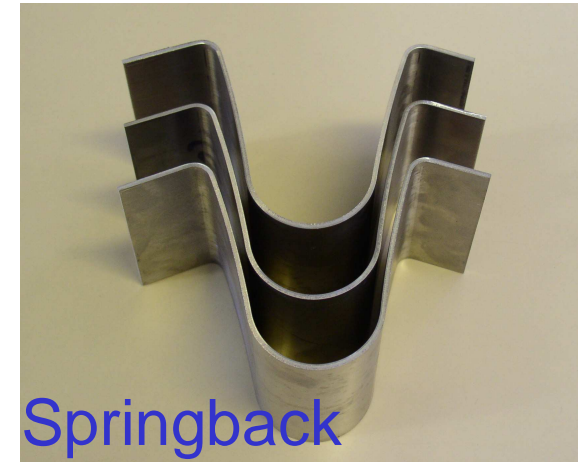
# Emboutissage = prévoir les épaisseurs la forme finale, les défauts



TRIP 800 (e = 1 mm)



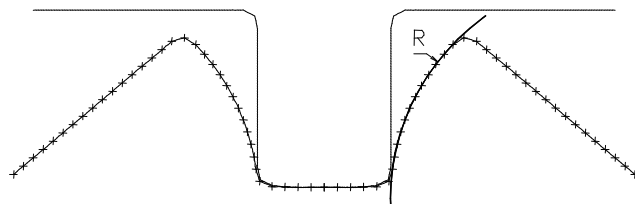
Mild-steel ES (e = 1 mm)



Aluminium 5182 O (e = 2.5 mm)

## "U" Shape Drawing and Springback

Springback characterisation by the side-wall Radius R



**Geometry :**

Sheet-metal strip of 300x100 mm<sup>2</sup>

Die radius = 4 mm

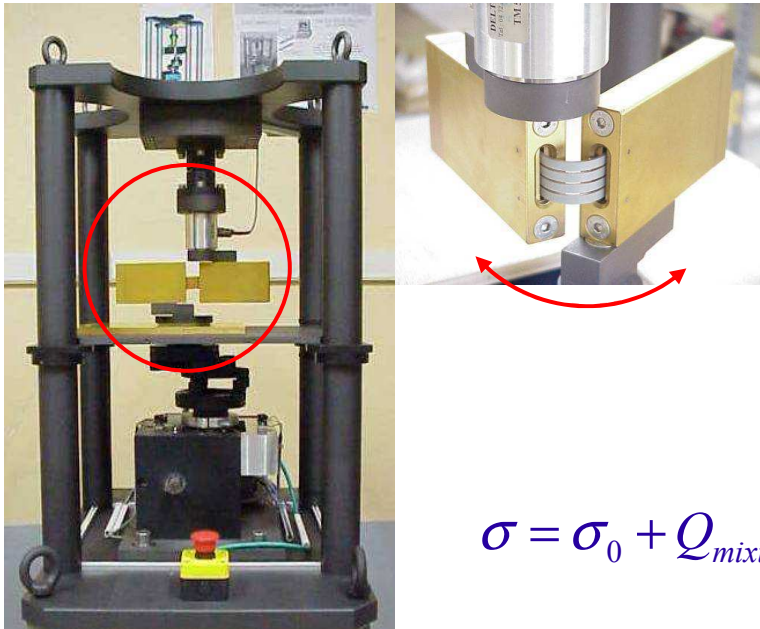
Punch stroke = 102 mm

Gap punch/die = 2 x thickness; Blankholder is without force

	TRIP 800	Mild steel ES	AA15182 O
Mini and maxi experimental wall radius R measured (mm)	87.50 – 98.1	678.8 – 727.5	398.4 – 435.3

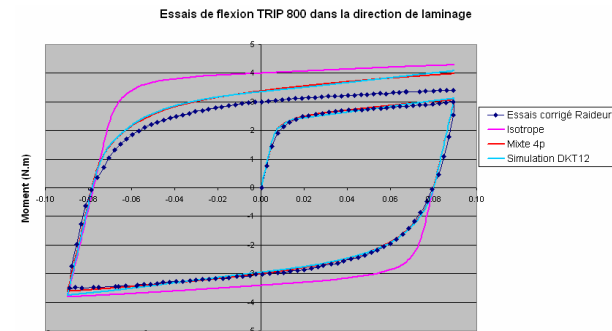
# Modèles de comportement

- Identification de la loi de comportement sur le pliage/dépliage d'une tôle mince.



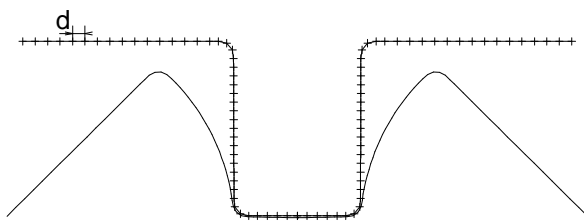
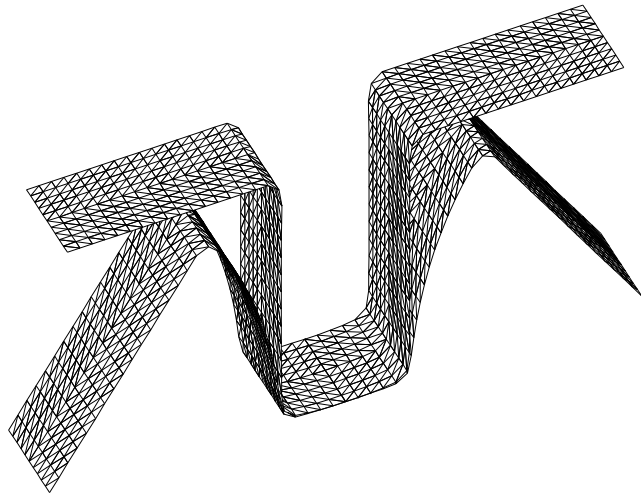
modèle de HILL  
les tôles sont orthotropes  
isotrope cinématique combiné

$$\sigma = \sigma_0 + Q_{mixte} \cdot \left(1 + e^{-b_{mixte} \cdot \epsilon_p}\right)$$

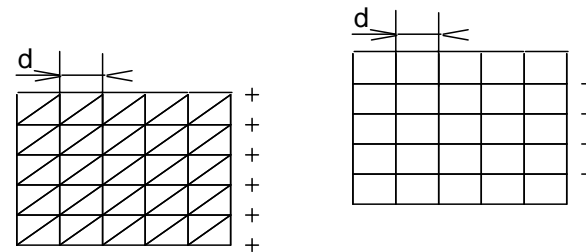


Une machine et une procédure d'identification brevetées

# Influence du choix des éléments finis



a – Retour élastique Expérimental



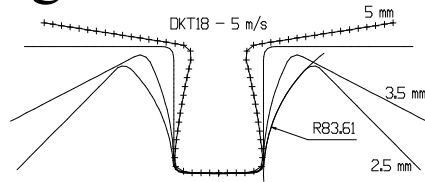
b – maillages triangles et quadrangles

# Influence du choix des éléments finis: résultats

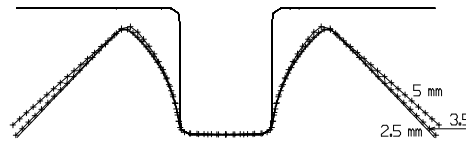
Certains éléments peu robustes  
très sensibles à la taille de maille  $h$

CV si  $h = \text{épaisseur}$

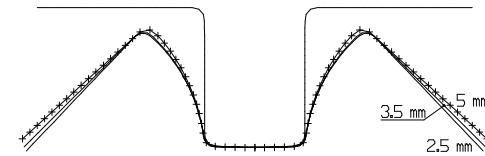
Triangles



DKT18

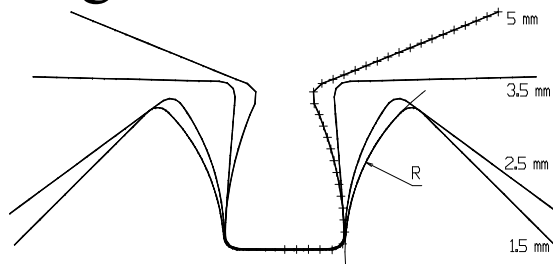


DKT12

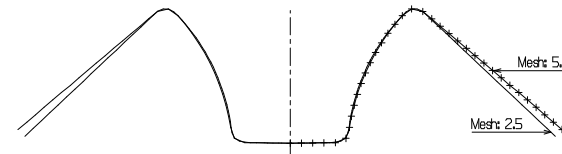


S3

Quadrangles



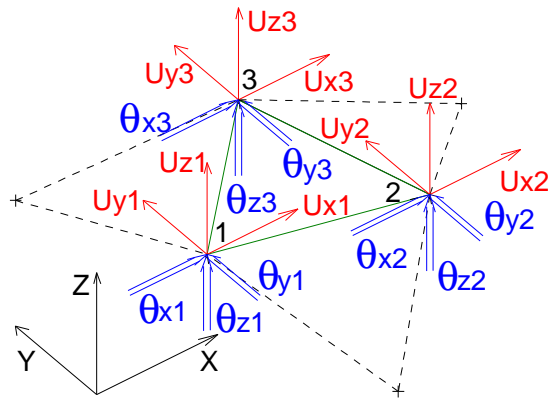
Q4G24 = MITC4



S4

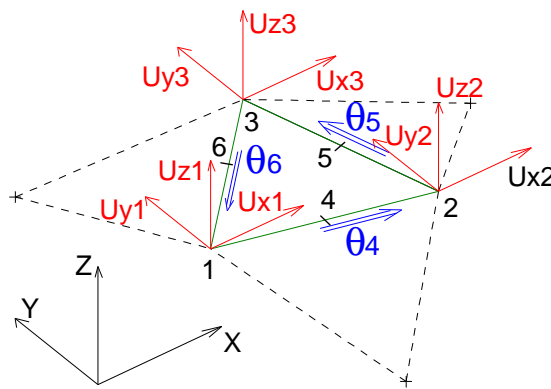
# Que sont les éléments S3

'DKT18' |



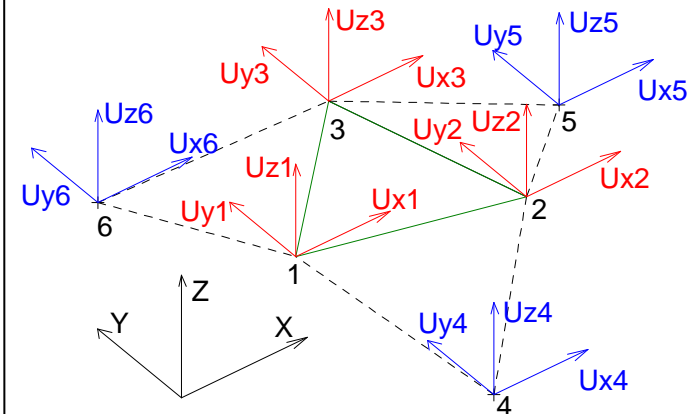
3 Translations  
3 Rotations  
6 d.o.f / node

Morley (or 'DKT12')



3 Translations / apex  
1 Rotation / mid-side

'S3'



3 Translations / node

S3 on calcule la courbure et sa variation avec la position  
et le déplacement normal des nœuds voisins!

S4= même chose que S3 mais quadrangle

# Prévision des instabilités

- De la bonne pratique des utilisateurs de code
- **Je choisis bien** ma loi matériau, **modélise** les conditions limites, **choisis** l'élément fini adéquat
- **Je lance** ABAQUS => une réponse
- **Je fais une analyse de** sensibilité au maillage => **Convergence**
- **C'est OK**

# Prévision des instabilités

- Oui car on a bien calculé un état d'équilibre
- Mais réponse douteuse si état instable: c a d il existe un autre état d'équilibre pour la même charge!
- Comment puis je savoir?
- **Vérifier la stabilité des états calculés!**
- Ici j'aborderai 2 manières de prévoir
- Une analyse vue côté matériau (locale...), une autre côté structure (globale...)

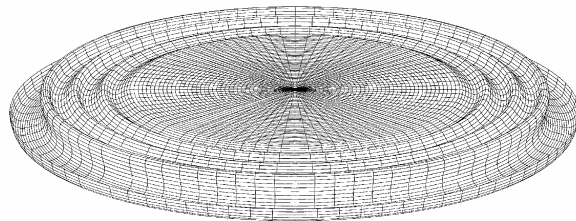
# Prévision des instabilités

- Exemple vrillage de plaque de cuisson rectangulaires à l'emboutissage (flambage compressions)
- Vrillage de couvercles de boites boisson
- Est ce prévisible?
- Procédé: part d'une tôle plane
- découpe d'une plaque
- emboutissage sur une préforme
- retour élastique après emboutissage

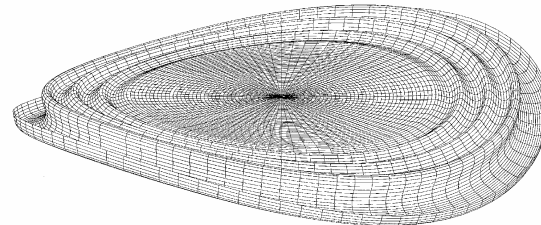


# Prévision des instabilités

- Exemple couvercle boîte boisson



deformed shell end of pressing



deformed shell 100% of elastic return

Après emboutissage

retour élastique mode d'instabilité  
flambement

Instabilité sans chargement appliqué  
dû aux auto contraintes de membrane  
Vrillage de la roue de vélo!!!

# Prévision des instabilités

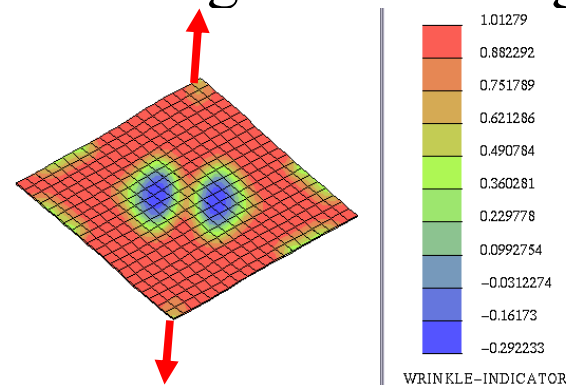
- Modélisation: comportement, conditions limites, éléments finis...maillage entier  $\frac{1}{2}$  ou  $\frac{1}{4}$  conditions de symétrie?
- On ne trouve jamais le vrillage...Même avec ABAQUS!!!
- Pourquoi?
- Il y a une instabilité au retour élastique de type flambage: instabilité
- Abaqus ne la trouve pas automatiquement.. Il faut le chercher en fouillant dans le .mes ...
- Si maillage  $\frac{1}{2}$  le modèle empêche le vrillage

# Prévision des instabilités de festonnage

- La même chose que le flambage de type vrillage généralisé mais concerne une petite région (mode local)
- Il existe des indicateurs empiriques conservatifs basés sur le post traitement local des états de contrainte.

$$\dot{I}_{\text{elem}} = \frac{\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3}{|\dot{I}_1| + |\dot{I}_2| + |\dot{I}_3|}$$

Change de signe  
sur lignes de vrillage



Test Yoshida

# Prévision des instabilités de striction

- Typique d'une instabilité de traction
- En 1D = quand la contrainte est égale au module tangent  $E_t$  du matériau (ce qui finit tjrs par être le cas en élastoplastique car il y a une contrainte max  $\Rightarrow E_t = 0$ .....)
- Là encore deux approches: locale matériau ou global structure

# Prévision des instabilités de striction

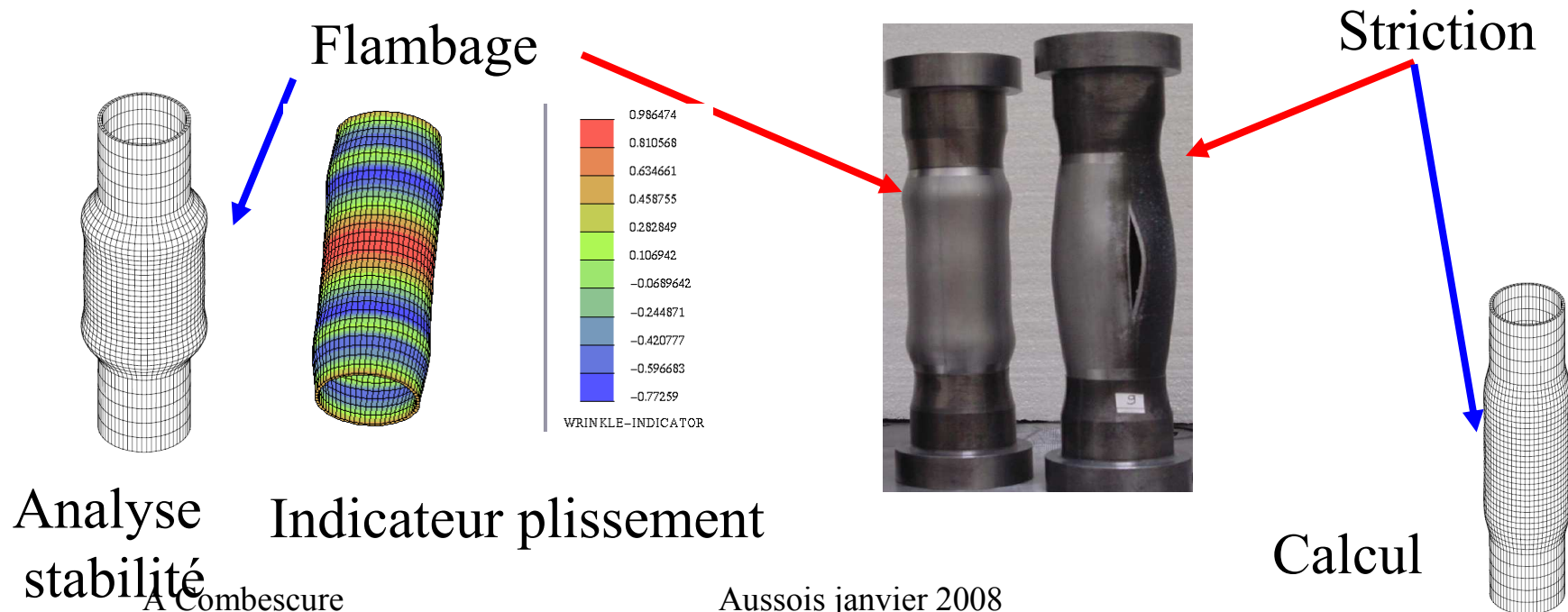
- Local (indicateur de stabilité calculé avec l'état local du matériau....valeur propre du tenseur acoustique passe par zéro) prévision pessimiste: le mode d'instabilité n'est pas cinématiquement admissible (beaucoup utilisé en emboutissage: défauts d'aspect..)
- Global structure: stabilité généralisée en grandes déformations élasto plastique. Très intéressant en hydroformage

# Prévision des instabilités de striction en hydroformage

- Attention les pressions travaillent lors de la déformation les critères qui le négligent ne prévoient pas l'arrivée de l'instabilité d'explosion de membrane (ballon de baudruche..)  $K(P)$  dans les équations de stabilité!!!
- Attention au couplage compression axiale et striction (c a d traction circonférentielle) deux modes d'instabilités COUPLES

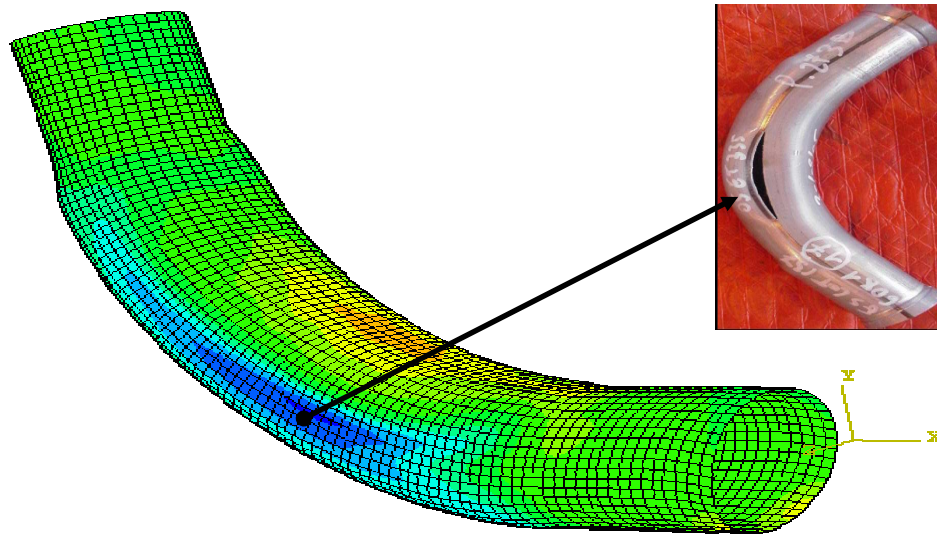
# Prévision des instabilités de striction en hydroformage

- Essais LMT Cachan et petit modèle théorique G Nefussi et calculs de stabilité EF



# Prévision des instabilités de striction en hydroformage

- Essais calculs hydroformage et cintrage



**Failure striction prediction with:**

$$\frac{d\sigma_{\theta}}{d\varepsilon_{\theta}} = \gamma\sigma_{\theta}$$



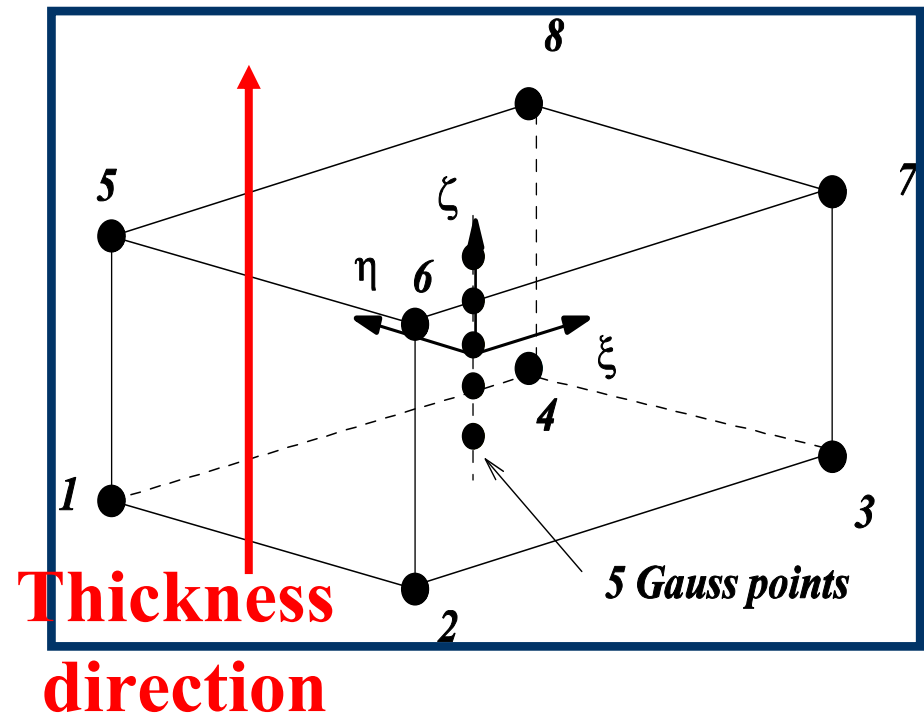
# Quelques développements récents

- Éléments massifs coque: une nouvelle génération d'éléments (plus besoin de coques!!)
- SHB8PS, SHB6PS

# L'élément SHB8PS

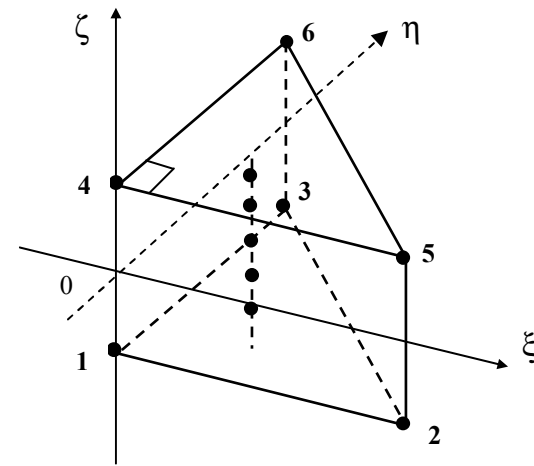
## Geometrie

- usual brick 8 nodes  
3 DOF  $U_x$   $U_y$   $U_z$   
per node
- 5 gauss points
- hourglass controll
- assumed strain  
elastoplasticity



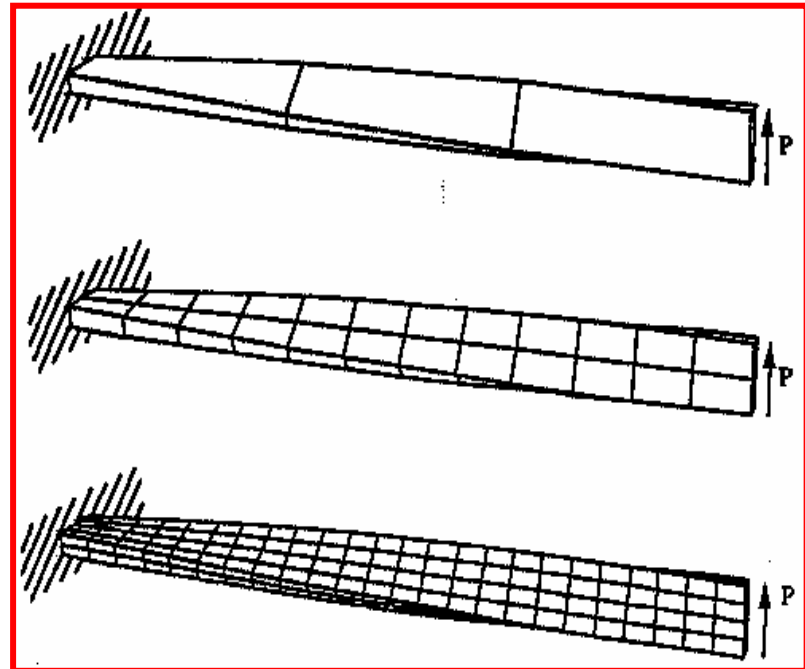
# ELEMENT SHB6PS

- **The geometry**
- **usual prism 6 nodes**  
**3 DOF  $U_x$   $U_y$   $U_z$**   
**per node**
- **5 gauss points**
- **hourglass control**
- **assumed strain**  
**elastoplasticity**



# The SHB8PS element

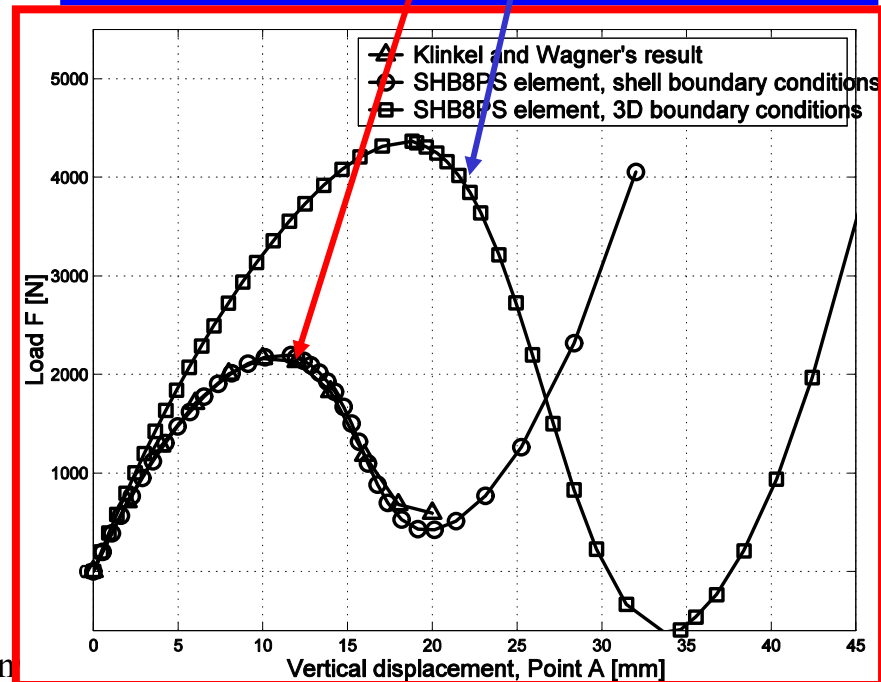
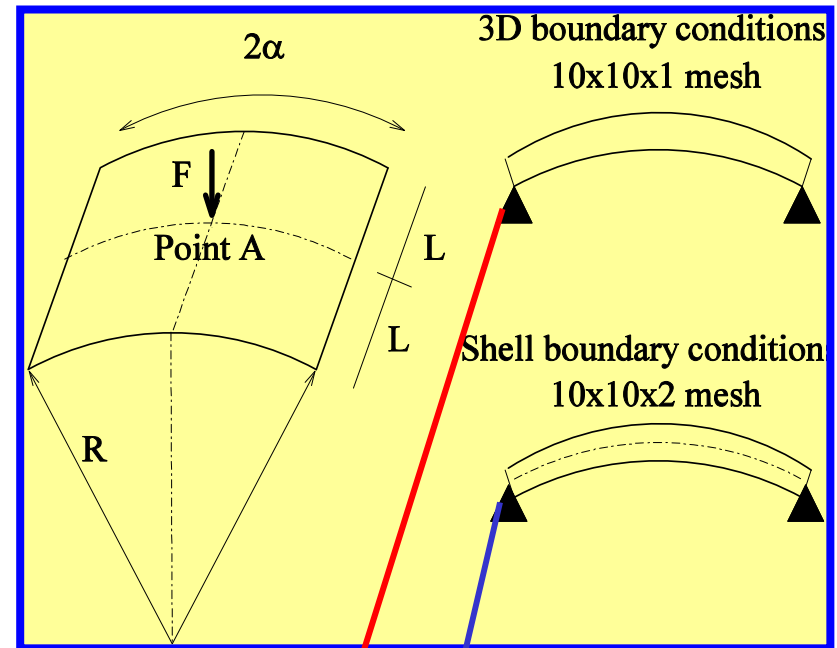
- Detailed formulation: not given here
- reference EJNM 2007  
A Meraim, A Combescure
- very efficient in most cases
- linear analysis
- example twisted beam



Elements	Mesh	W/Wtheo
1	1X1X1	1.76
3	3X1X1	0.975
24	12X2X1	0.987
96	24X4X1	0.995

# SHB8PS Non linear

- Non linear elastic response
- example
- here huge importance of the modelisation of support condition

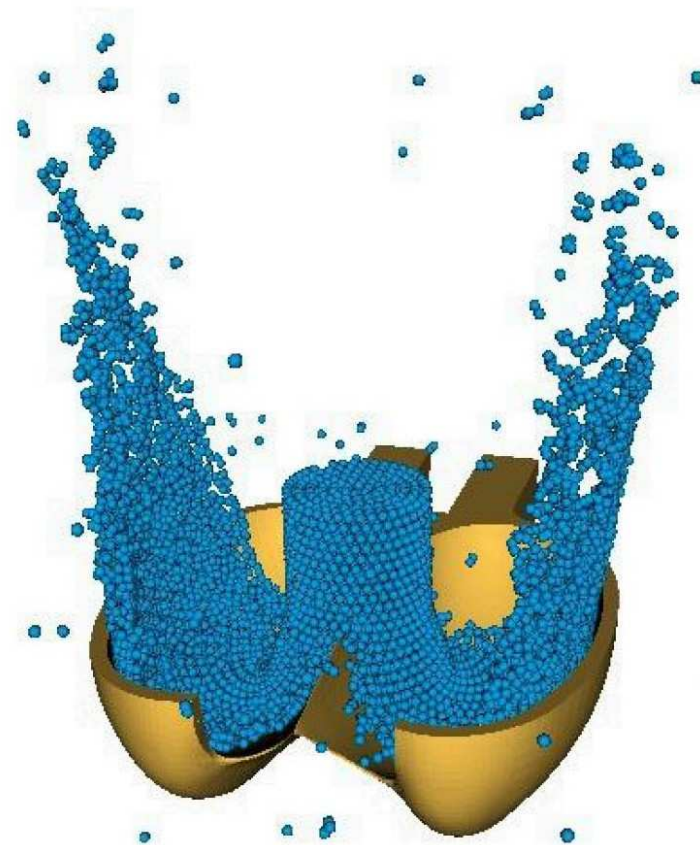


# Éléments coque massif

- Avantages: facile à coupler à des massifs
- Gestion des contacts sur les vraies surface
- Mais en mise en forme: les mêmes inconvénients que les coques usuelles en particulier sur l'exemple deep drawing

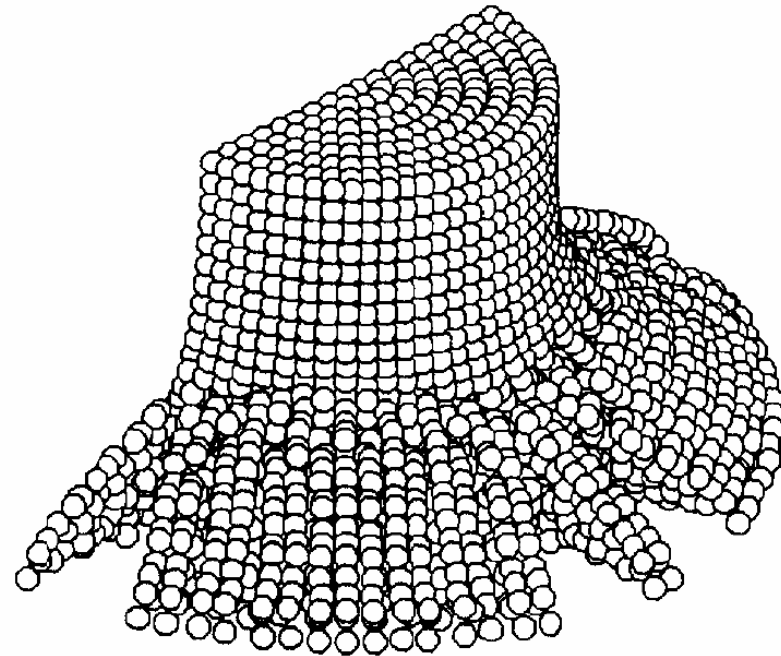
# Quelques commentaires sur méthodes SPH

- Une méthode particulière
- Mais qui discrétise les équations de la méca ou de la thermique (à la différence du granulaire ou il faut « inventer » un potentiel d'interaction)
- Très intéressant pour fluides topologie variable
- Pour solide attention



# Méthodes SPH Solide

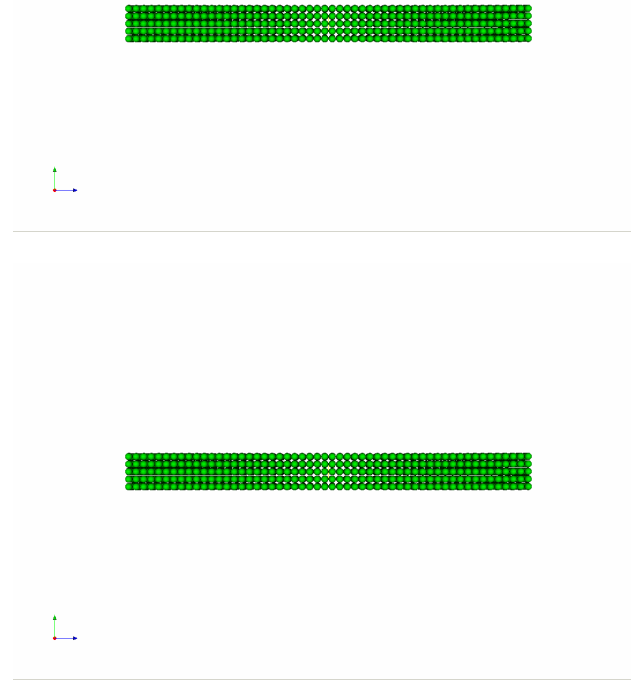
- Si Lagrangien mis à jour  
FRACTURATION  
artificielle (déformation  $> 0,1$ )
- Exemple impact barre de Taylor





# SPH Solide : une solution

- Ok si formulé en lagrangien TOTAL et de plus viscosité pour stabiliser
- Exemple poutre en flexion



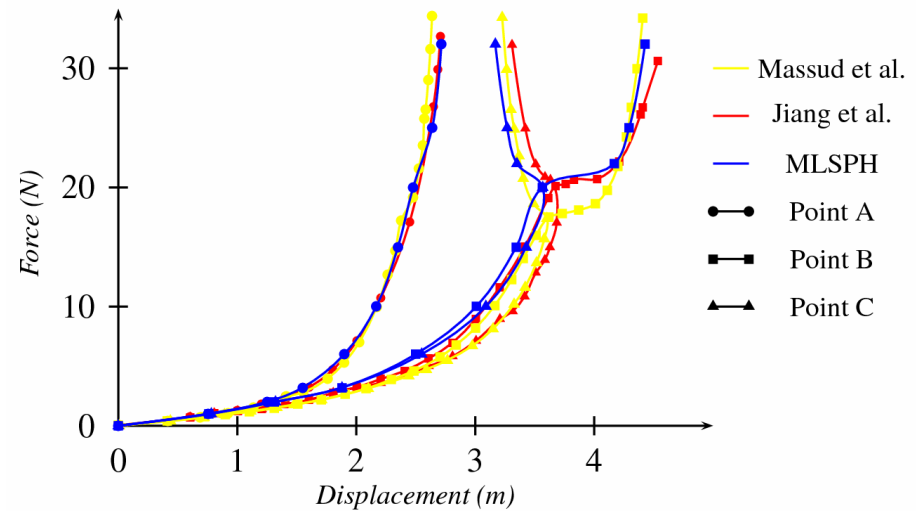
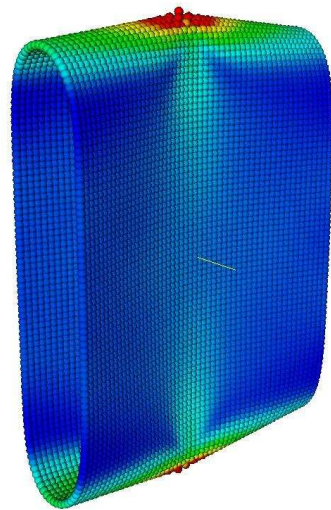
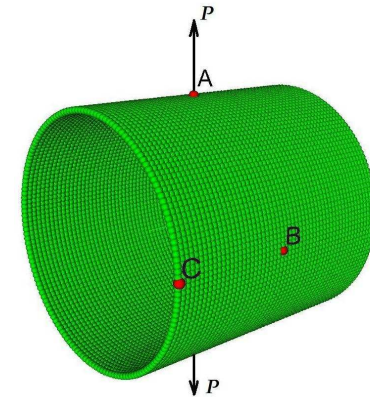
# SPH COQUE

## ➡ Cas test du Pinched Cylinder :

↳ Cylindre en traction ( $R = 4.953 \text{ m}$ ,  $e=0.0094\text{m}$ ,  
Hauteur  $10.35\text{m}$ )

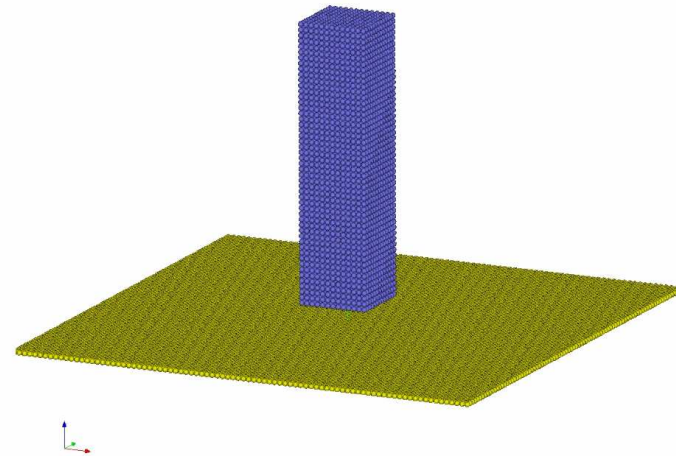
↳  $E = 1.05\text{e}6 \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3125$

↳ Etude quasistatique



# SPH Fluide structure

- Un grand intérêt pour les procédés type découpe jet d'eau laser ect
- Applications mise en forme



# SPH

- Un outil intéressant mais à utiliser avec discernement
- Qu'y a-t-il vraiment dans les codes industriels?
- Avant de se lancer faire des tests de qualification des logiciels....