



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology 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 : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@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

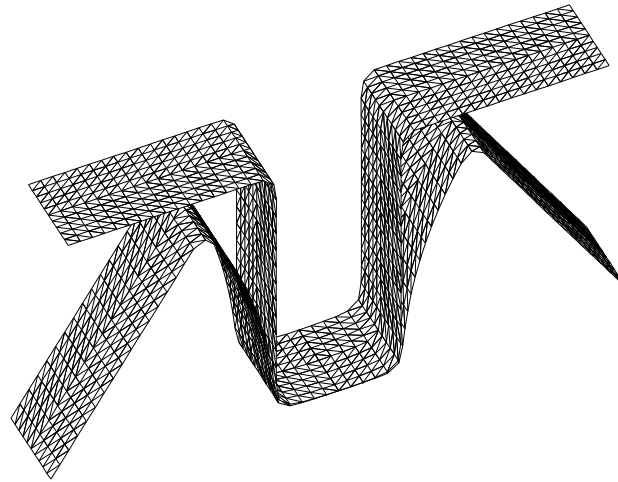
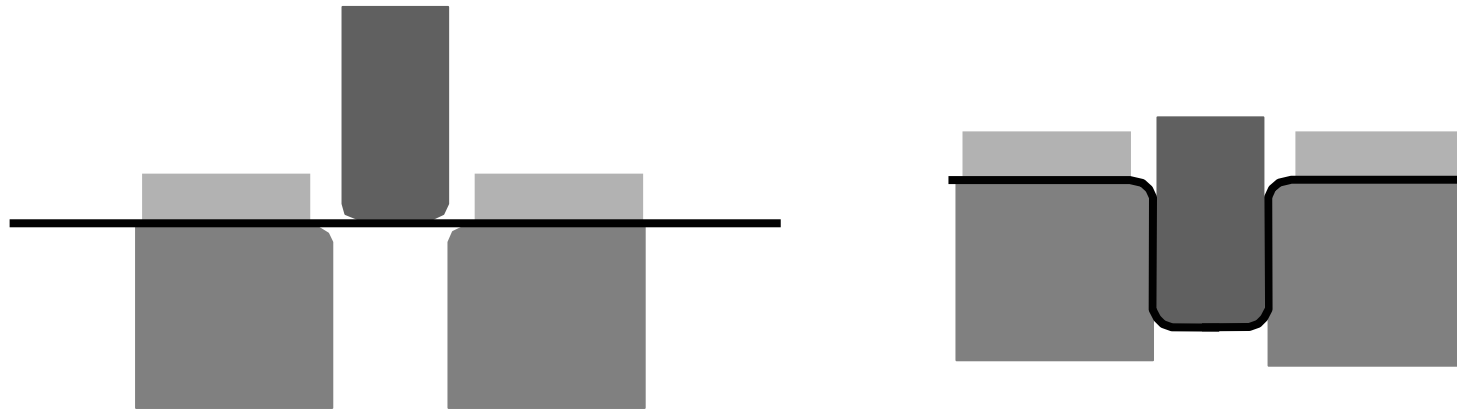
# Contexte

- 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)

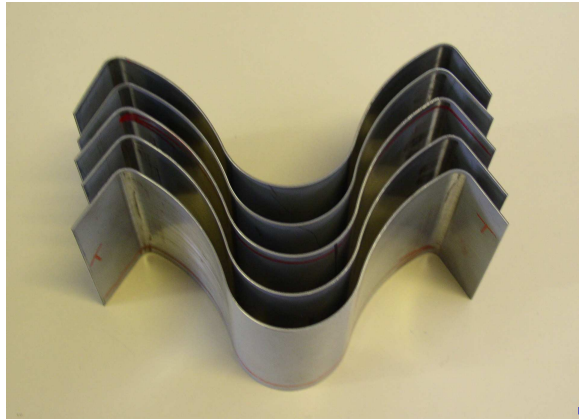
# Un exemple emboutissage d'une forme en U



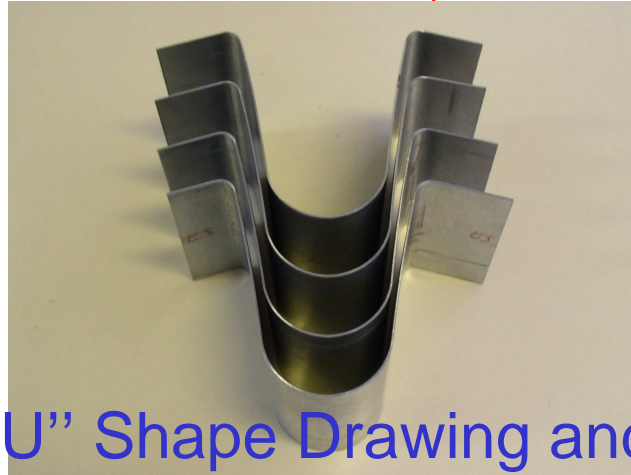
# Emboutissage prévoir la forme finale (pas expliquer la manip...):

- 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 ?

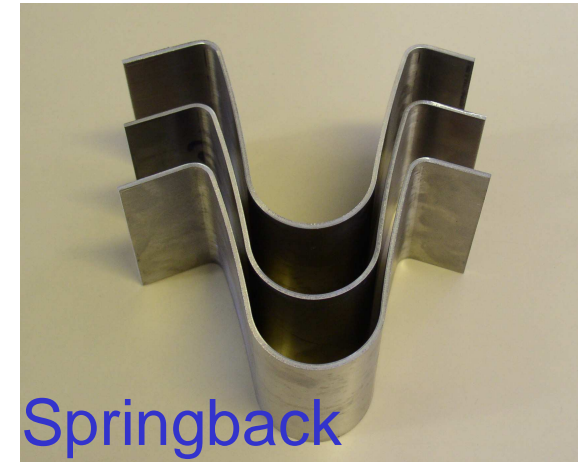
# Emboutissage = prévoir les épaisseurs la forme finale, les défauts



TRIP 800 (e = 1 mm)



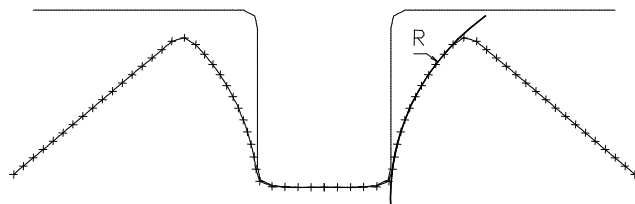
Mild-steel ES (e = 1 mm)



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

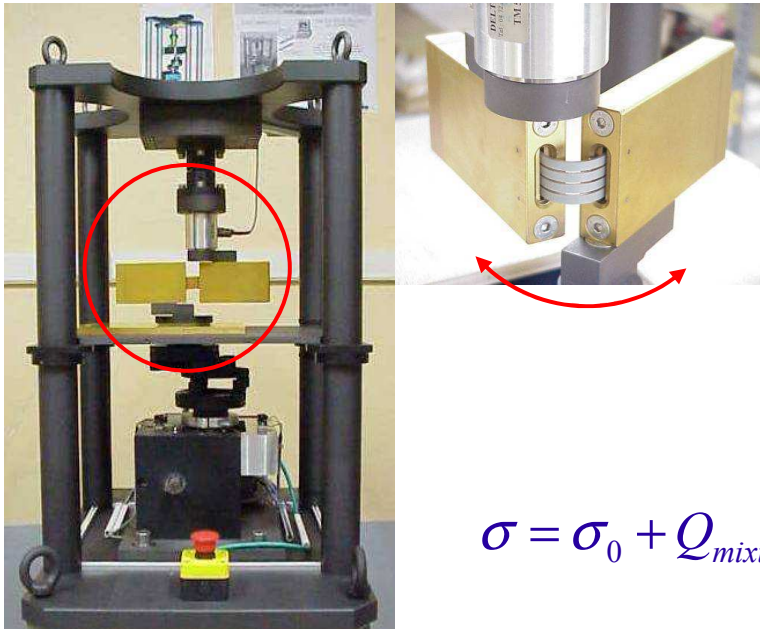
Punch stroke = 102 mm

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

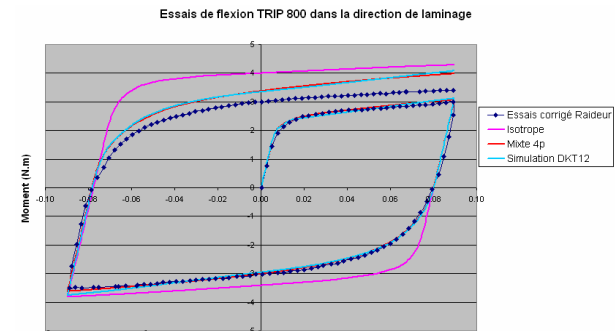
# Modèles de comportement

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



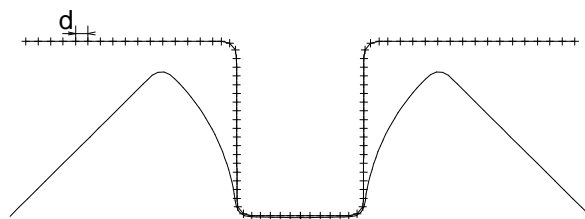
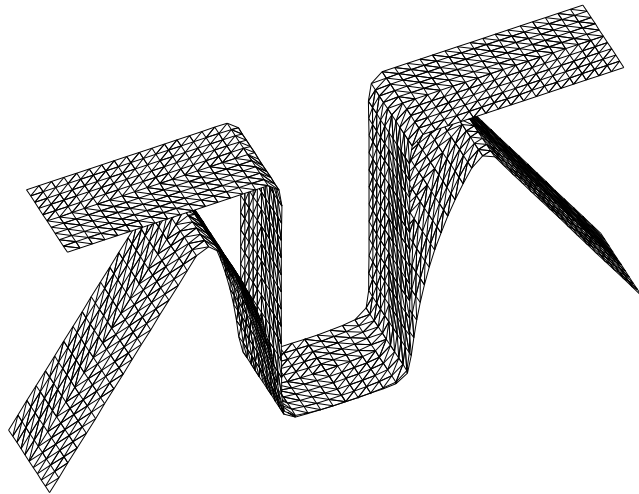
modèle de HILL  
les tôles sont orthotropes  
isotrope cinématique combiné

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

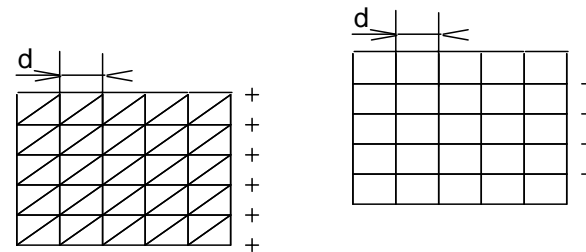


Une machine et une procédure d'identification brevetées

# Influence du choix des éléments finis



a – Retour élastique Expérimental



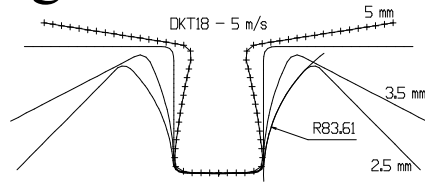
b – maillages triangles et quadrangles

# Influence du choix des éléments finis: résultats

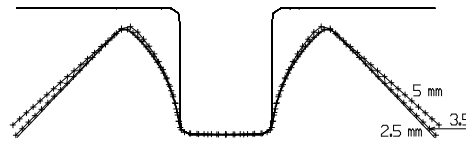
Certains éléments peu robustes  
très sensibles à la taille de maille  $h$

CV si  $h = \text{épaisseur}$

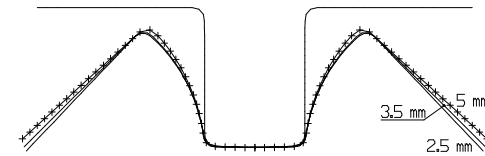
Triangles



DKT18

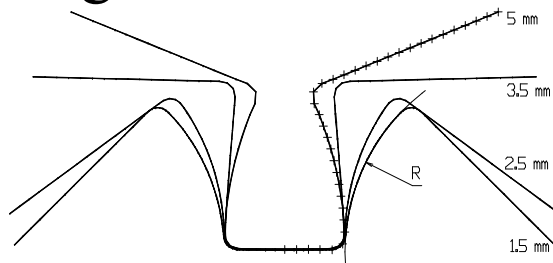


DKT12

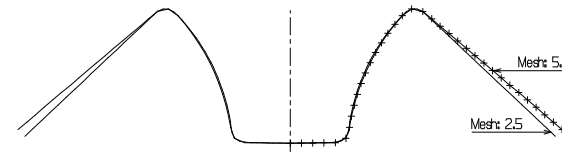


S3

Quadrangles



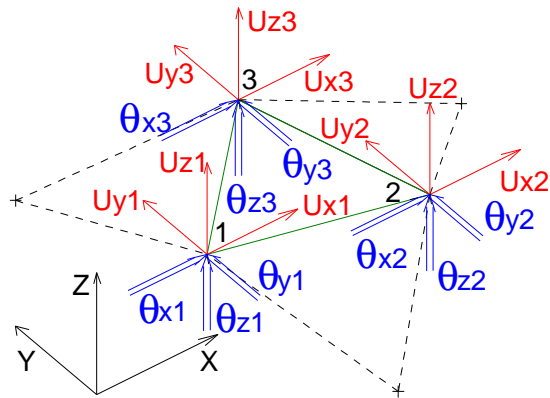
Q4G24 = MITC4



S4

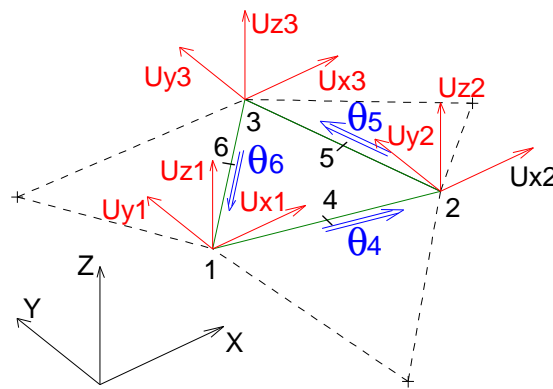
# Que sont les éléments S3

'DKT18' |



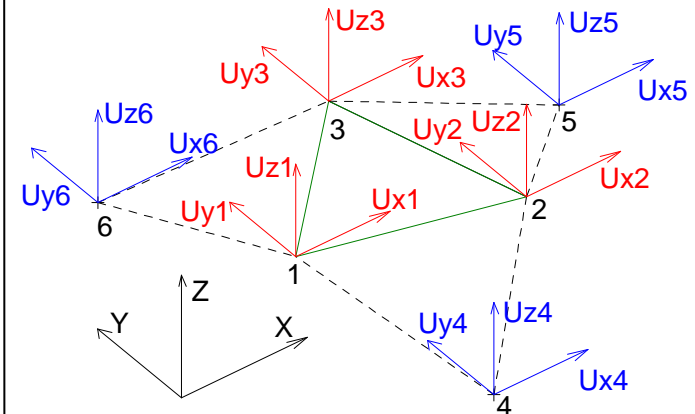
3 Translations  
3 Rotations  
6 d.o.f / node

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

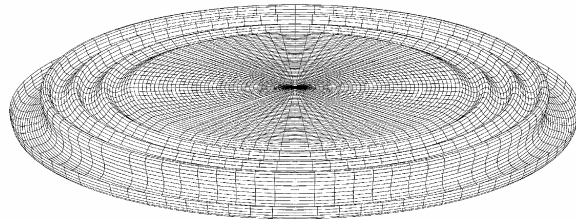
- Oui car on a bien calculé un état d'équilibre
- Mais réponse douteuse si état instable: c a d il existe un autre état d'équilibre pour la même charge!
- Comment puis je savoir?
- **Vérifier la stabilité des états calculés!**
- Ici j'aborderai 2 manières de prévoir
- Une analyse vue côté matériau (locale...),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

# Prévision des instabilités

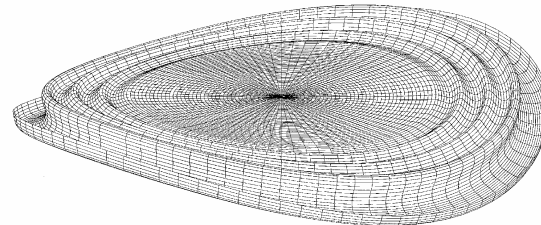
- Exemple vrillage de plaque de cuisson rectangulaires à l'emboutissage (flambage compressions)
- Vrillage de couvercles de boites boisson
- Est ce prévisible?
- Procédé: part d'une tôle plane
- découpe d'une plaque
- emboutissage sur une préforme
- retour élastique après emboutissage

# 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

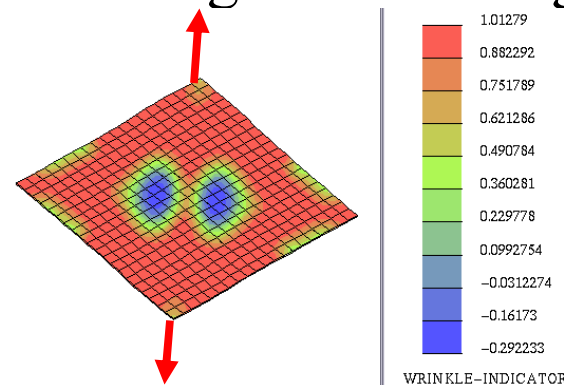
- Modélisation: comportement, conditions limites, éléments finis...maillage entier  $\frac{1}{2}$  ou  $\frac{1}{4}$  conditions de symétrie?
- On ne trouve jamais le vrillage...Même avec ABAQUS!!!
- Pourquoi?
- Il y a une instabilité au retour élastique de type flambage: instabilité
- Abaqus ne la trouve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

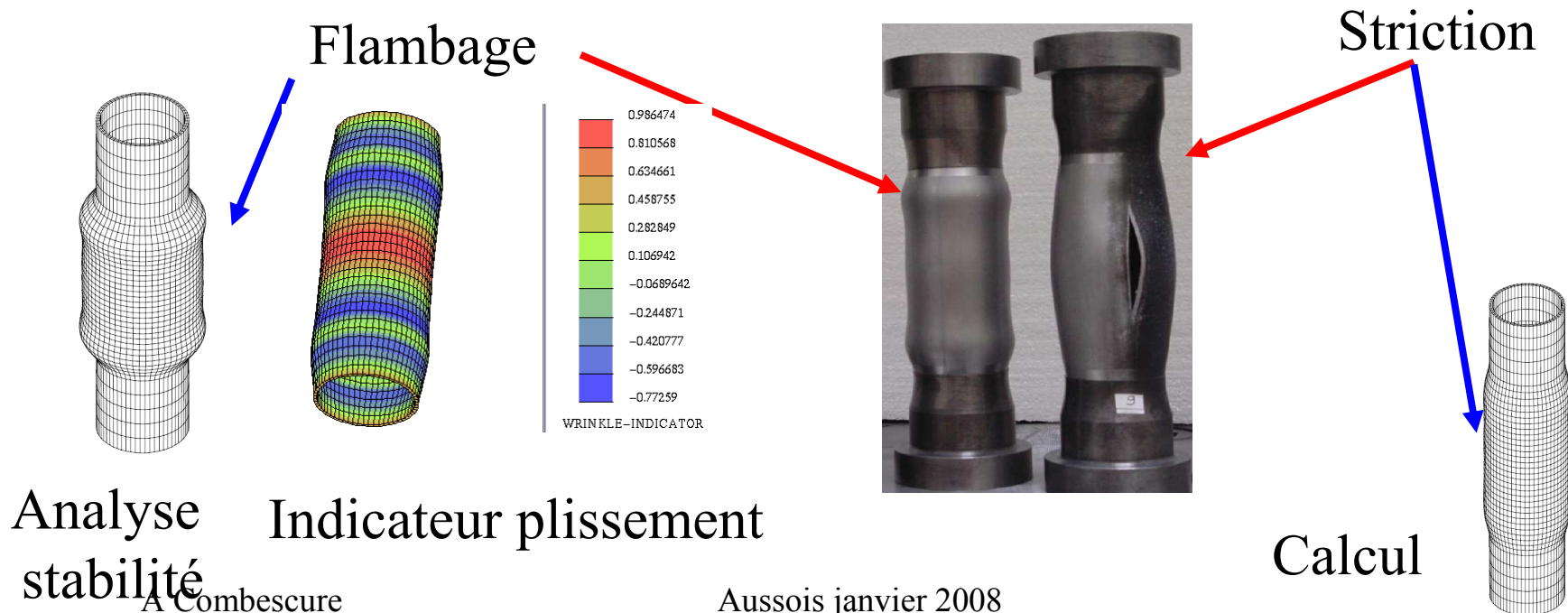
- Local (indicateur de stabilité calculé avec l'état local du matériau....valeur propre du tenseur acoustique passe par zéro) prévision pessimiste: le mode d'instabilité n'est pas cinématiquement admissible (beaucoup utilisé en emboutissage: défauts d'aspect..)
- Global structure: stabilité généralisée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

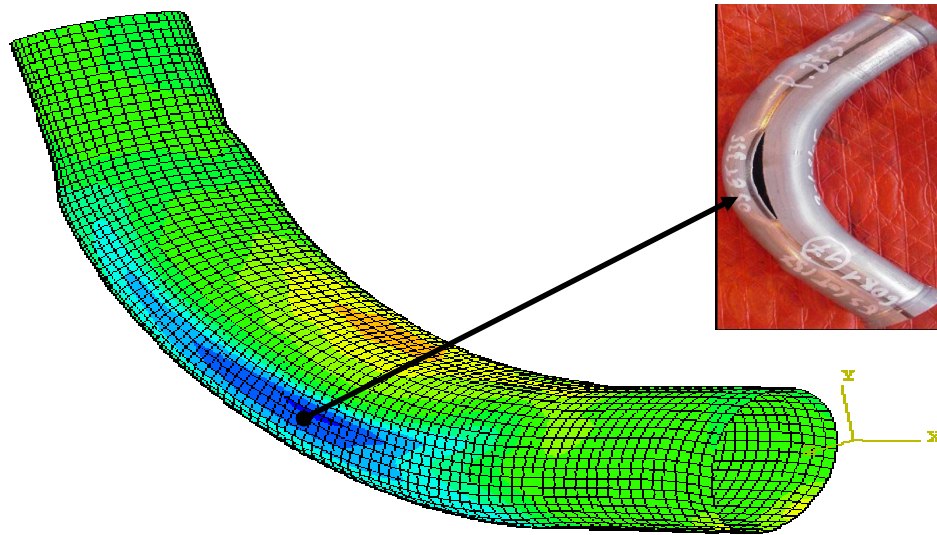
# Prévision des instabilités de striction en hydroformage

- 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:

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

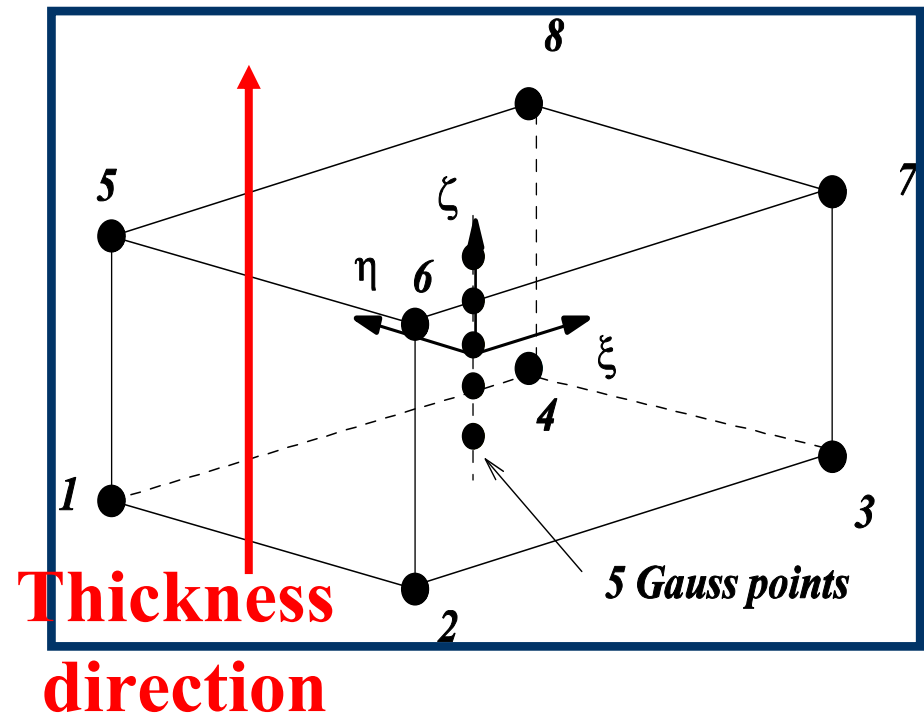
# Quelques développements récents

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

# L'élément SHB8PS

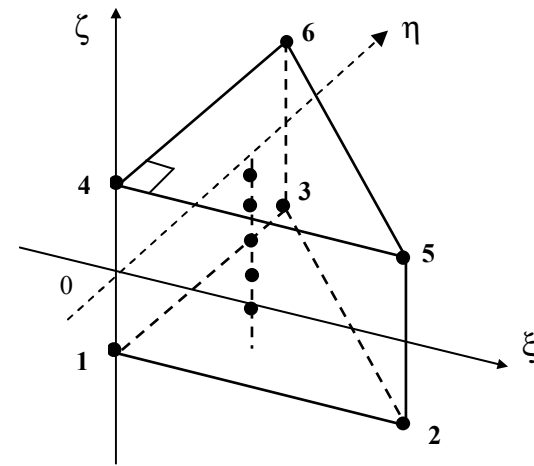
## Geometrie

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



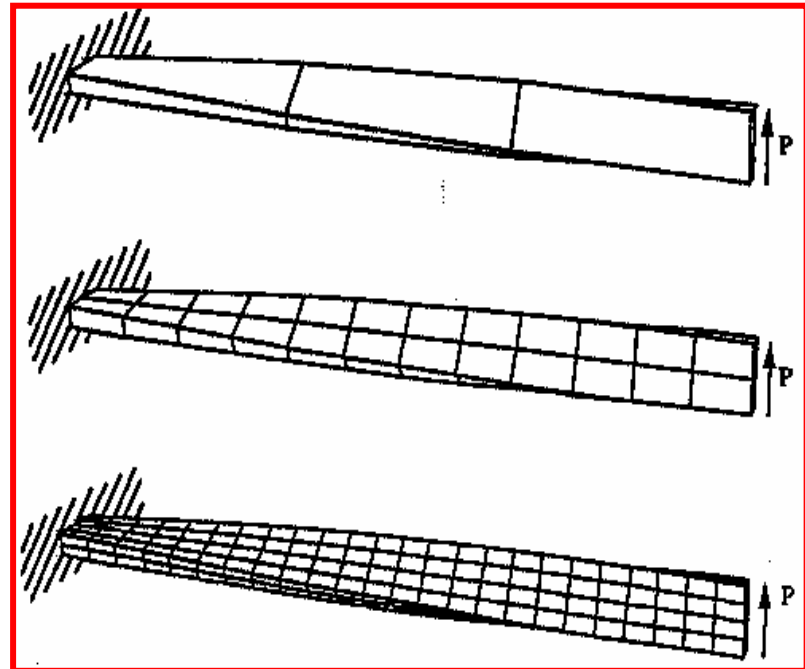
# ELEMENT SHB6PS

- **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

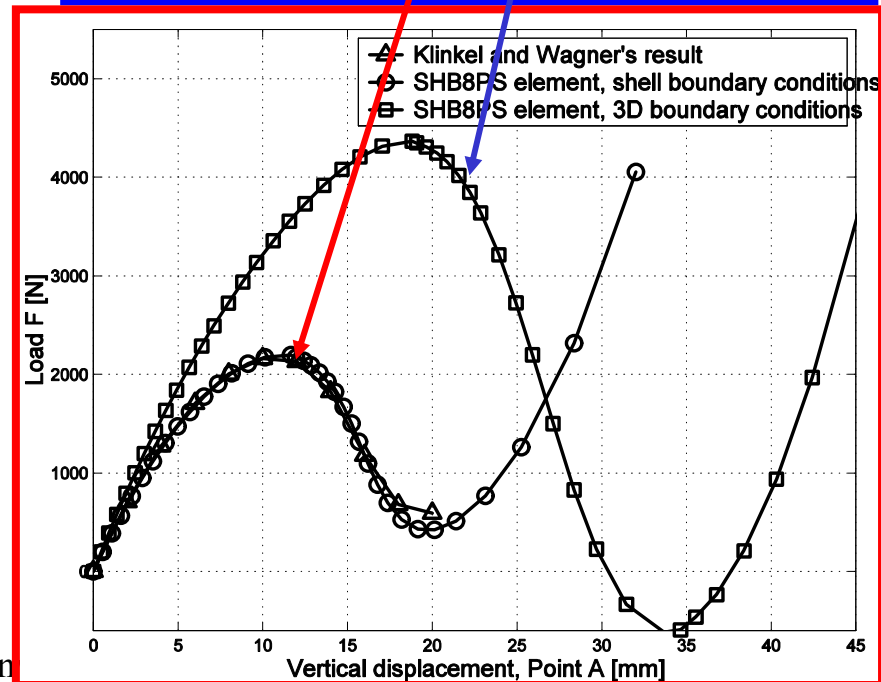
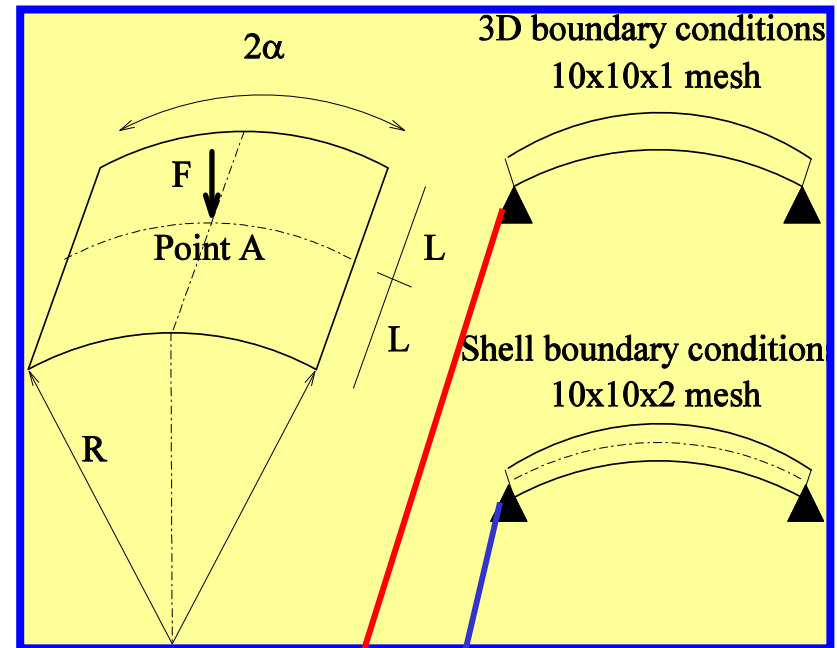
- Detailed formulation: not given here
- reference EJNM 2007  
A Meraim, A Combescure
- very efficient in most cases
- linear analysis
- example twisted beam



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

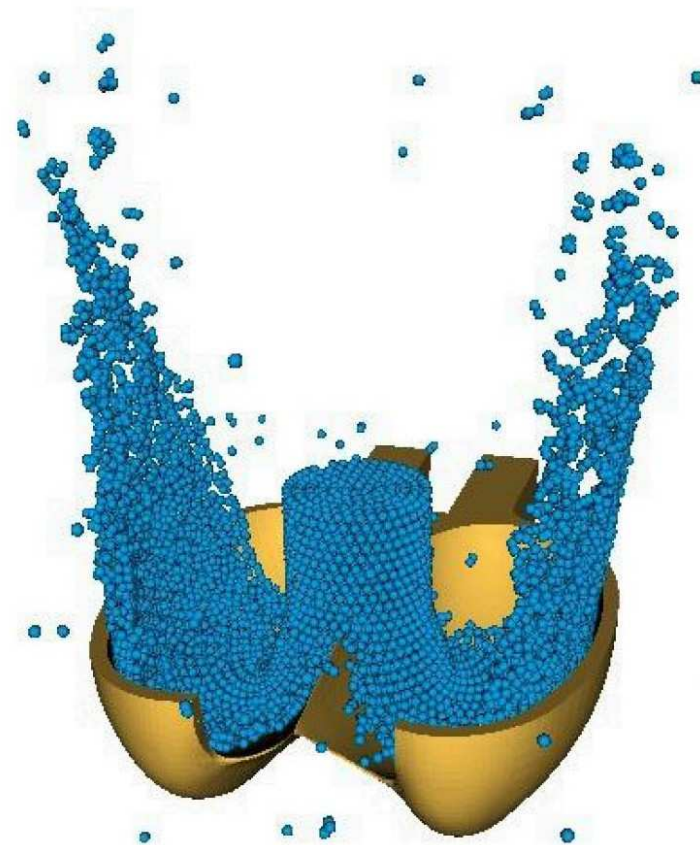


# Éléments coque massif

- 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

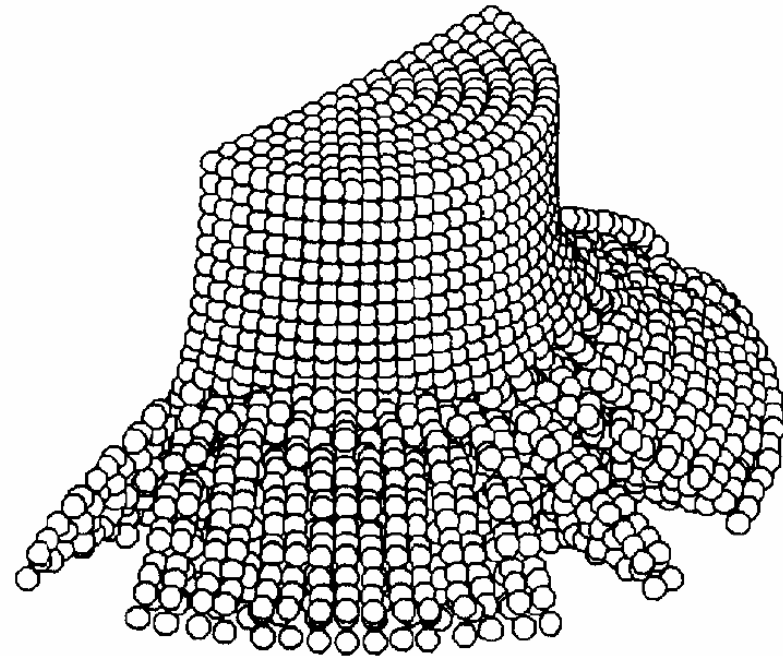
# Quelques commentaires sur méthodes SPH

- Une méthode particulaire
- 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



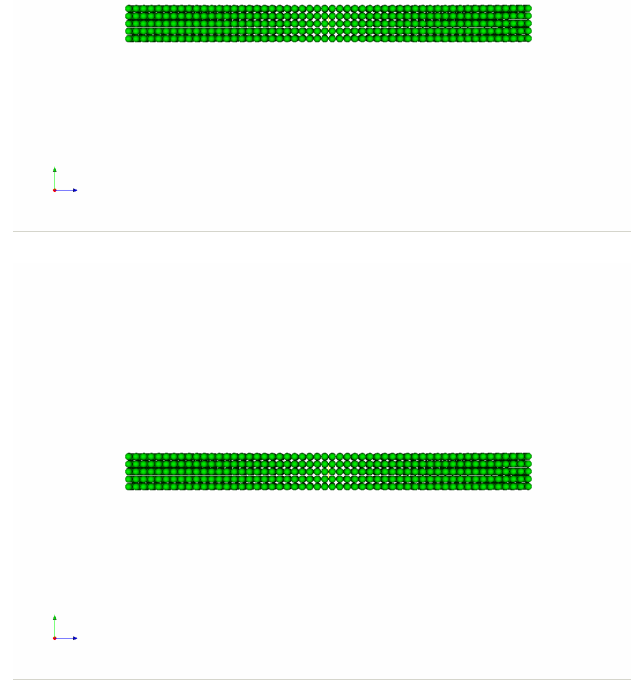
# Méthodes SPH Solide

- 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



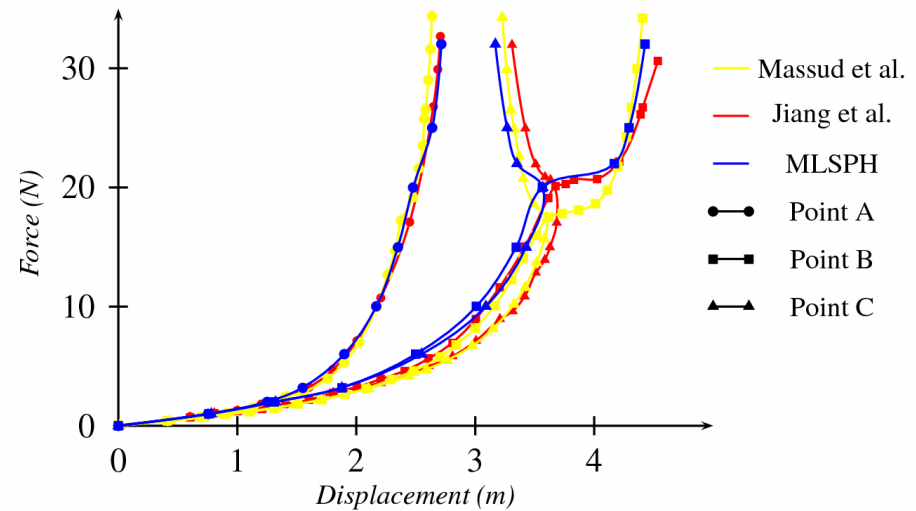
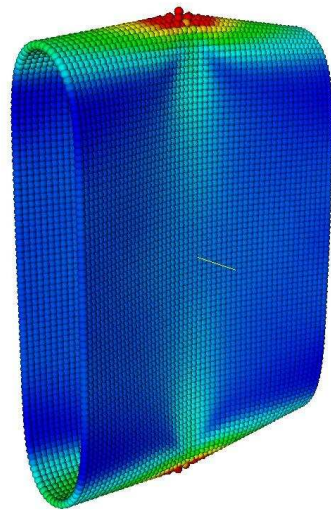
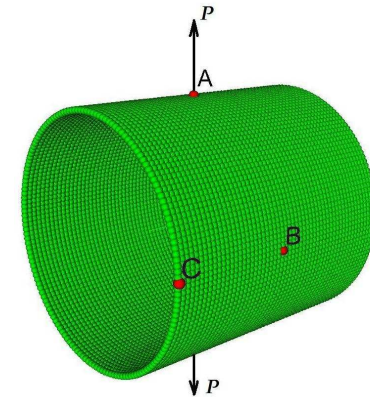
# SPH COQUE

## ➡ Cas test du Pinched Cylinder :

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

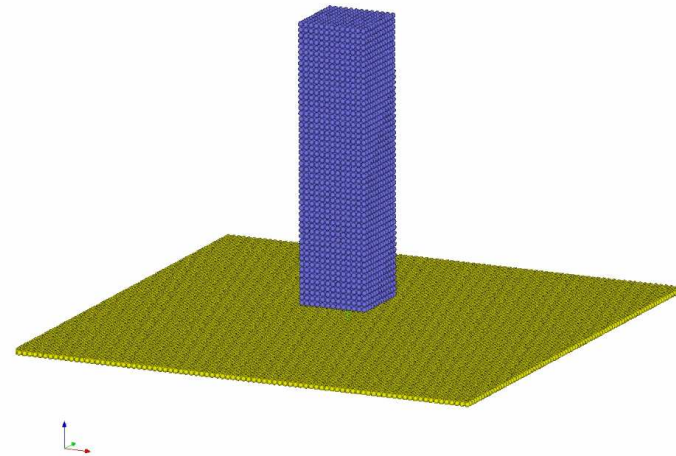
↳  $E = 1.05\text{e}6 \text{ Pa}$ ,  $\nu = 0.3125$

↳ 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....