

Prédiction de la rupture en mise en forme chez un équipementier automobile



Tudor Balan, Carey Dilllott

23 Janvier 2018 • Aussois • Colloque MECAMAT

Faurecia supplies 1 in 3 vehicles worldwide

Recent examples of Faurecia "on board"

Cadillac CT6



Hyundai Ioniq



Peugeot 208



Renault Megane



Nissan Rogue



Ford Edge-Sport



Mini Clubman



Geely Borui GC9



Jeep Renegade Limited



Mercedes Benz GLC



Alfa Romeo Giulia



Volkswagen Tiguan



Audi A4



Ford Edge Titanium



Leader in automotive equipment



Faurecia Automotive Seating

#1 worldwide in mechanisms & seats structure

#3 worldwide in complete seats



€5.8 billion
product sales 2015



37,400
employees



74
production sites



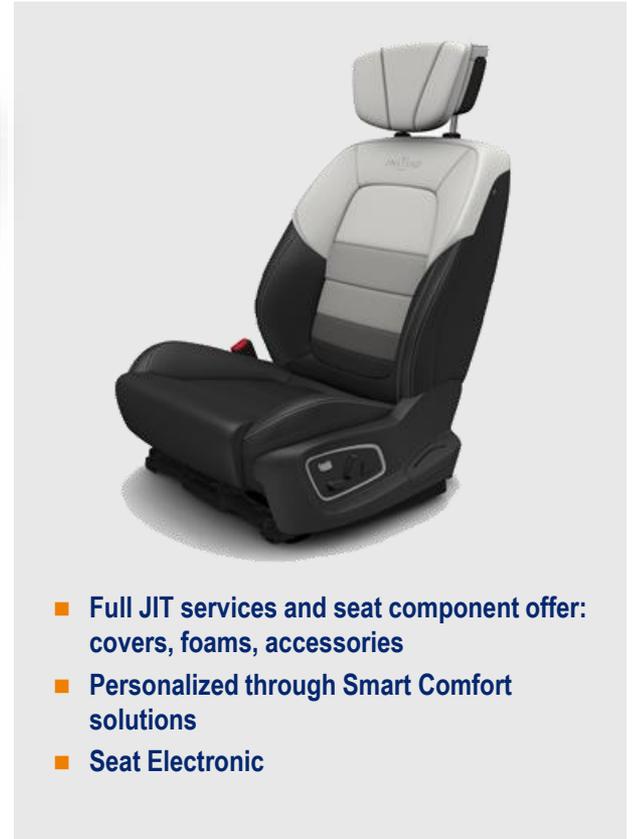
19
R&D and D&D centers



24
countries



- Global standard frame platform leader
- Full range of high performance mechanisms
- Advanced mechatronic systems



- Full JIT services and seat component offer: covers, foams, accessories
- Personalized through Smart Comfort solutions
- Seat Electronic

Plan de la présentation

■ Introduction

- Présentation de l'entreprise
- Problématiques de rupture chez FSA

■ Modèles de rupture et calibration

■ Applications: effet des chargements non-linéaires

■ Conclusions

Structure métallique d'un siège automobile

Dossier

- Emboutissage
- Soudure laser

Assise

- Formage de tube
- Collets taraudés
- Peinture



Aciers

- DC04 0,5mm
- HC500LA 0,7mm
- S700MC 2,2mm
- DP1000 0,8mm
- MS1200 1,3mm
- 20MnB5 3mm
- ...

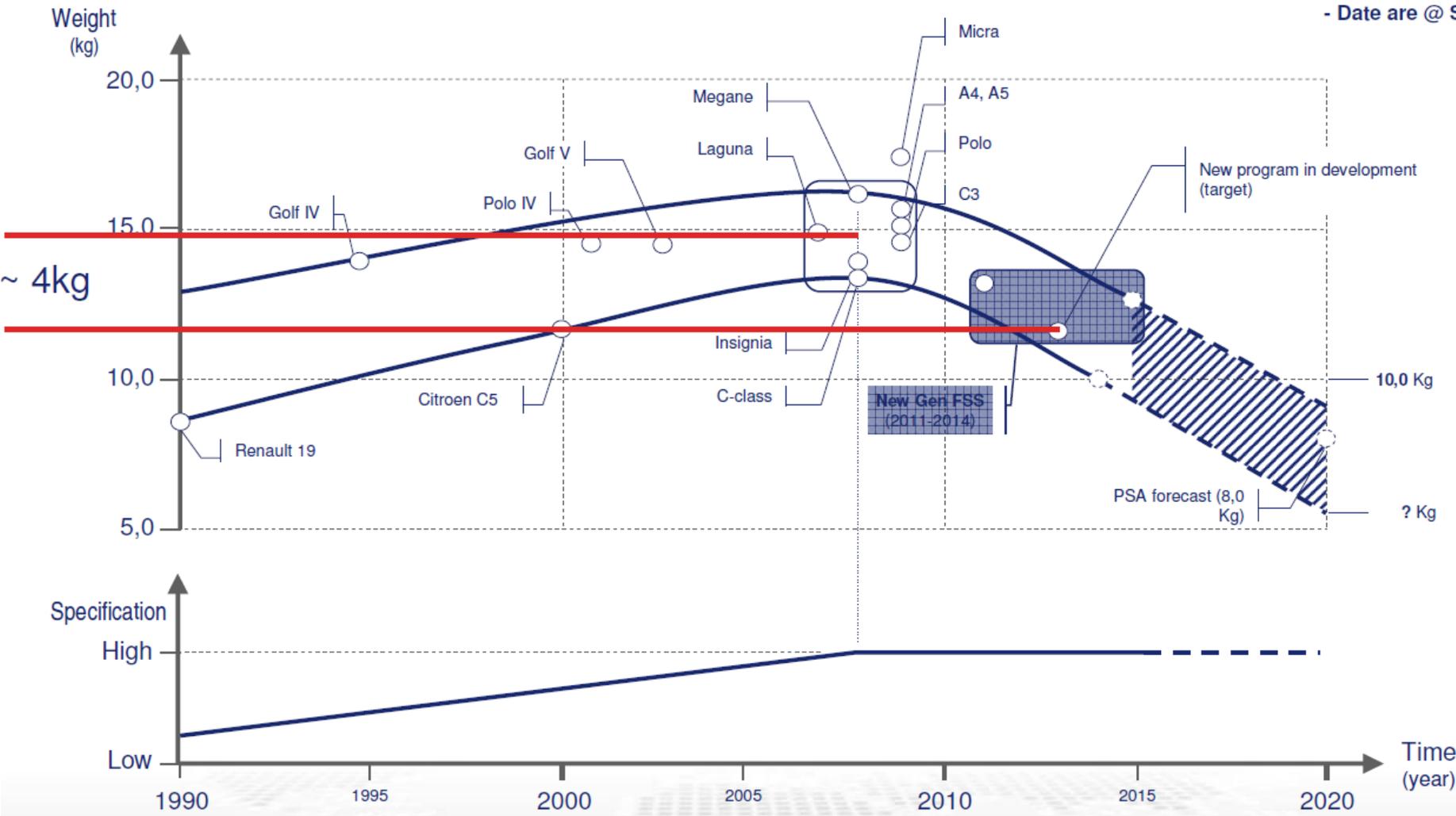
Mécanismes

- Découpage fin
- Pliage
- Carbonituration



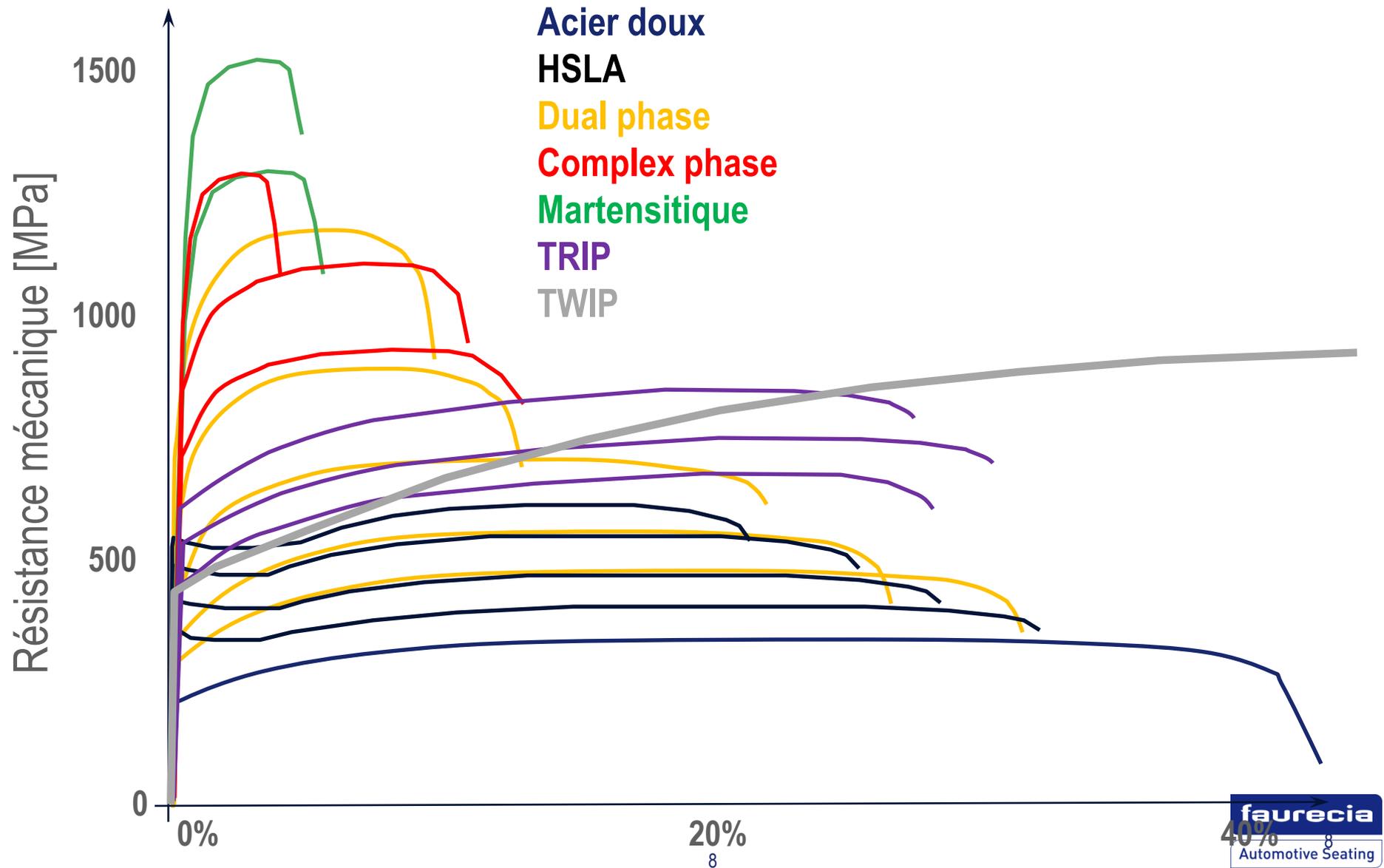
The challenge of lightweight vs safety

- Date are @ SOP



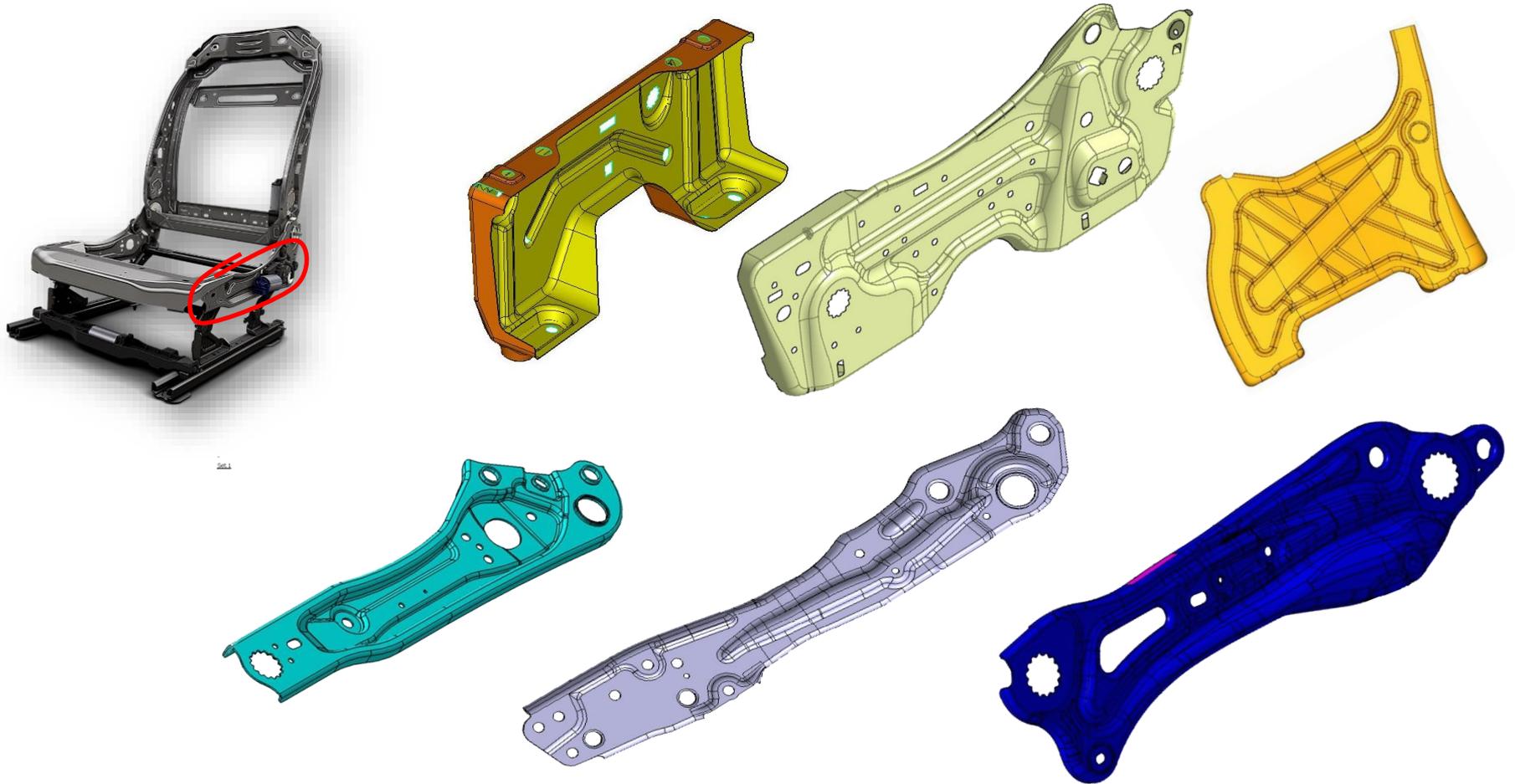
Problématiques de rupture pour un équipementier automobile

Diversité des matériaux (aciers)



Problématiques de rupture pour un équipementier automobile

Diversité des géométries des composants

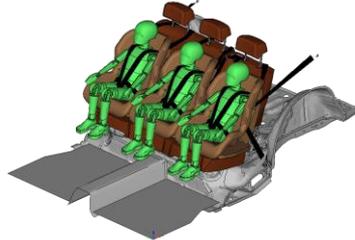


Effort conséquent d'évaluation de la **faisabilité** des pièces

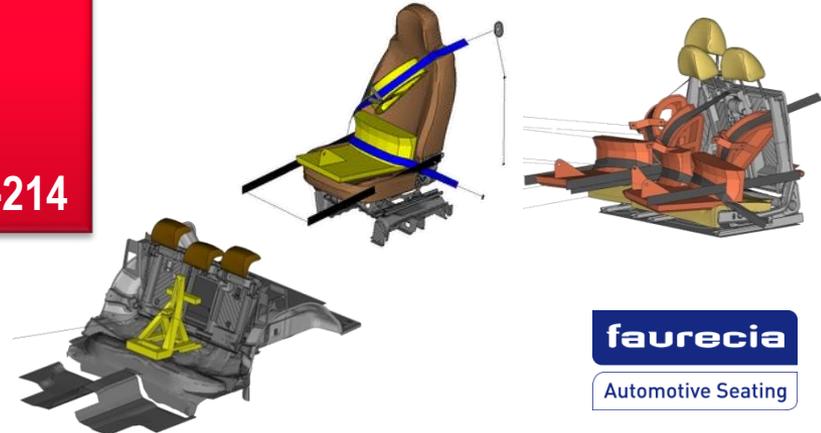
Problématiques de rupture pour un équipementier automobile

Diversité et complexité des chargements

Front crash
Rear crash
Luggage test
Low speed rear crash



ISOFIX
ADR34
ECE-R14
FMVSS210-214



Problématiques de rupture pour un équipementier automobile

Diversité et complexité des cas à traiter

- Matériaux
- Géométries des composants
- Chargements
- Procédés de fabrication
 - Développement de nouveaux produits à un **rythme soutenu**
 - Sites de production / fournisseurs sur **tous les continents**
 - Très **gros volumes** de production

95% des ruptures:

- Dans une soudure
- Sur un bord découpé
- Après flambage
- Après striction

Deux cas de figure:

- Faisabilité process (*emboutissage, ...*)
- Tenue produit (*crash, ...*)

Plan de la présentation

- Introduction
- **Modèles de rupture et calibration**
 - Caractérisation
 - Modélisation : surfaces de rupture
 - Le modèle CrachFEM
- Applications: effet des chargements non-linéaires
- Conclusions

Création des « cartes matière » pour la simulation numérique

Pour chaque « matériau » :

Procédure de validation matières (essais TU)

- courbes de traction
- r_0, r_{45}, r_{90}
- A_{80}
(statistiquement représentatives)

Fournisseurs matière

- Écrouissage grandes déf
- CLF (modèles statistiques)

Littérature

Caractérisation spécifique

- En interne
- Fournisseurs
- Labos partenaires

- Déformations à la rupture pour différents trajets de chargement

Simulation produit

Simulation process

Ecrouissage isotrope par points (min / mid / max)

Anisotropie (Barlat'89)

Ecrouissage cinématique...

Modèles de rupture

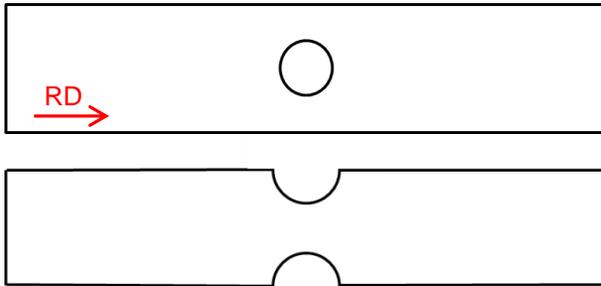
Caractérisation / modélisation / simulation / applications :
déconnectées !

faurecia

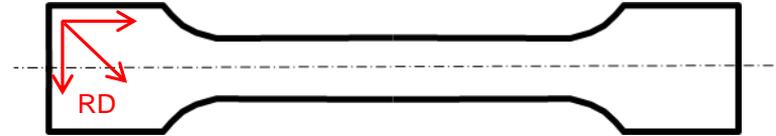
Automotive Seating

Caractérisation standard de la rupture chez FAS: essais

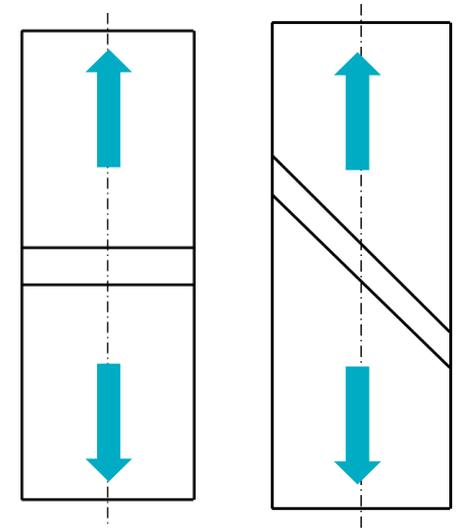
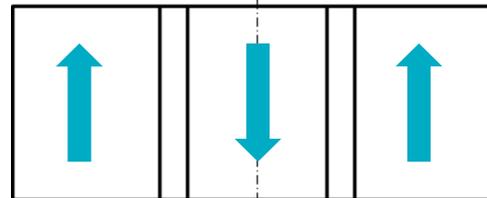
Rupture « normale »



Striction



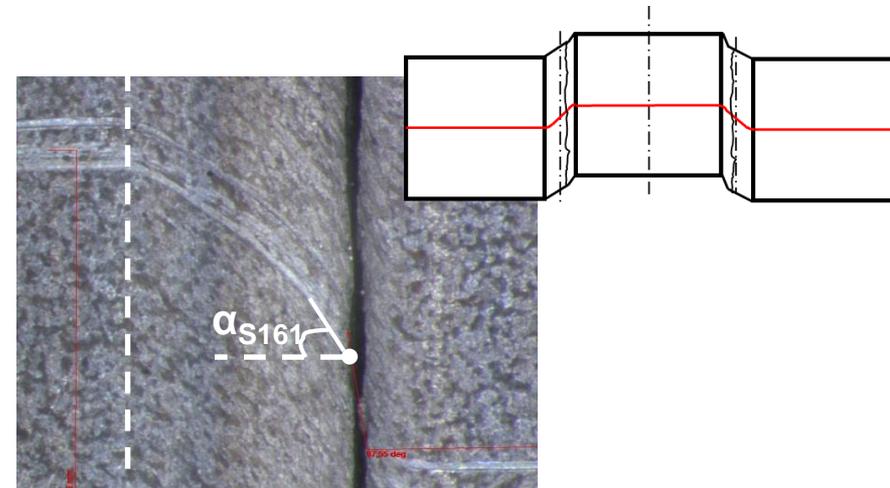
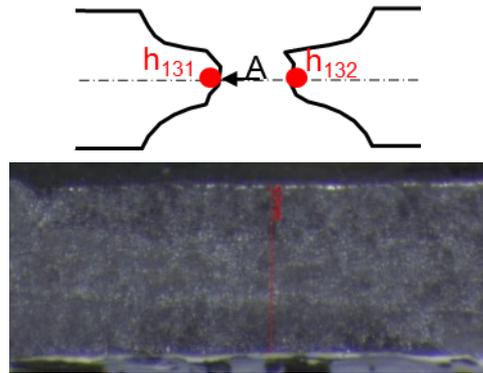
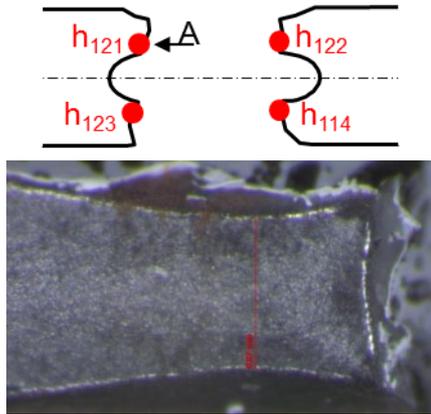
Rupture « en cisaillement »



Caractérisation standard de la rupture chez FAS: mesures

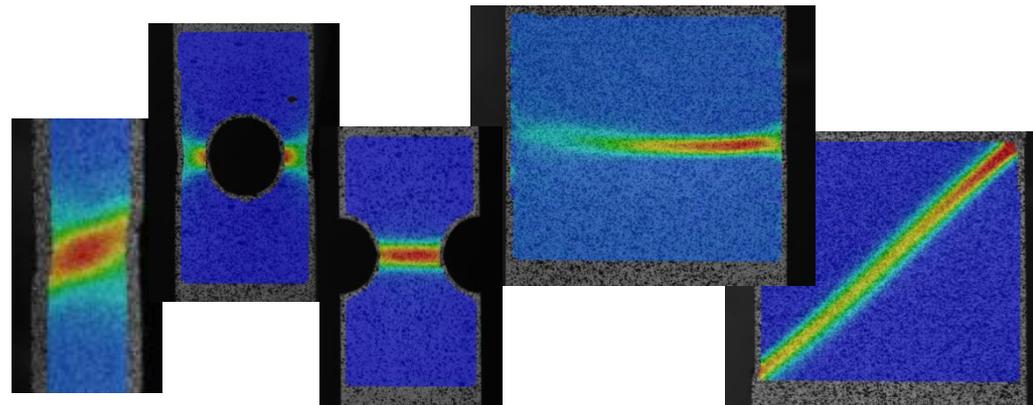
- **Épaisseur** après rupture → déformation
- **Cisaillement** : **angle**

$\varepsilon_{\text{frac}}(\eta, \theta)$
indépendamment
des modèles



Mesure de champs: validation

- Type de chargement
- Homogénéité du champ
- Vitesse de déformation



Modélisation de la rupture chez FAS : surfaces (critères) de rupture

- Fit experimental fracture strains with an exponential equation (scalar)

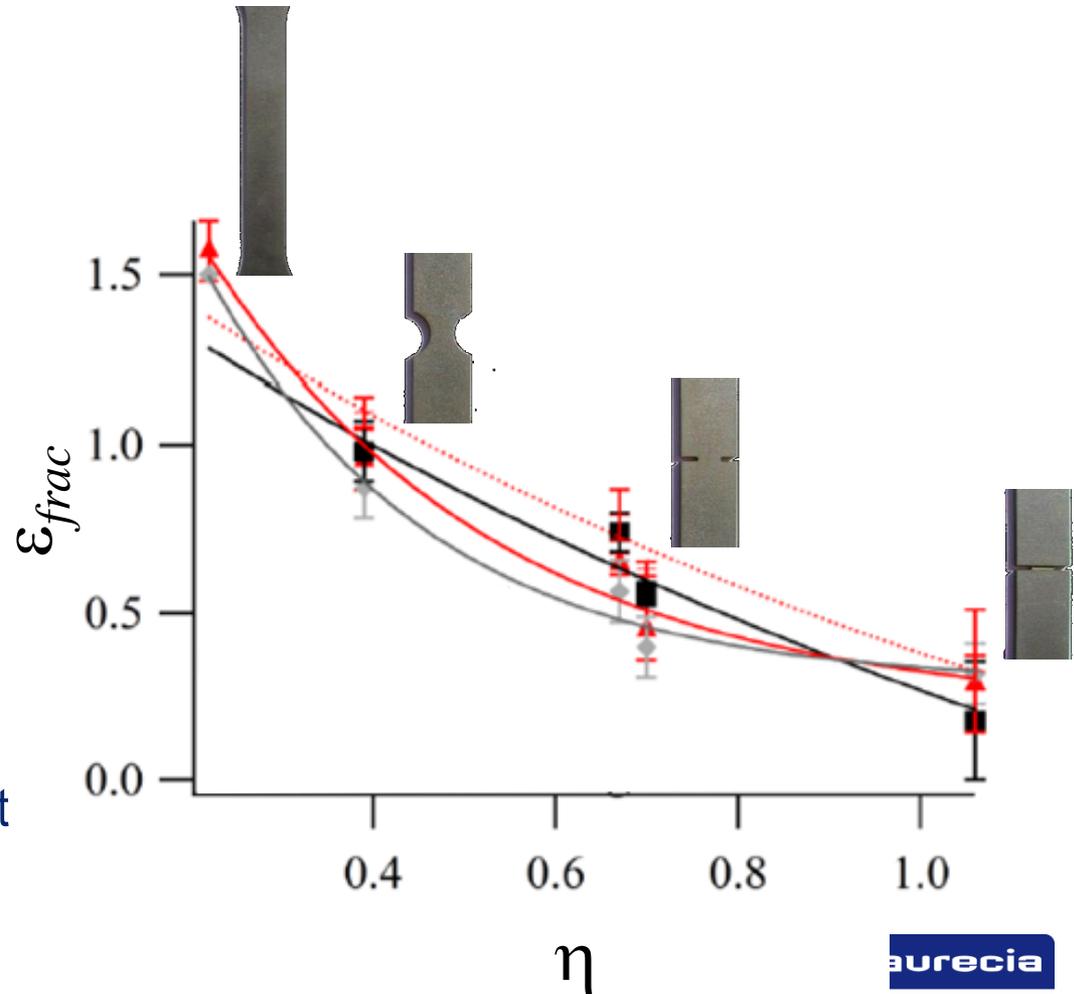
exemple (Johnson Cook) :

$$\varepsilon_{frac} = a + b e^{-c\eta}$$

- “Damage” indicator:

$$d = \int \frac{1}{\varepsilon_{frac}(\eta)} d\bar{\varepsilon}$$

- d=1 → fracture
- Takes strain-path into account



Modélisation de la rupture chez FAS : surfaces (critères) de rupture

- Fit experimental fracture strains with an exponential equation (scalar)

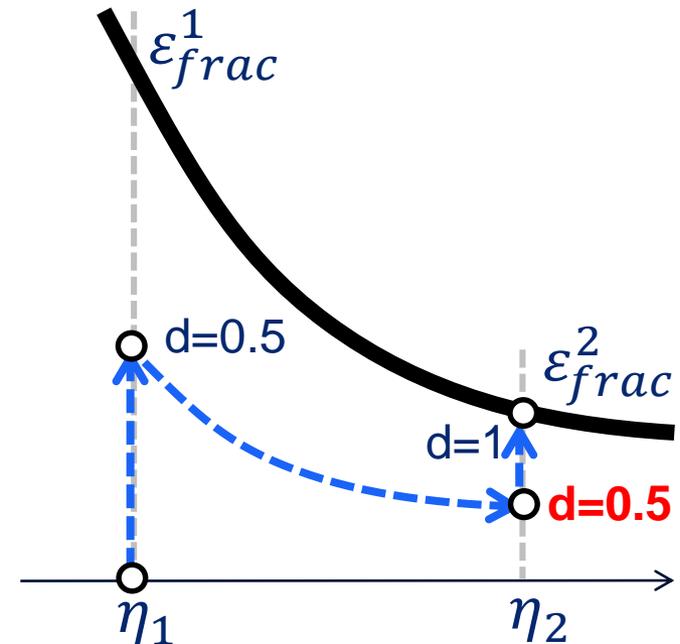
exemple (Johnson Cook) :

$$\varepsilon_{frac} = a + b e^{-c\eta}$$

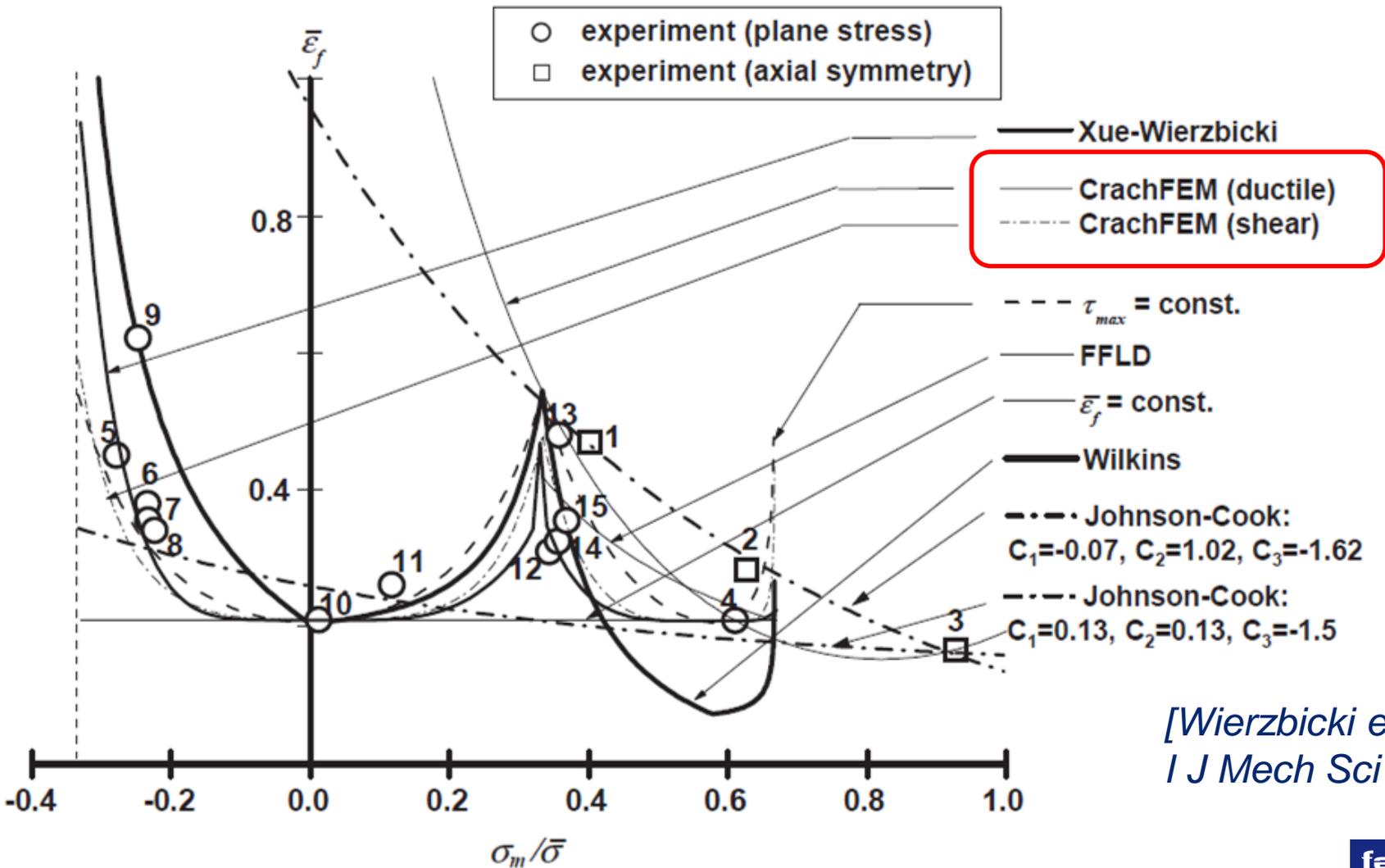
- “Damage” indicator:

$$d = \int \frac{1}{\varepsilon_{frac}(\eta)} d\bar{\varepsilon}$$

- $d=1 \rightarrow$ fracture
- Takes strain-path into account, in a way...



Surfaces de rupture : exemples

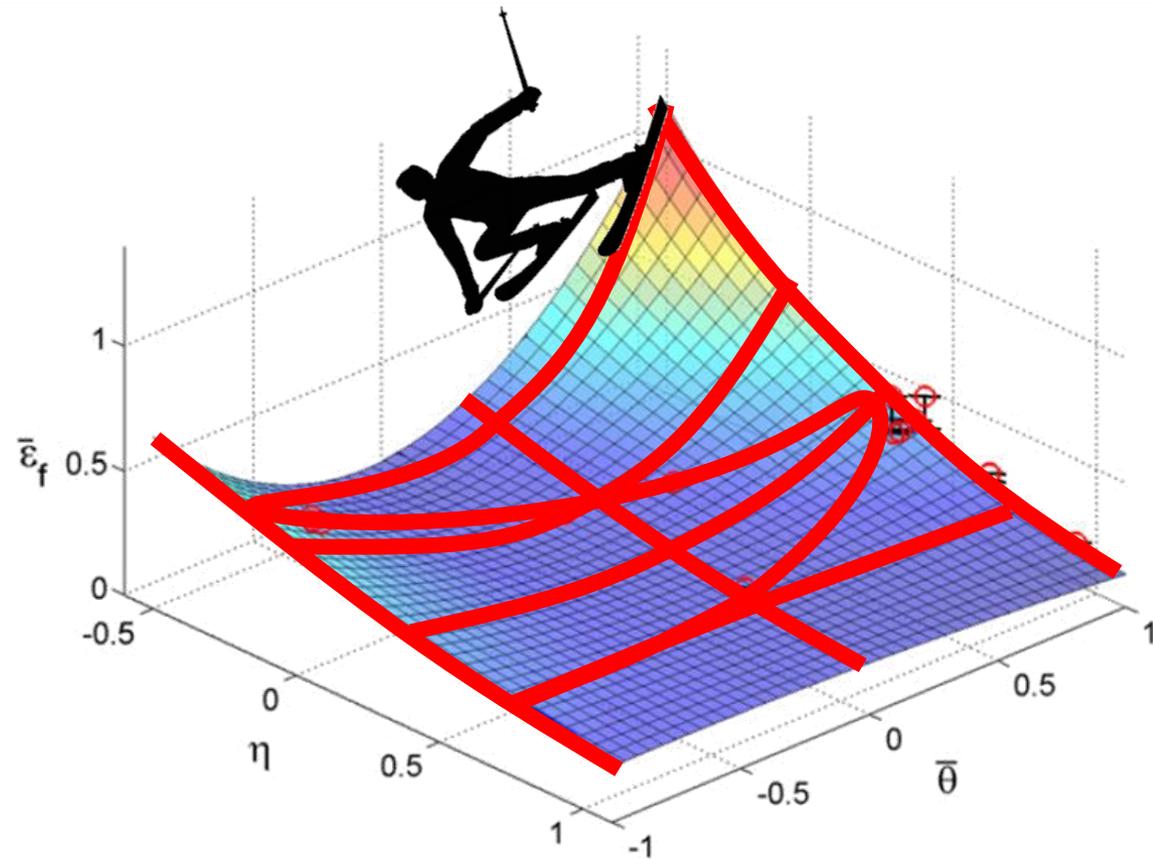


[Wierzbicki et al,
 I J Mech Sci (2005)]

Graphical representation of fracture surfaces

$$\varepsilon_{frac}(\eta, \theta)$$

- Use 3 plots (2D cuts)
 - Effect of triaxiality
 - Effect of Lode parameter
 - Plane stress combination



- *Too few experiments available to really know the real surface (if any)*



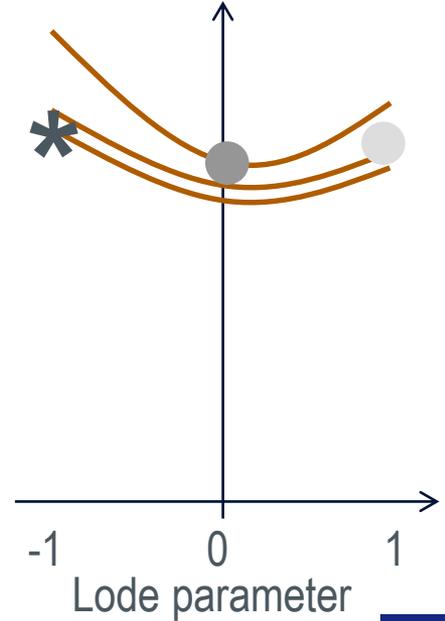
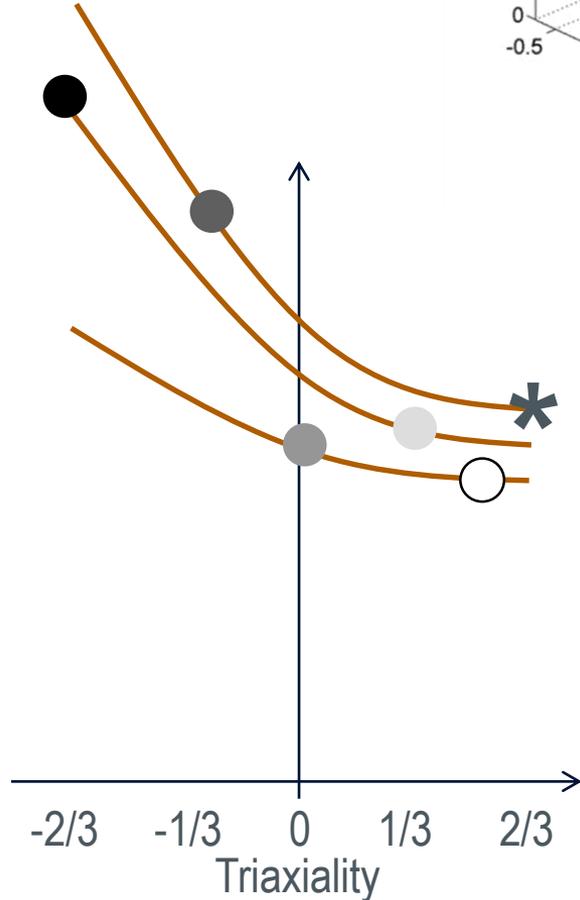
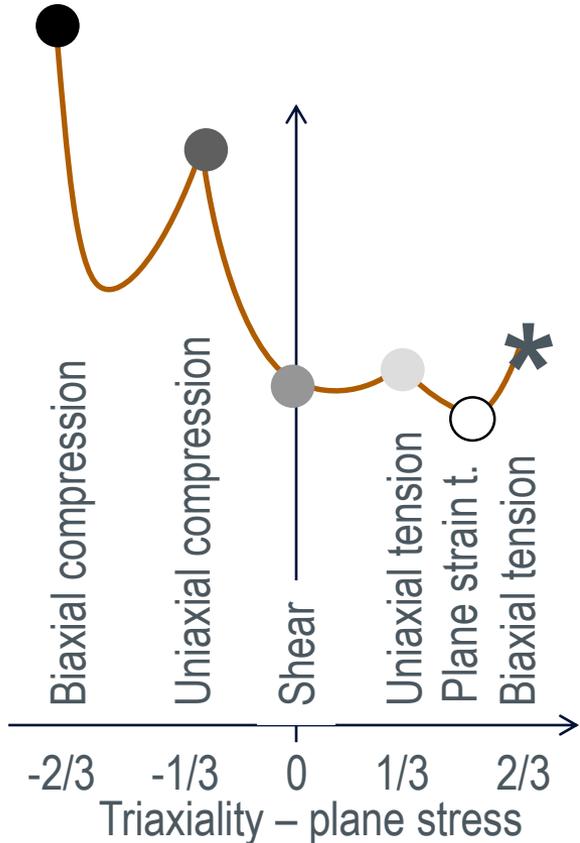
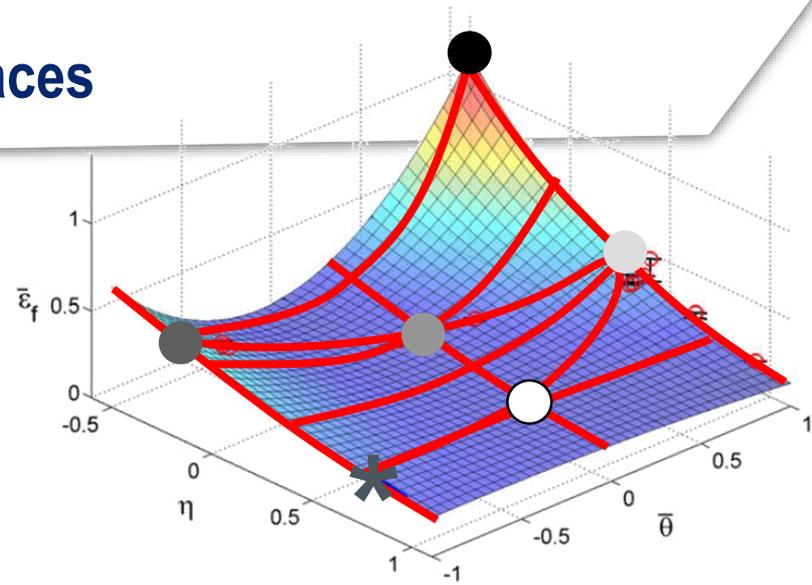
[Bai & Wierzbicki, IJP, 2008]

Graphical representation of fracture surfaces

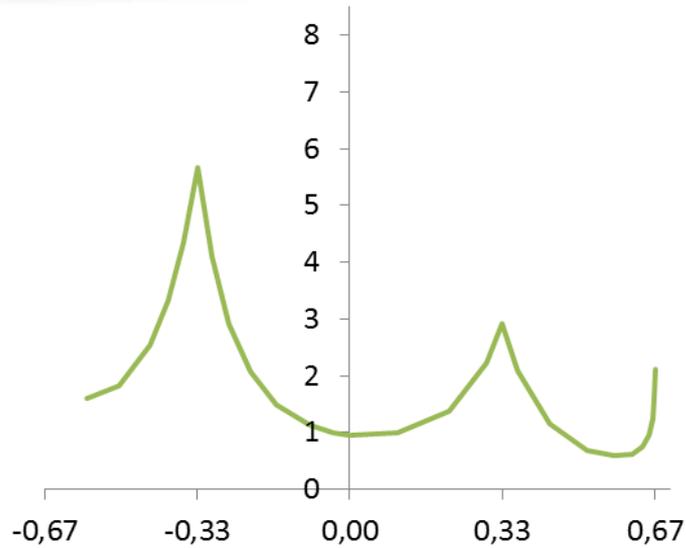
Example



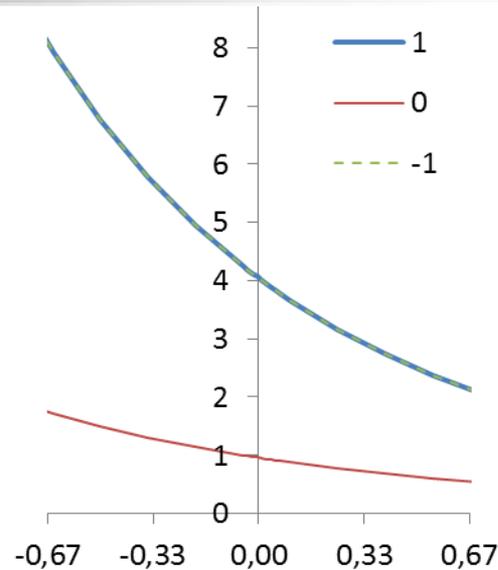
Too few experiments available...



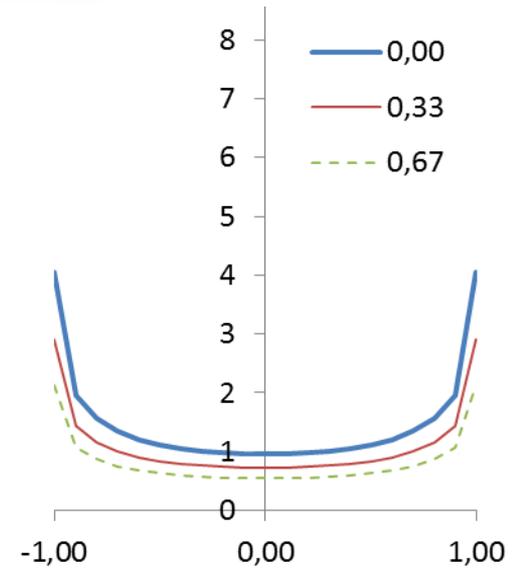
Deux grands classiques: Mohr-Coulomb et Johnson-Cook



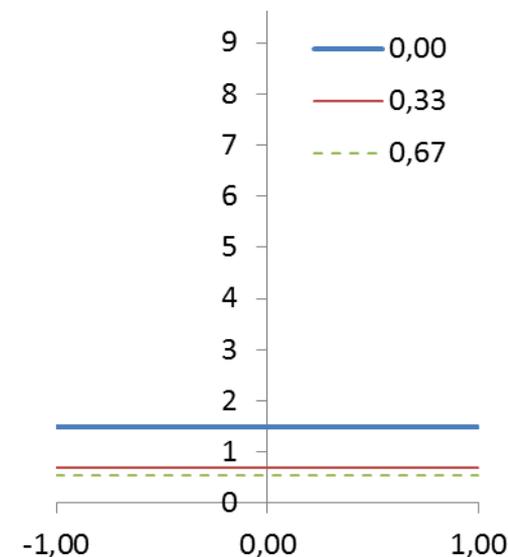
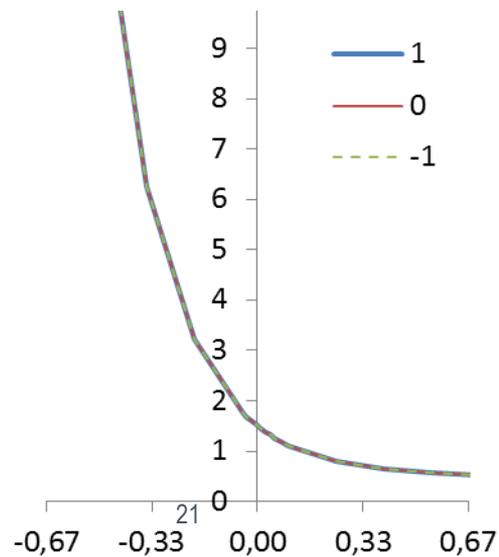
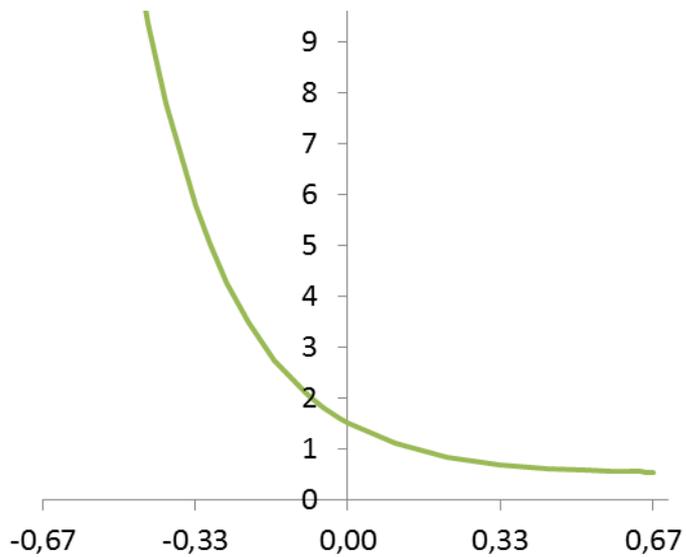
Triaxiality – plane stress



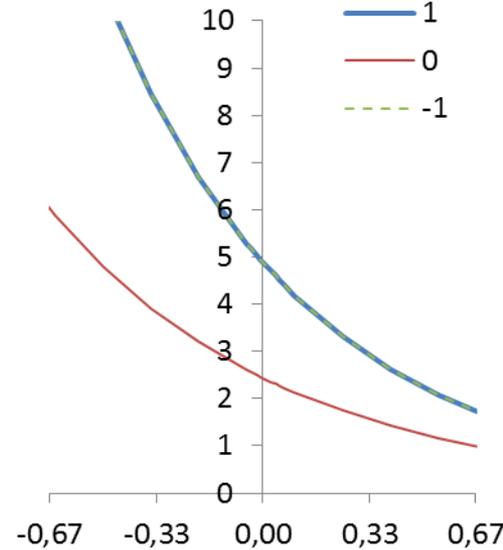
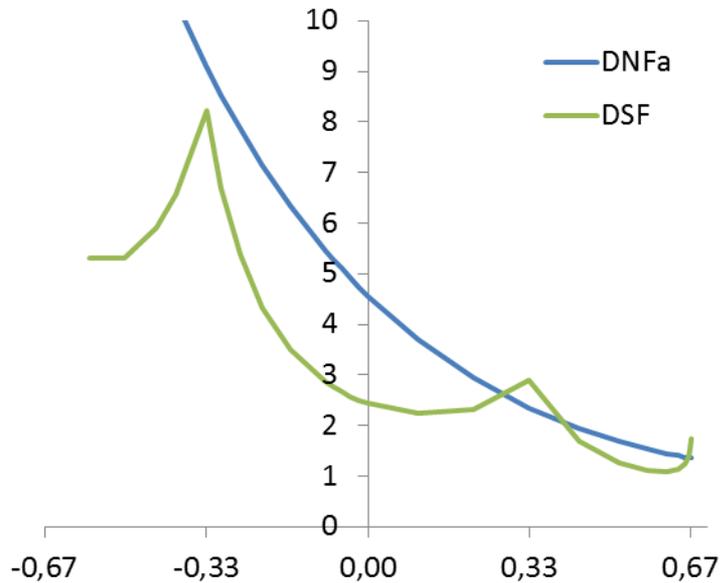
Triaxiality



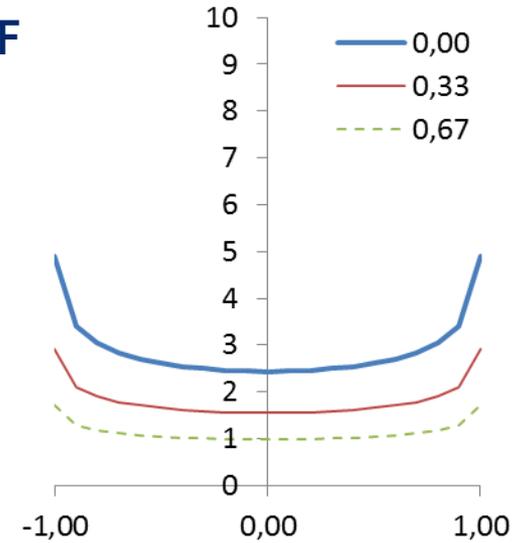
Lode parameter



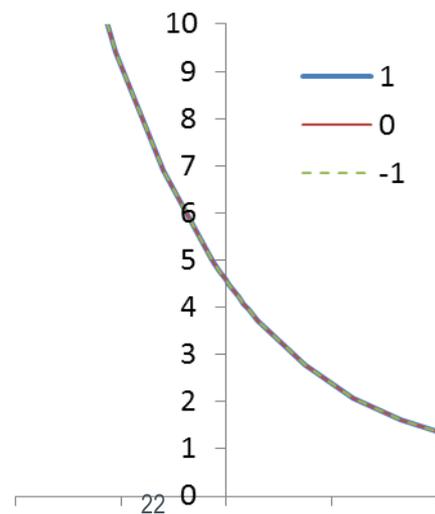
CrachFEM : représentation graphique



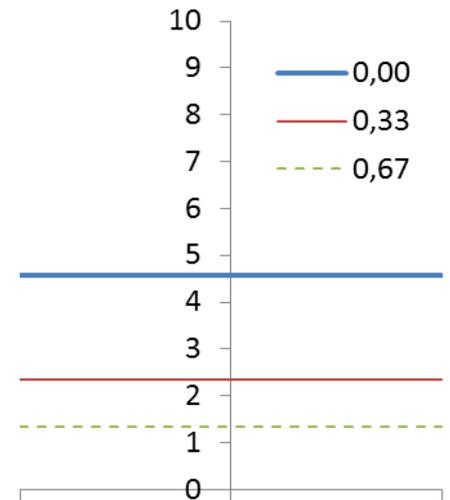
DSF



- Failure = $\min(\text{DSF}, \text{DNF})$
- \sim Johnson-Cook + Mohr-Coulomb + 7 parameters



DNFa



Le modèle CrachFEM

■ « Ductile normal failure » (DNF)

- 3 paramètres: d, q, s_{NF}

$$\varepsilon_{eq}^{**} = d \cdot e^{q \cdot \beta}$$

$$\beta = \frac{1 - s_{NF} \cdot \eta}{(\sigma_1 / \sigma_M)}$$

■ « Ductile shear failure » (DSF)

- 4 paramètres: $\varepsilon_{SF}^+, \varepsilon_{SF}^-, f, k_{SF}$

$$\varepsilon_{eq}^{**} = \frac{\varepsilon_{SF}^+ \sinh(f(\theta - \theta^-)) + \varepsilon_{SF}^- \sinh(f(\theta^+ - \theta))}{\sinh(f(\theta^+ - \theta^-))}$$

$$\theta = \frac{\sigma_M}{\tau_{max}} \cdot (1 - k_{SF} \cdot \eta)$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

■ Quelques spécificités supplémentaires

- Variable d'« endommagement » tensorielle
- Modèle de striction, de type Marciniak-Kuczynski
- Modèle « post-instabilité » pour maillages coques grossiers
- Commercialisé par l'entreprise « MatFEM »

Plan de la présentation

- Introduction
- Modèles de rupture et calibration
- Applications: effet des chargements non-linéaires (process / produit)
 - Effet du pliage des glissières sur leur tenue en « crash »
 - Effet des chargements non-linéaires avec le modèle de GTN
- Conclusions

Importance des pré-déformations dues au process

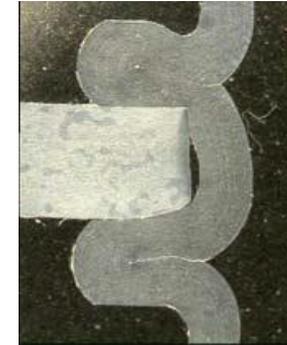
Déformation



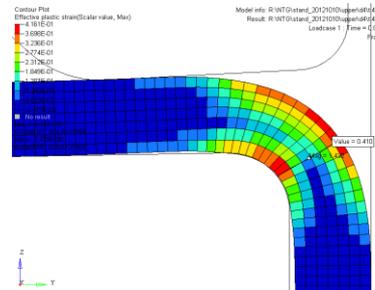
Fine blanking



TEF (Tube end forming)



Bending (tracks)



Deep drawing

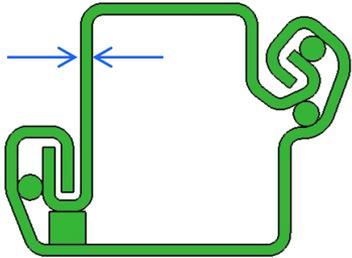


- Pré-déformation: **cisaillement - compression**
- Pièces potentiellement critiques en crash (ou fatigue...)

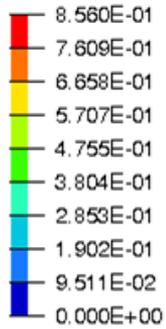
Cas d'application: pliage des glissières

DP1000 – 1,5mm
 $A_g=5\%$, $A_{80}=10\%$

- Éléments solides
- CrachFEM



Extra Solid History(Var 2)

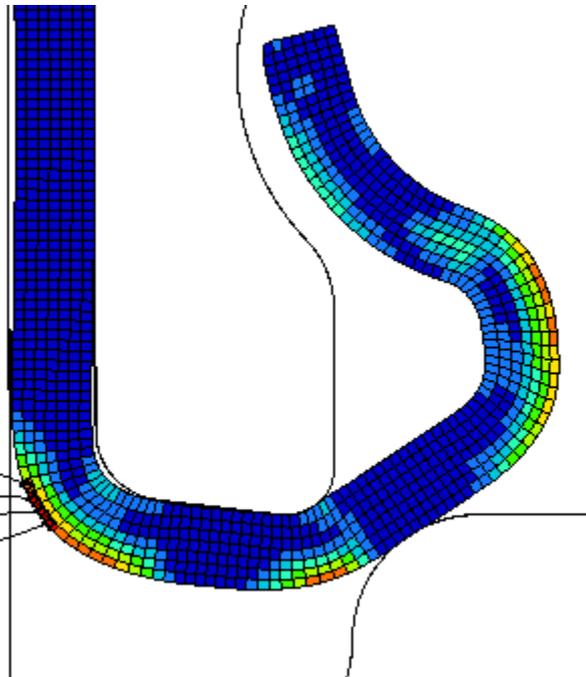


0.667373

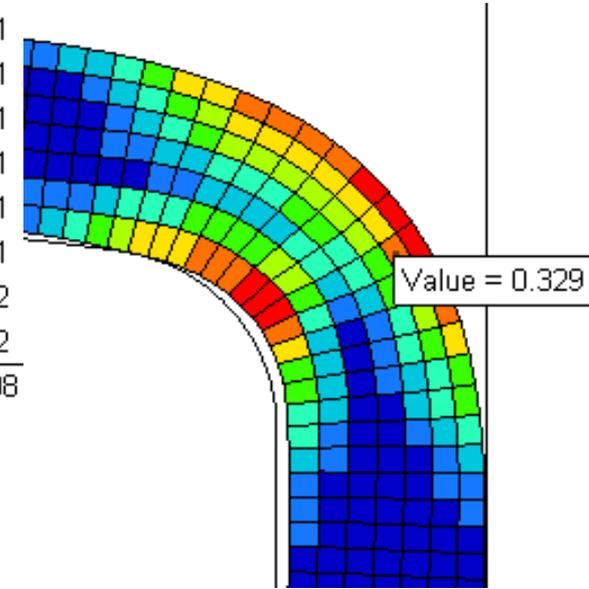
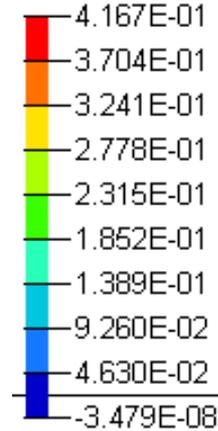
0.78397

0.854399

0.815511

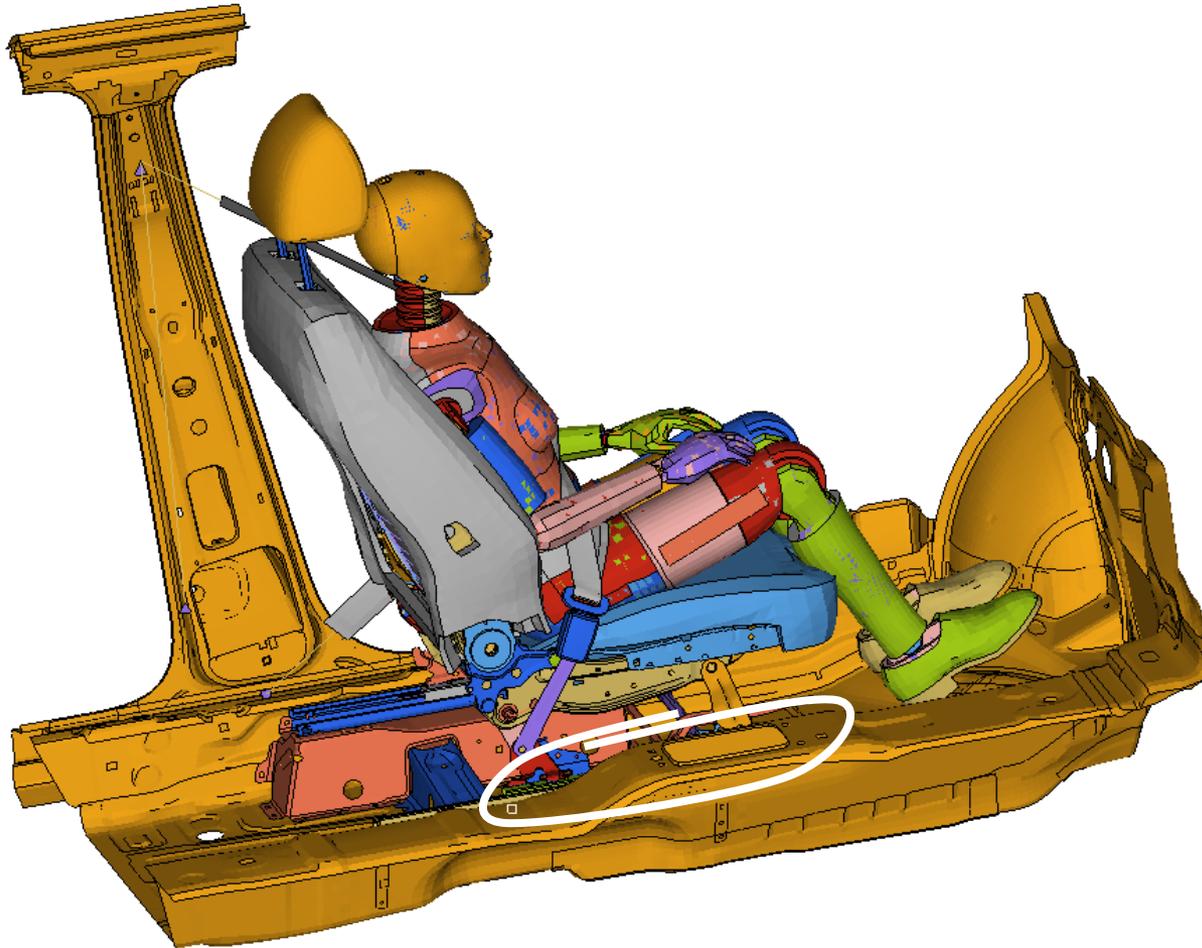


Effective plastic strain(Scalar value, Max)



- Faisabilité process
- Input pour le calcul crash

Tenue en crash: corrélation essai - simulation

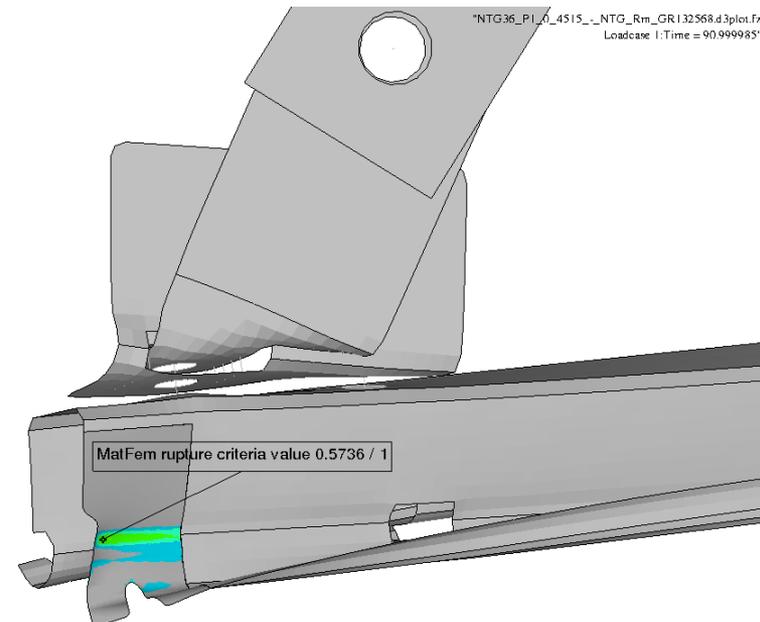
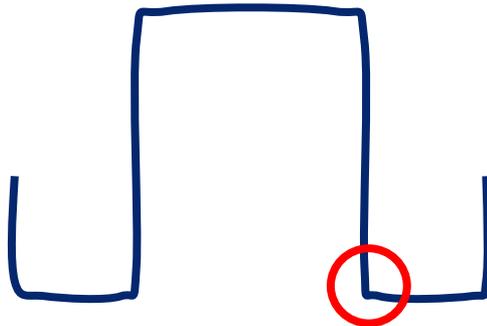


Effet du procédé (pliage) en simulation de crash

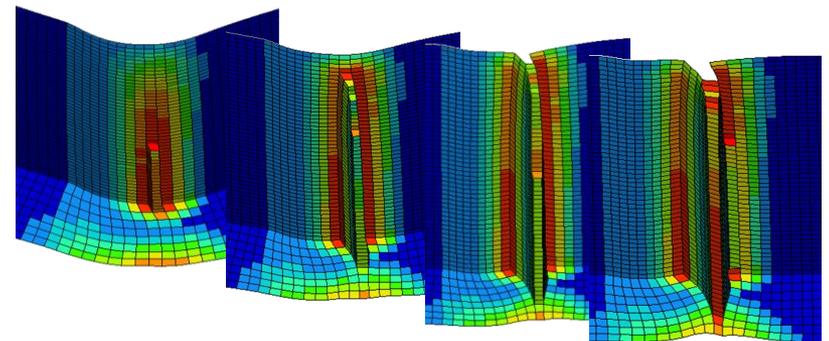
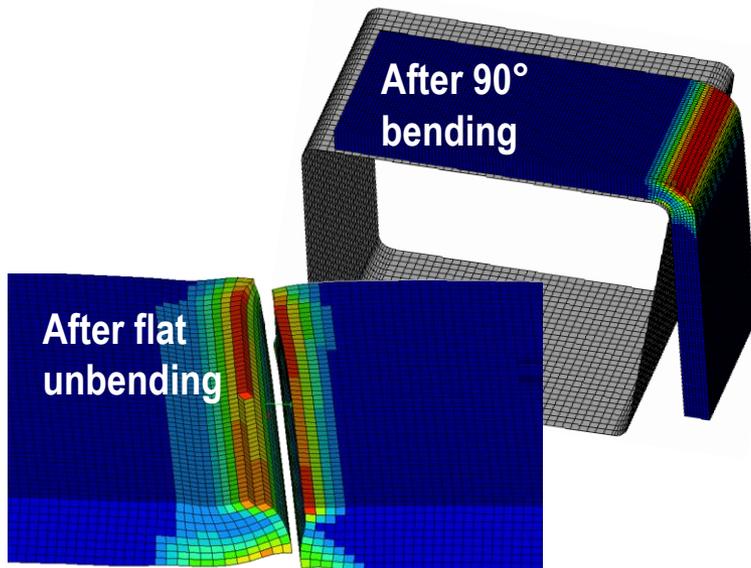
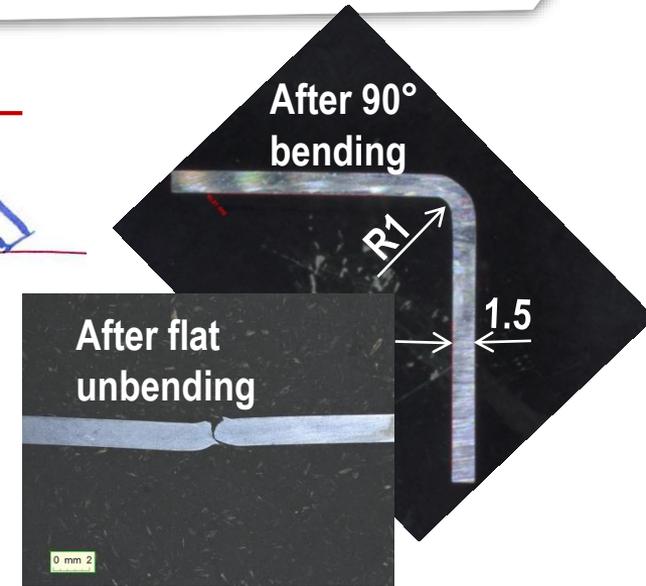
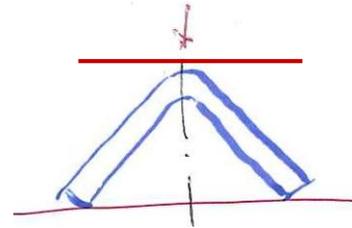
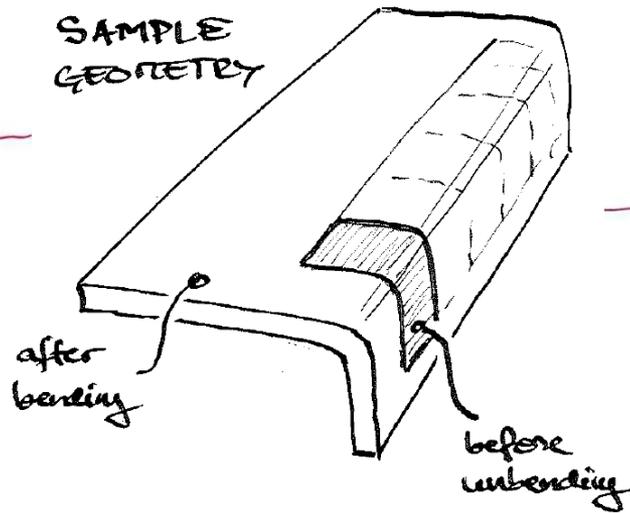
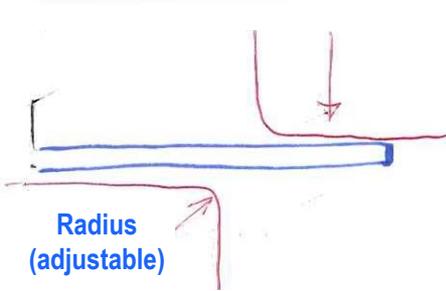
Example: pliage (process) + dépliage (crash)

■ Rupture le long de l'ancien pli non prédite !

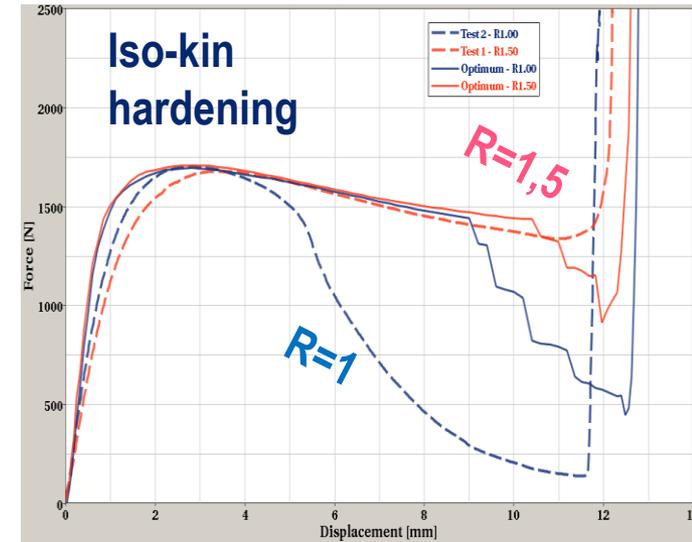
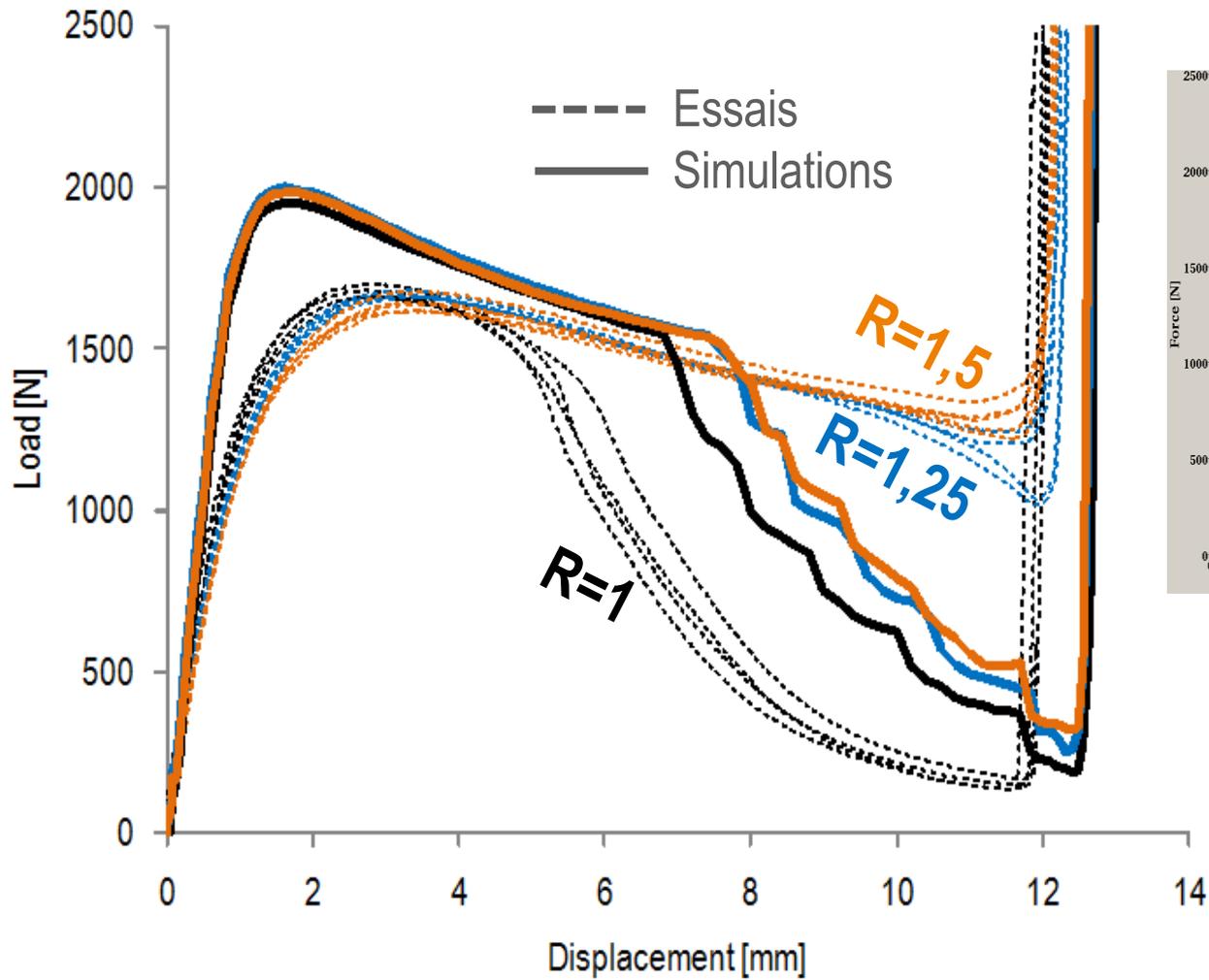
→ Mise en place d'essais spécifiques de validation



Pliage – dépliage: corrélation essais / simulations



Pliage – dépliage: corrélation essais / simulations

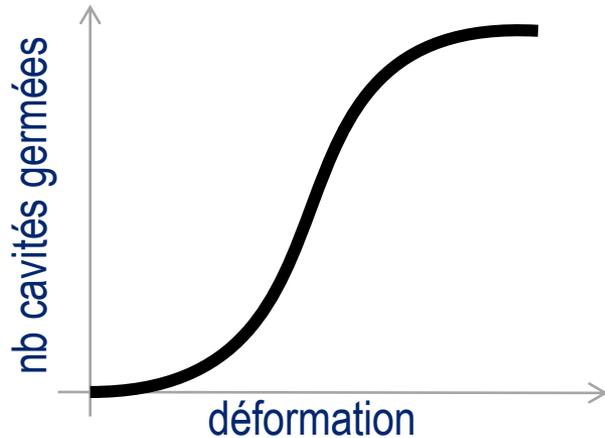


■ Impossible de prédire la rupture dans les trois configurations !!!

Chargements non-linéaires avec le modèle GTN

loi de germination des cavités classique:

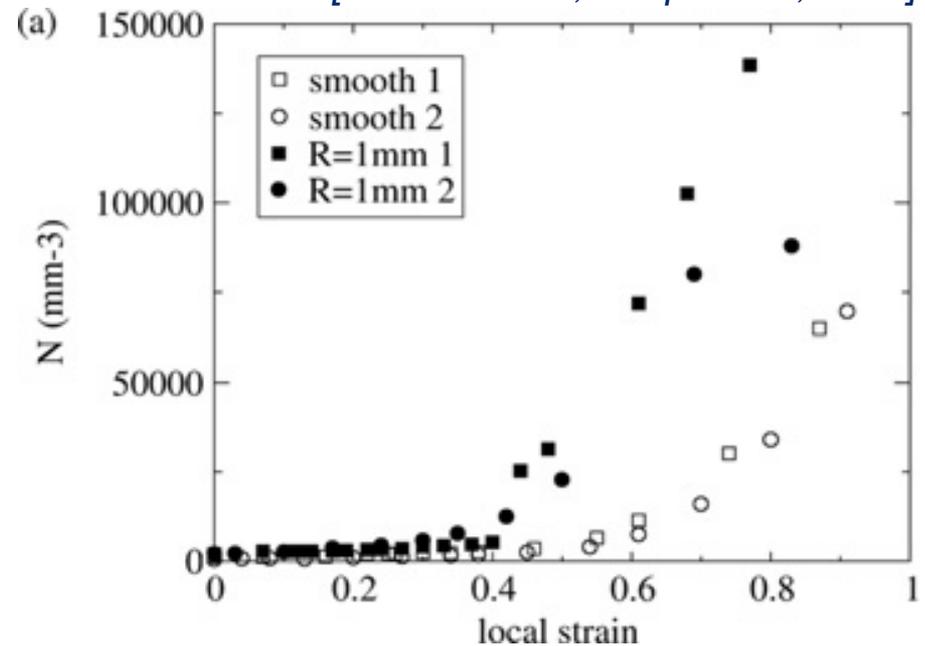
$$\dot{f}_n = A_{CN} (\bar{\varepsilon}) \dot{\bar{\varepsilon}}$$
$$A_{CN} = \frac{f_{CN}}{s_{CN} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{\varepsilon} - \varepsilon_{CN}}{s_{CN}} \right)^2 \right]$$



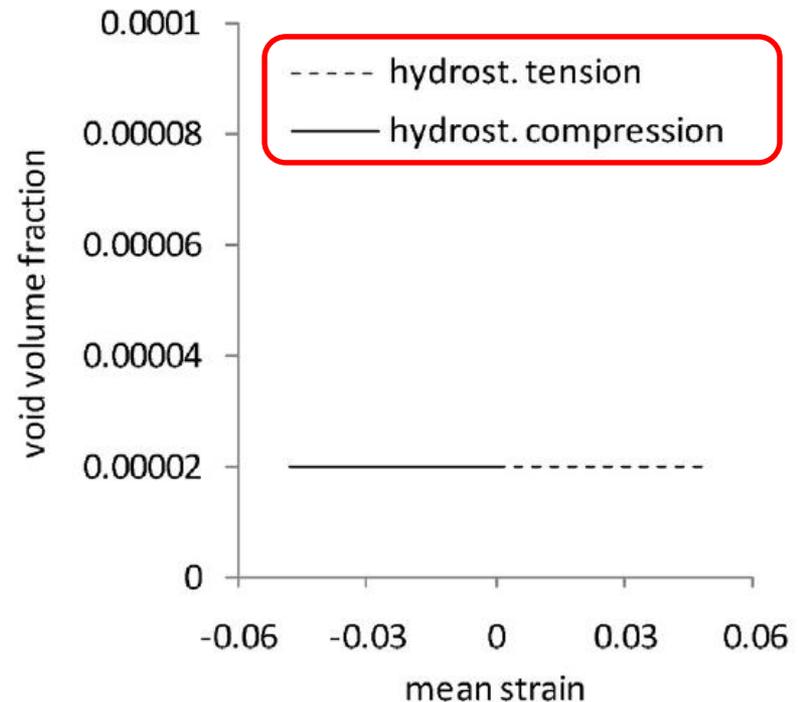
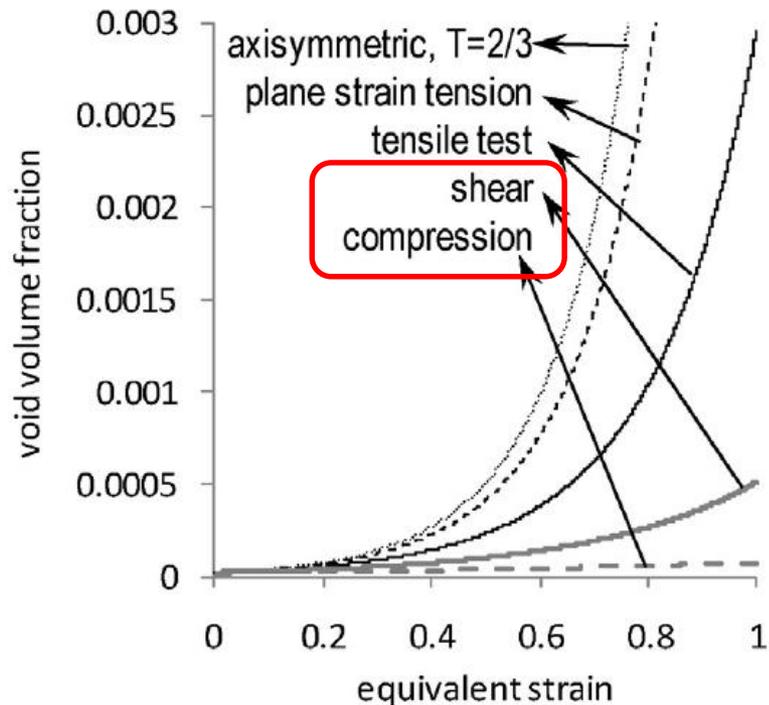
acier DP : pas de saturation !

$$N = B \frac{\sigma}{\sigma_c} (1 + \theta T) \left(1 + \frac{N}{N_0} \right) \varepsilon_{eq},$$

[Landron et al, Scripta Mat, 2010]

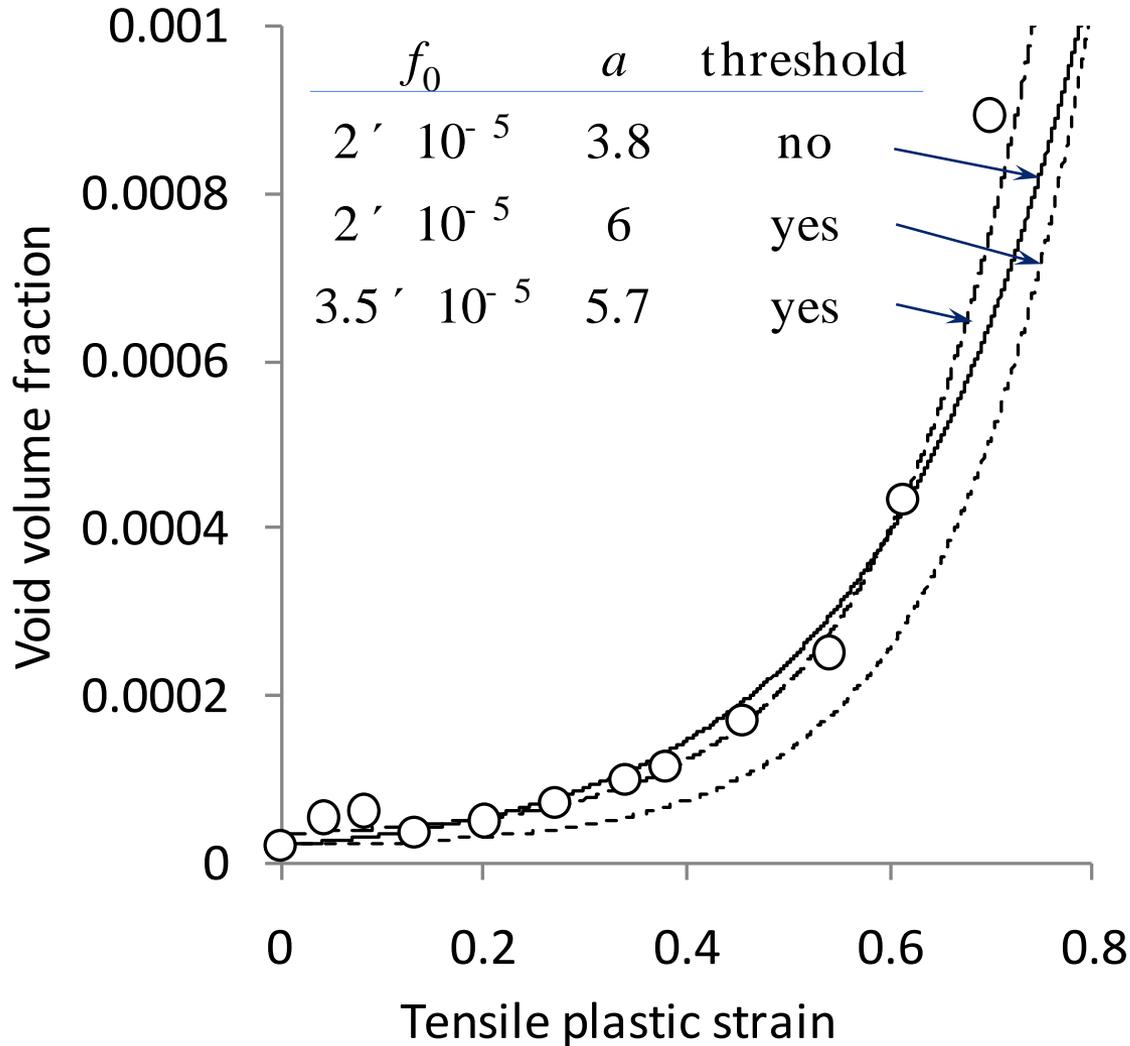


Chargements non-linéaires avec le modèle GTN

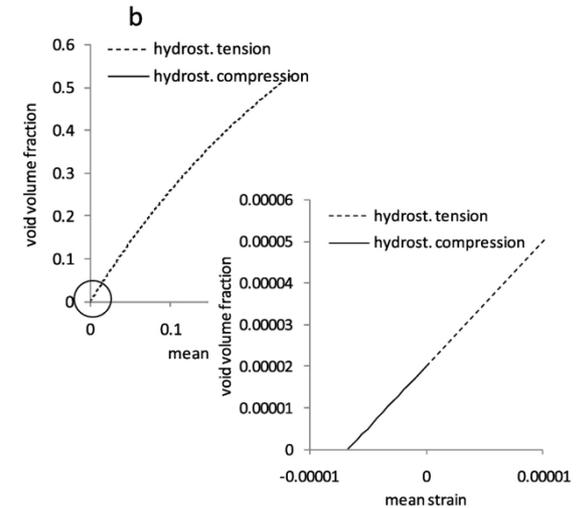
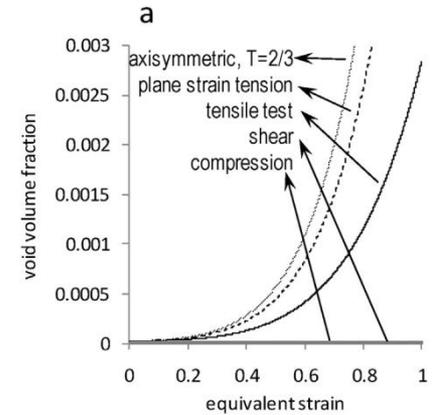


Vérification de la pertinence des modèles pour des chargements **monotones** non utilisés pour l'identification

Chargements non-linéaires avec le modèle GTN



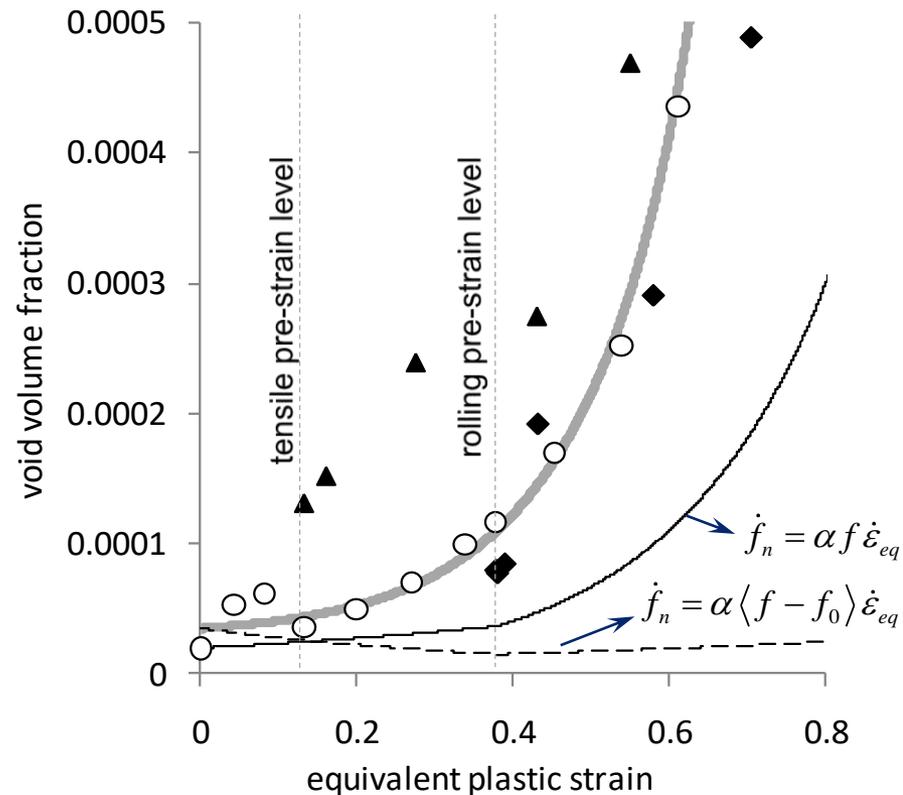
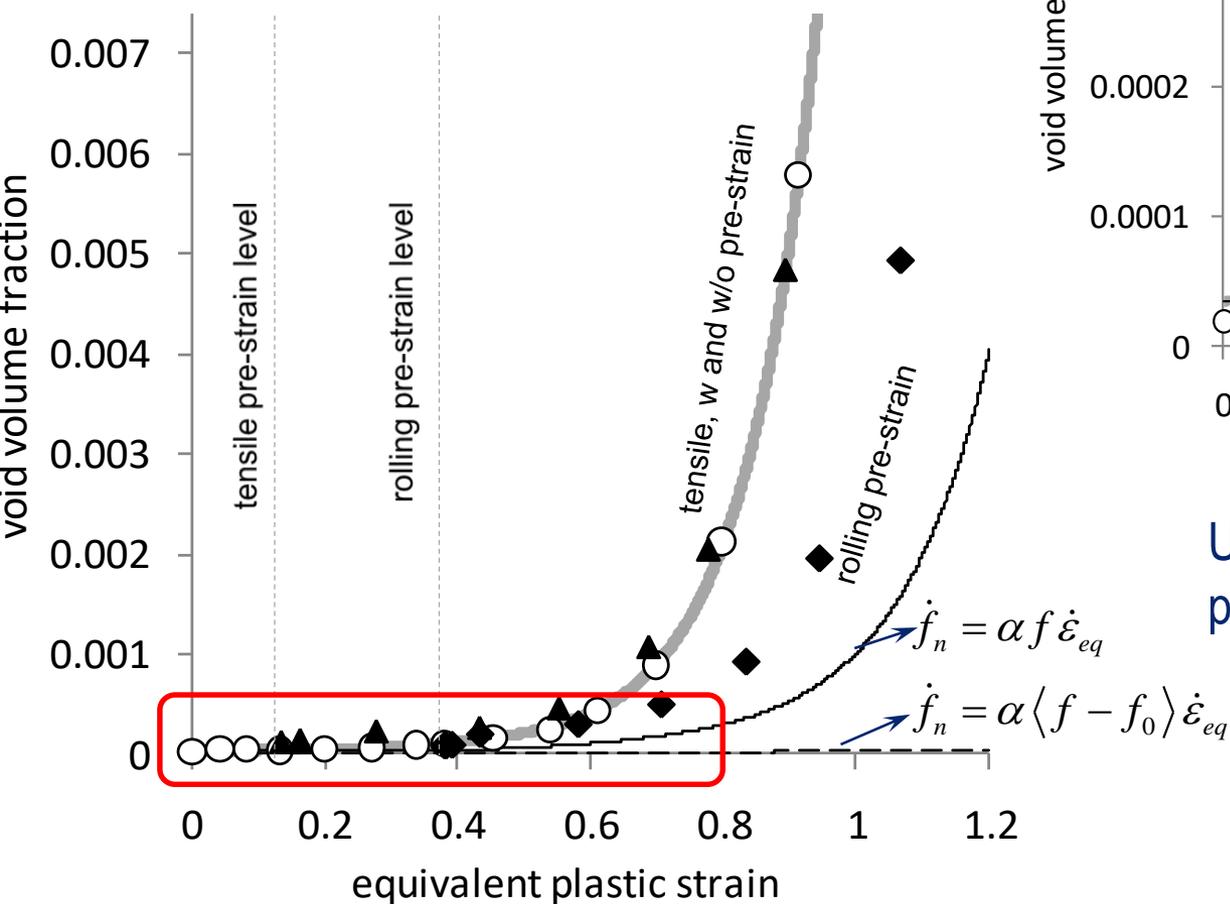
$$\dot{f}_n = \alpha \langle f - f_0 \rangle \dot{\epsilon}_{eq}$$



Chargements non-linéaires avec le modèle GTN

Endommagement sous trajets complexes

→ un défi pour tous les modèles ?



Une seule courbe → pas de pb pour la fiter, mais pour la prédire...

Conclusions

Spécificités « applications automobile »

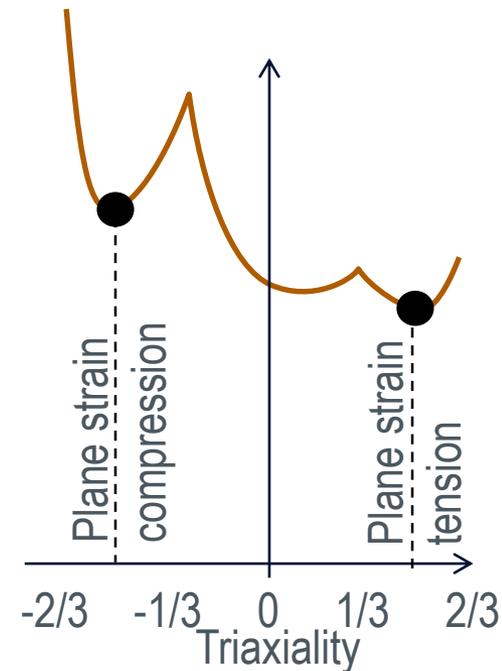
- Problématiques complexes et variées
- Evolution continue des produits / matériaux
- Délais très courts et moyens optimisés

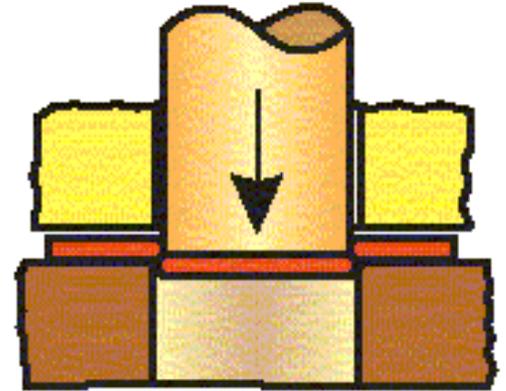
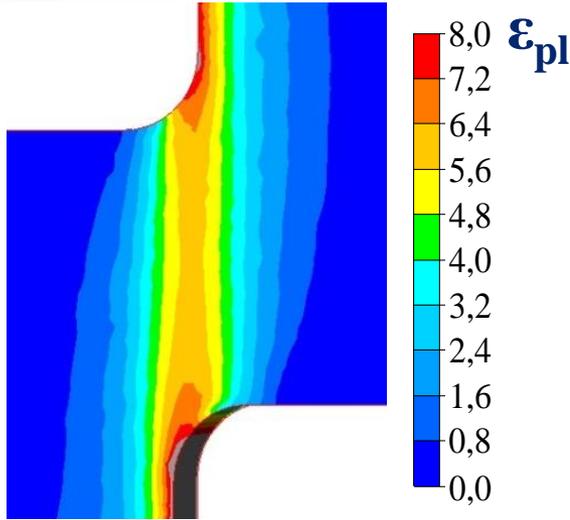
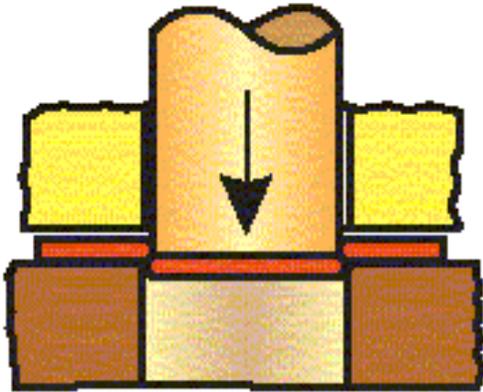
Approche : « simulation is commodity » (sauf cas particuliers)

- Standardisation des procédures
- Modèles indépendants des applications
- Données indépendantes des modèles
- Objectif : prédire ! (sinon, comprendre)

Quelques verrous scientifiques constatés

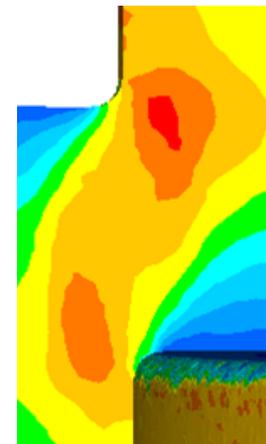
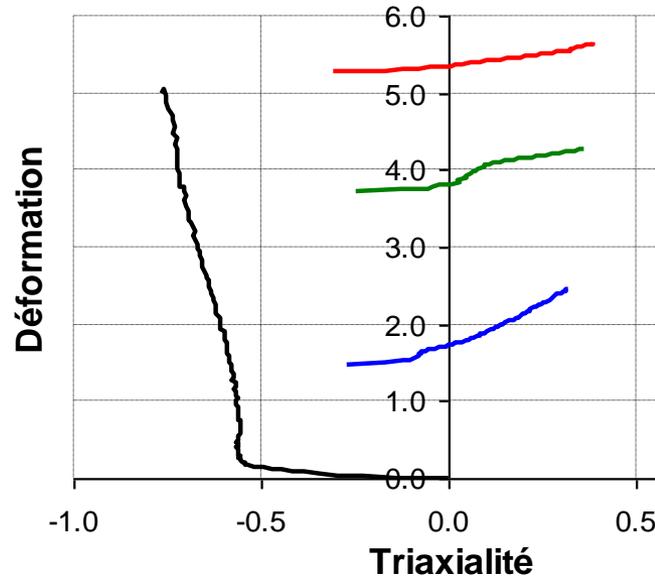
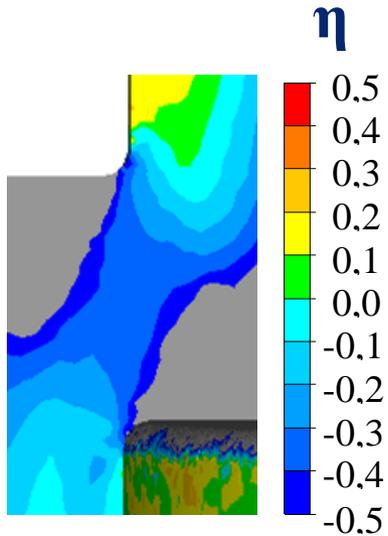
- Rupture après trajets non-linéaires
- Surtout, pré-déformation en compression
- En général, rupture selon trajets quelconques





$D_{poinçon} > D_{matrice}$

$D_{poinçon} < D_{matrice}$



faurecia

Technical perfection, automotive passion

