

# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – Le Sport – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents (~30')

III- L'Automobile – La caisse en blanc : sécurité – Echappement : environnement (~30')

IV- L'Avion - Un défi permanent (~15')

V – Conclusion : Quelques interrogations

1

# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – Le Sport – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents

III- L'Automobile – La caisse en blanc : sécurité – L'échappement : environnement

IV- L'Avion - Un défi permanent

V – Conclusion : Quelques interrogations

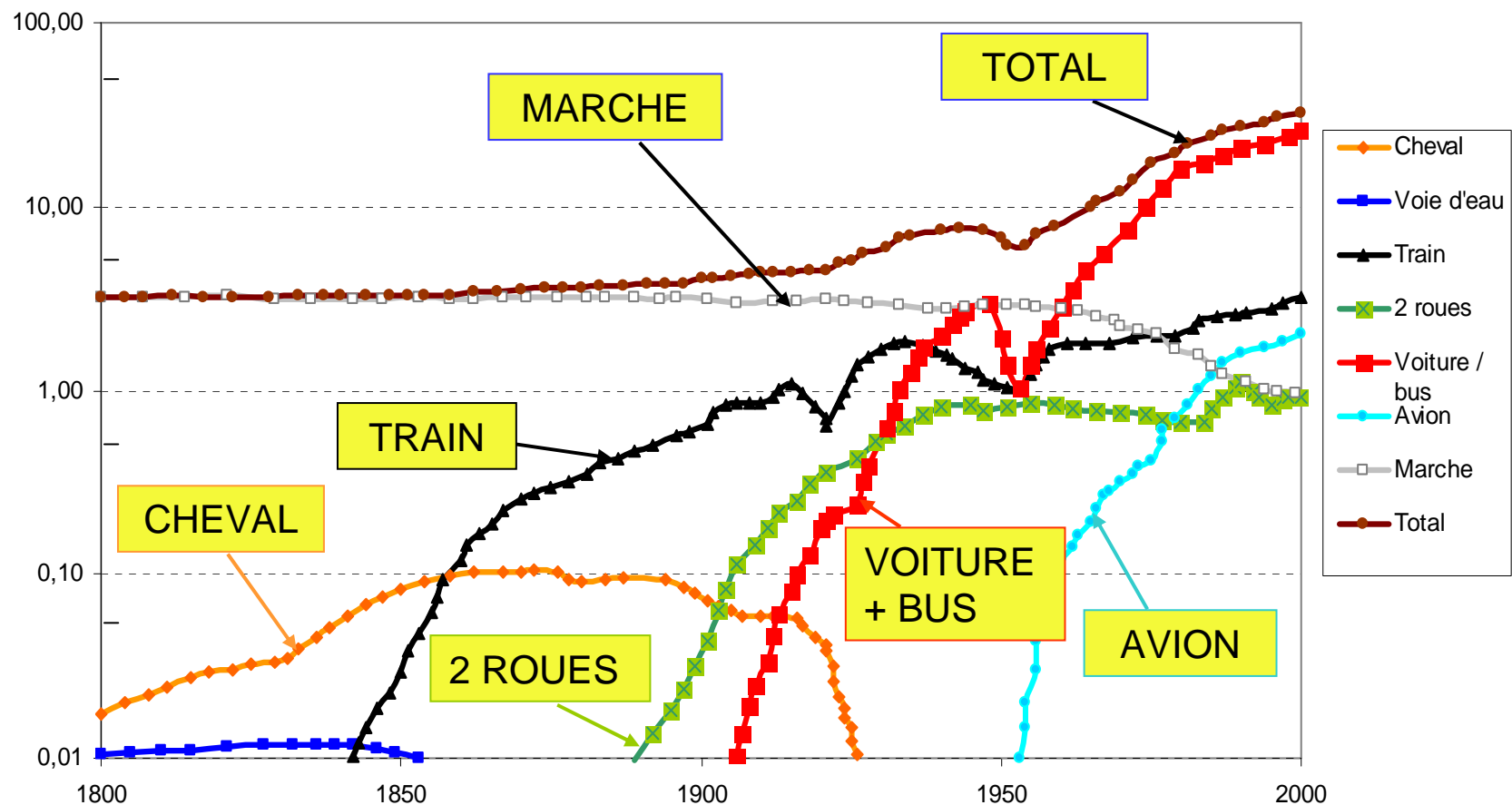
2

# TRANSPORT: Plus Loin, Plus Vite, Moins D'effort , Moins Cher

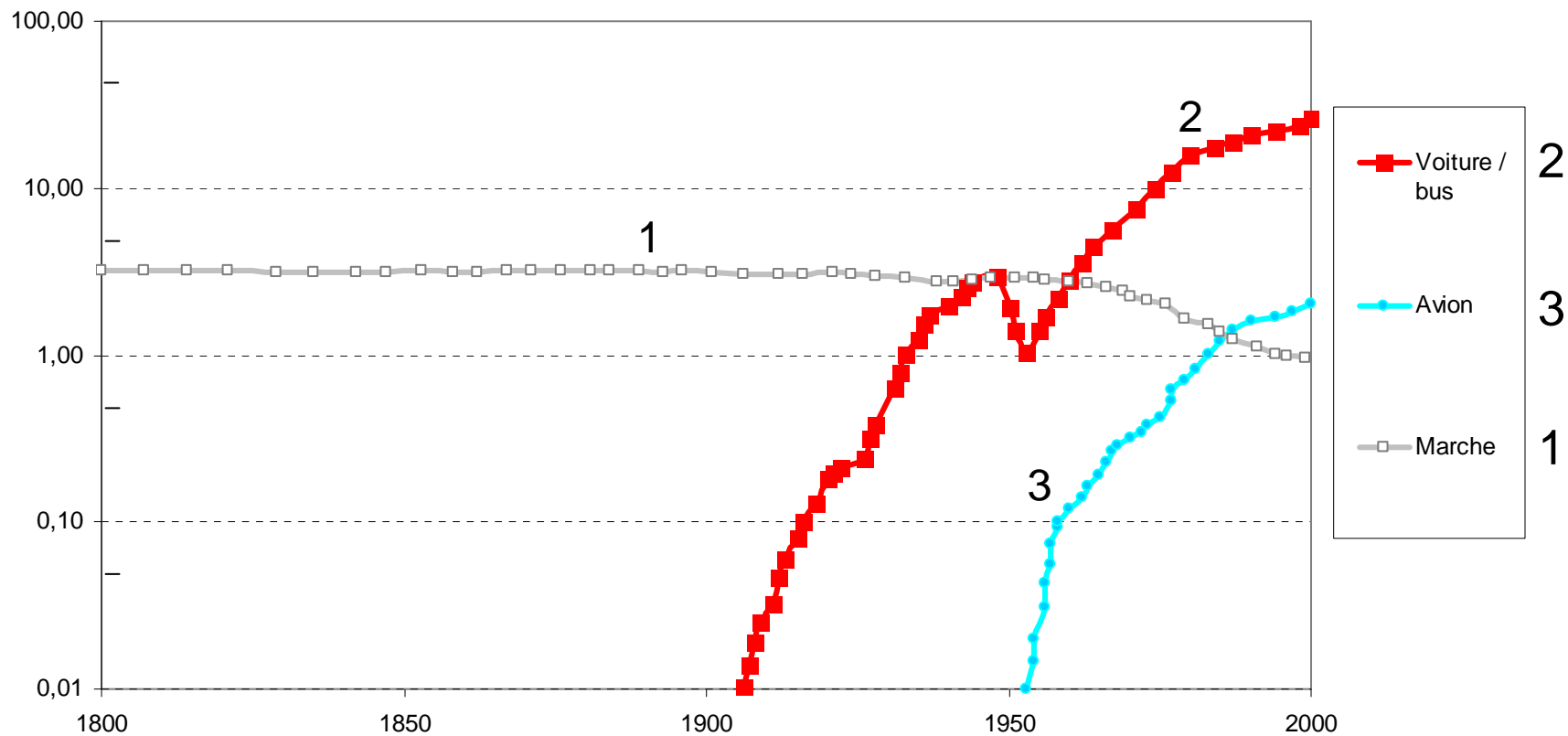
Evolution des distances parcourues par personne et par jour, en France depuis 1800

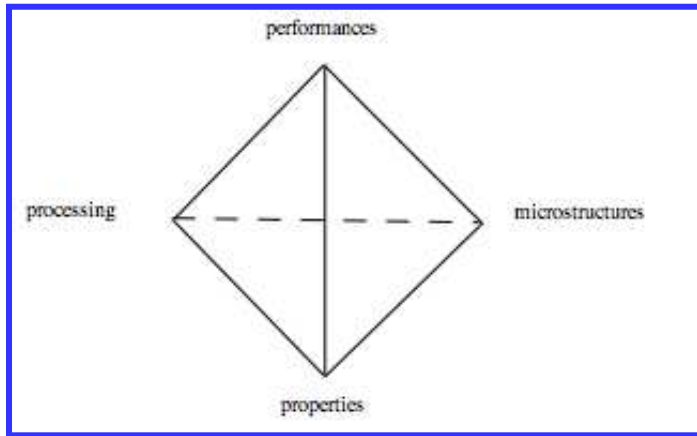
- Grübler et Nakicenovic, 1991, Estimations de Francis Papon pour la marche

- Jean-Marc Jancovici – Mines ParisTech mai-juin 2010- [www.manicore.com](http://www.manicore.com)

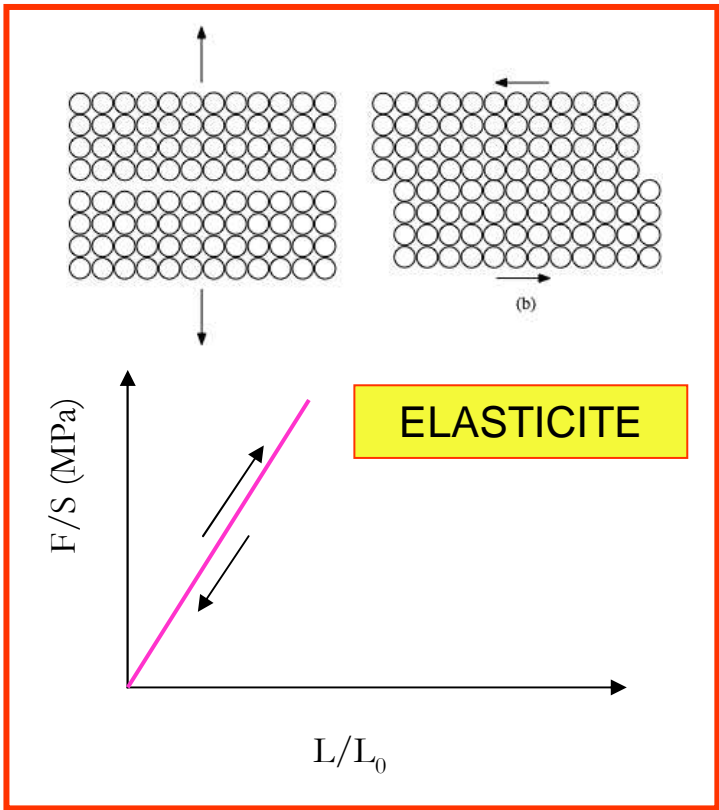


## Trois moyens de locomotion et les matériaux





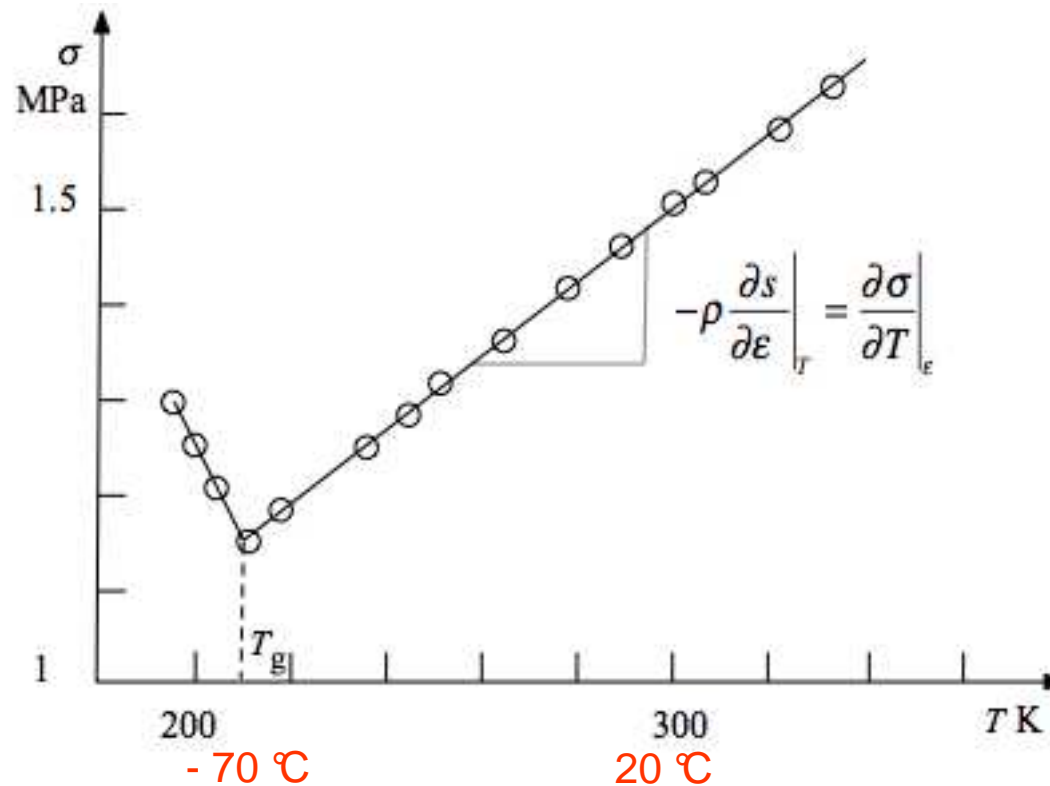
**ELASTICITE  
CAOUTCHOUTIQUE**



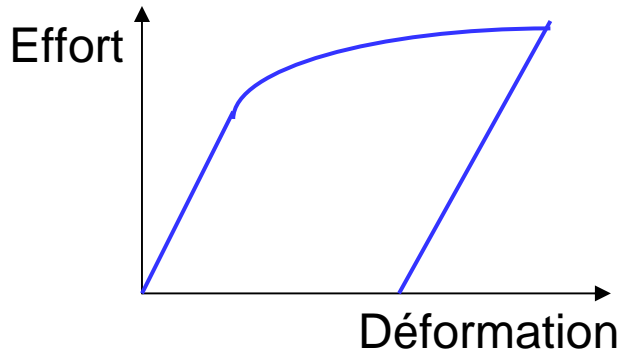
Variation avec la température de la contrainte nécessaire pour maintenir un allongement de 350% dans un élastomère.

$T_g$  est la température de transition vitreuse

*Meyer et Ferri 1935*



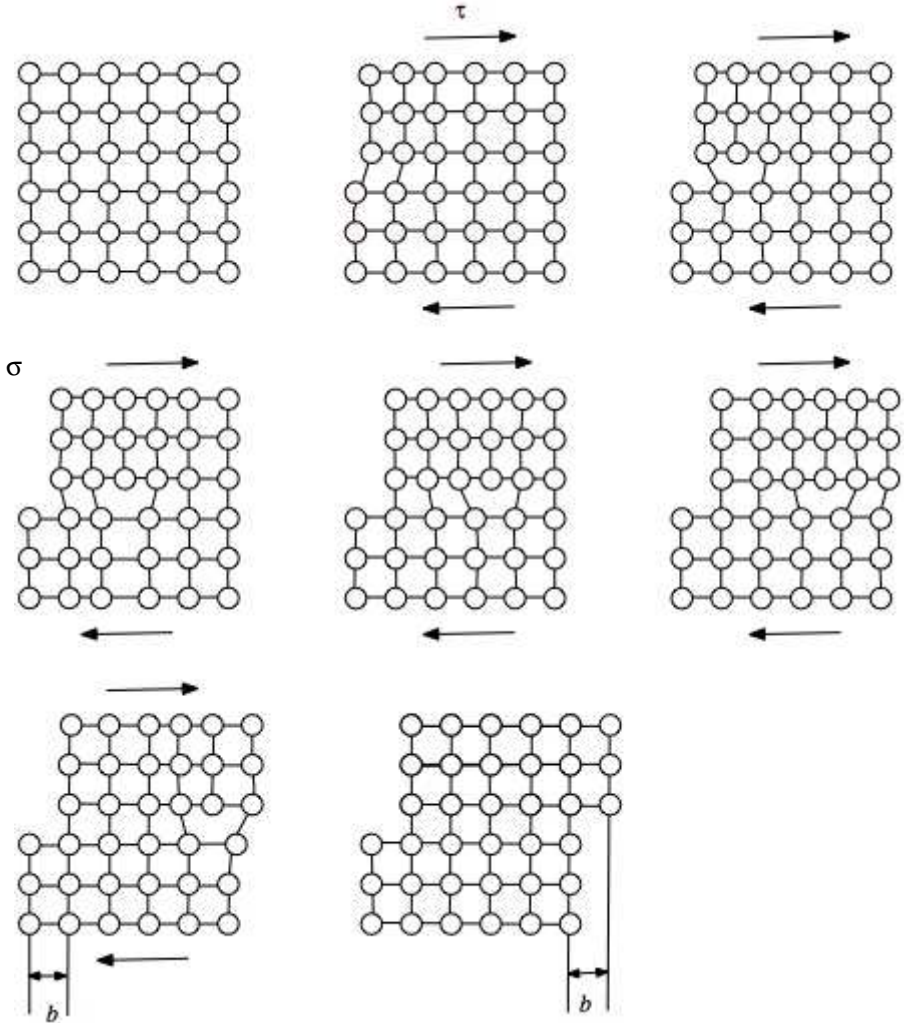
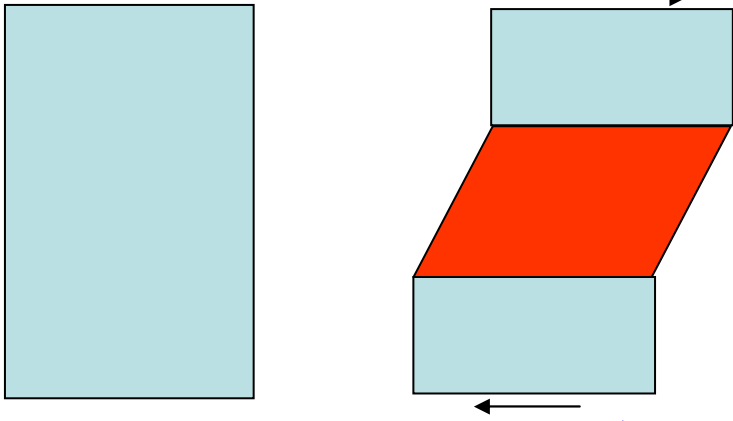
Démo Type LAMAP à la fin pour gens intéressés et pas trop pressés



PLASTICITE

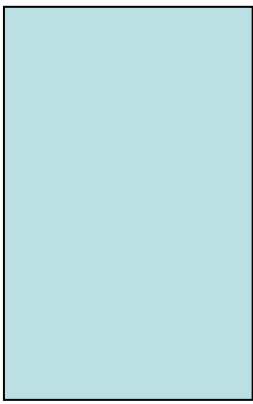
Dislocations

Mémoire de Forme



Réchauffage

Démonstration



# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – **Le Sport** – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents

III- L'Automobile – La caisse en blanc : sécurité – L'échappement : environnement

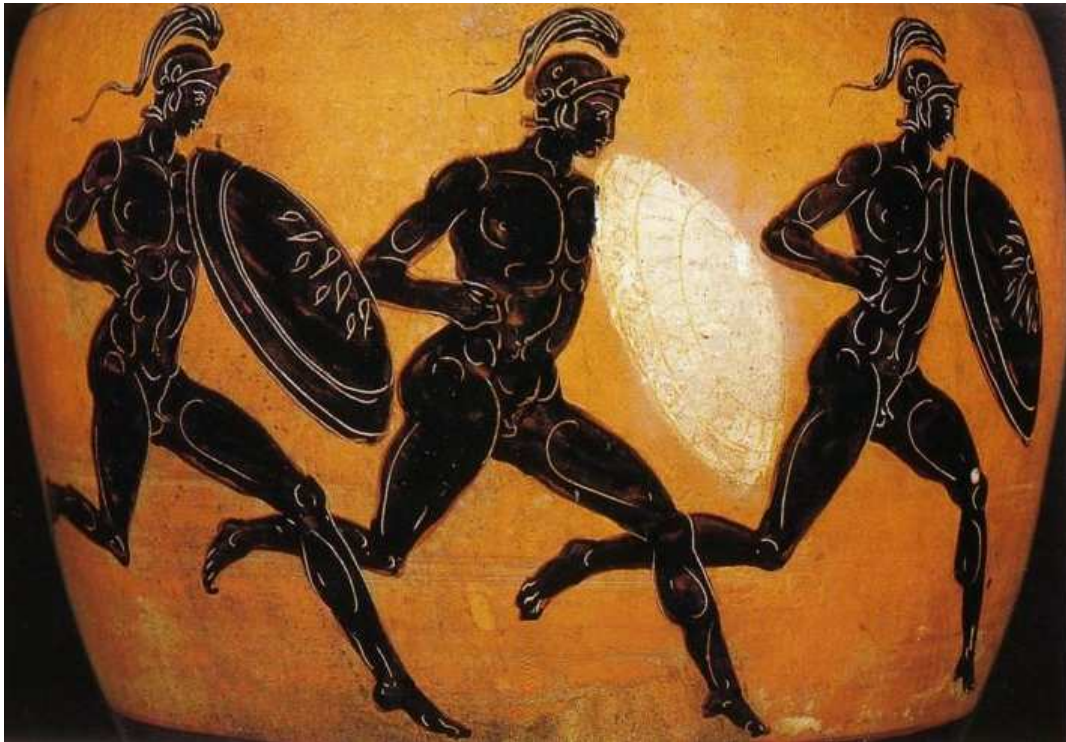
IV- L'Avion - Un défi permanent

V – Conclusion : Quelques interrogations

8



## Marche et Course - Biomécanique



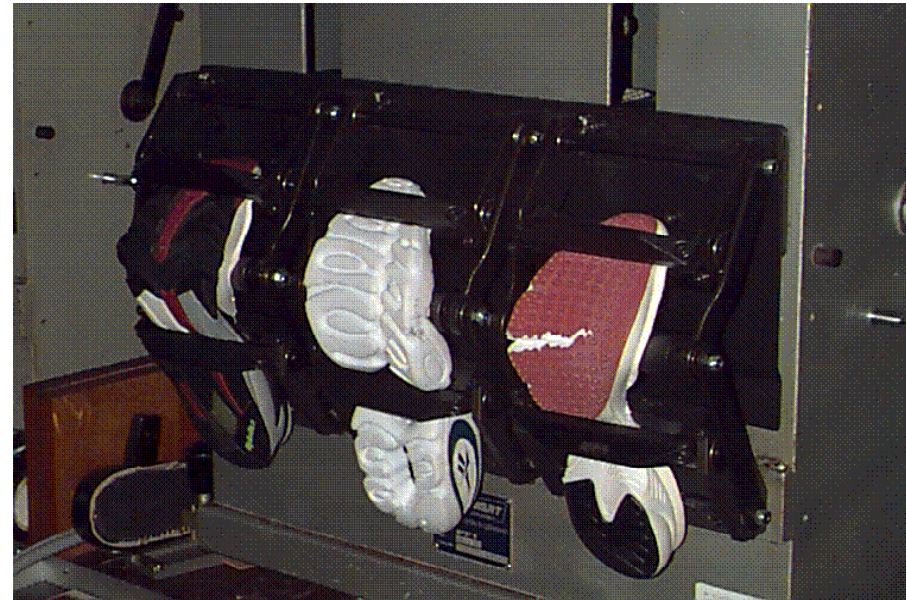
- Aristote – *Action – Réaction*
- Leonard de Vinci
- Newton
- Etienne Jules Marey (1830-1904)  
*Instrumentation – Photographie*
- P.R. Cavanagh : *The mechanics of distance running. Human Kinetics Publishers , 1990 , Chap.1: 1-34*
- *etc.*

# Contexte Industriel : la semelle en élastomère

Thèse Agathe Robisson

## *Aujourd'hui :*

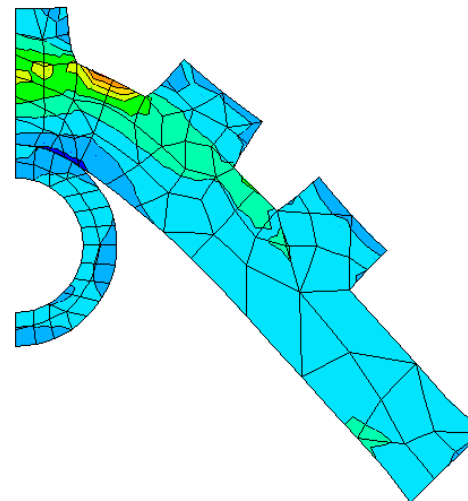
- sélections sur dessins CAO
- construction prototype
- test des prototypes
- fabrication en grande série

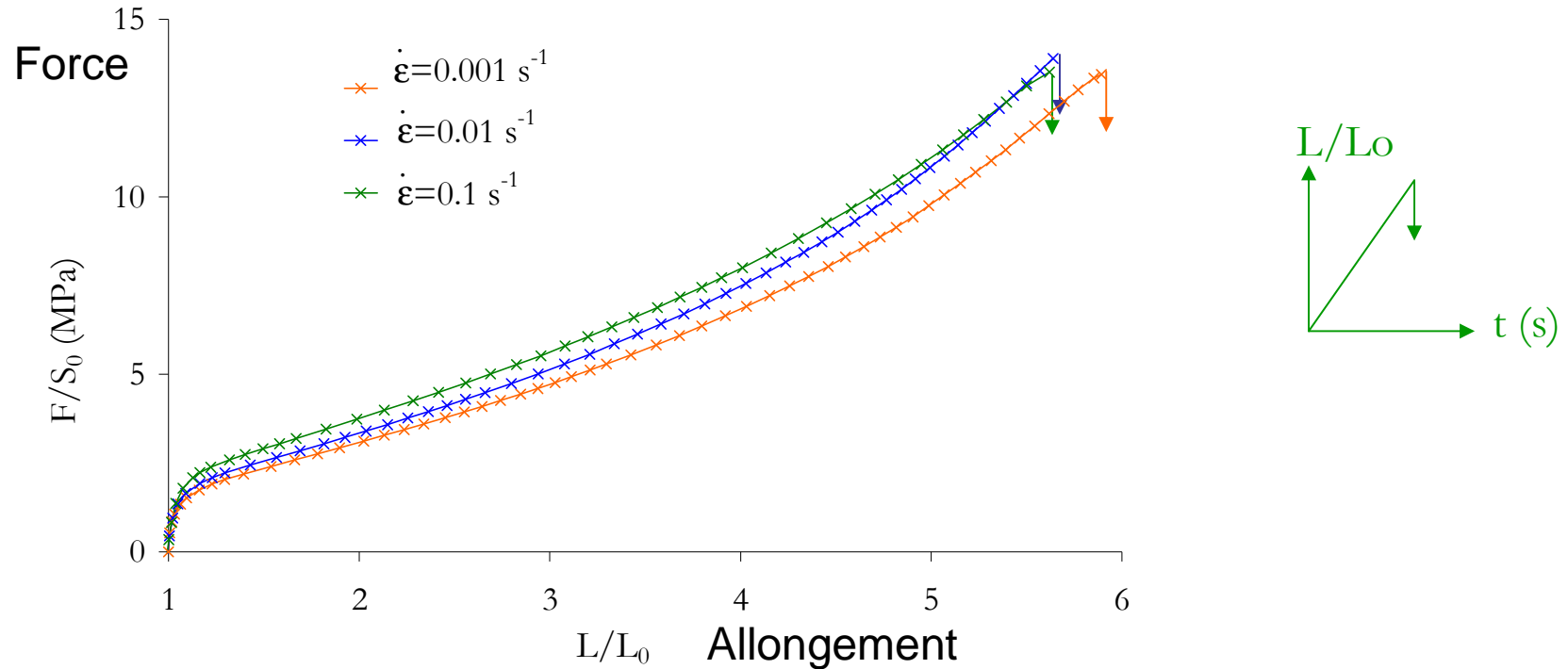


## *Demain :*

- sélections sur dessins CAO
- maillage + calcul EF
- [ • test des prototypes ]
- fabrication en grande série

*Essai de fatigue-flexion : essai Bennewart*



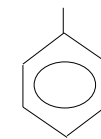


- hyperélasticité – Cristallisation induite
- raideur initiale 100 MPa
- influence vitesse de sollicitation

# Caoutchouc SBR chargé de silice : Microstructure

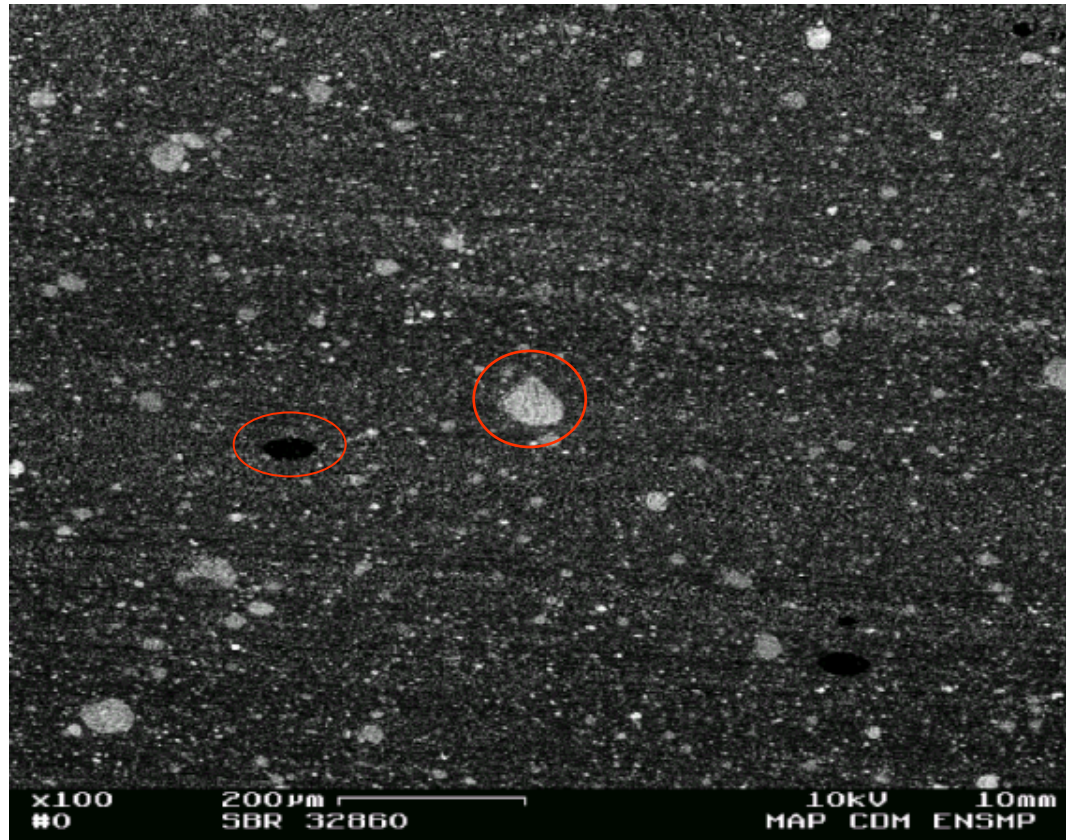
Thèse Agathe Robisson

gomme SBR (Styrène-Butadiène)



$T_g \approx -50^\circ\text{C}$

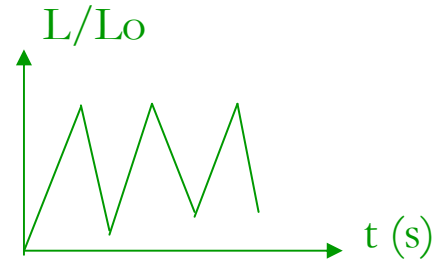
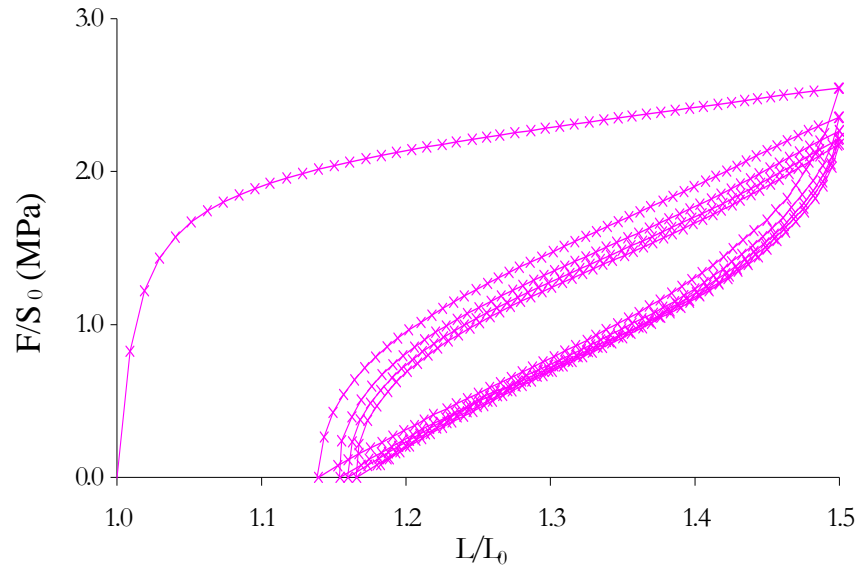
charges : silice  $\text{SiO}_2$   
noir de carbone C



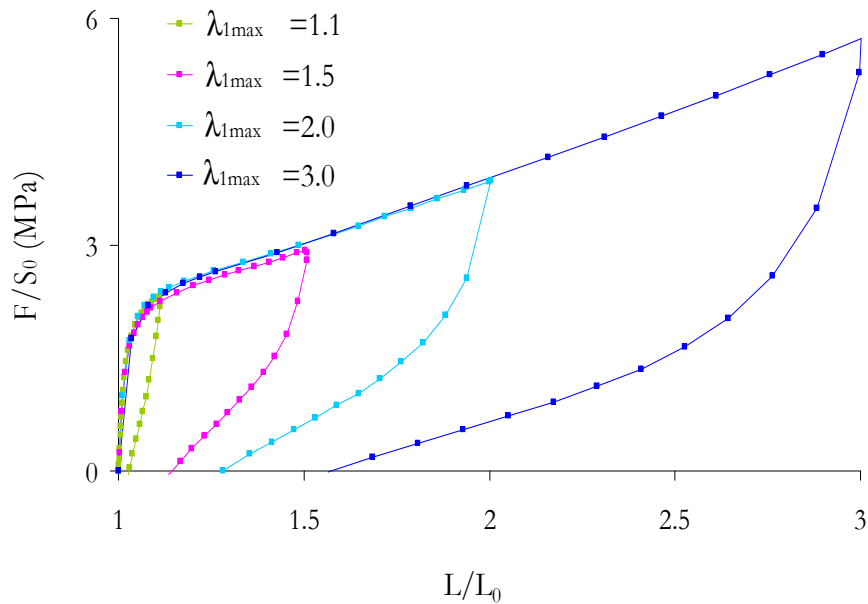
| SBR     | global |    |    |     |     |     |      |      |
|---------|--------|----|----|-----|-----|-----|------|------|
| élément | C      | O  | Si | S   | Zn  | Al  | Mg   | Ca   |
| % poids | 64     | 21 | 12 | 1.6 | 1.3 | 0.6 | 0.03 | 0.03 |

33 % silice

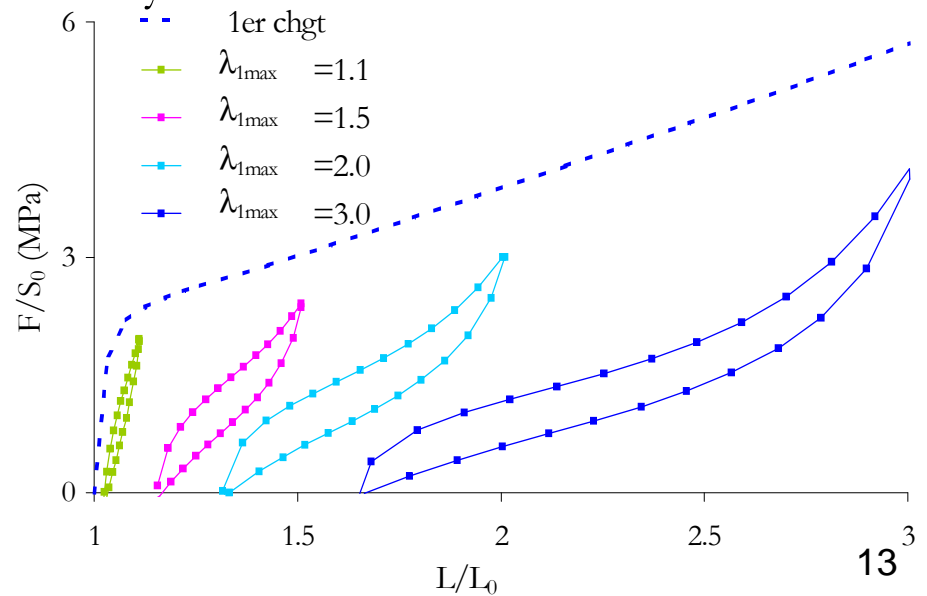
12

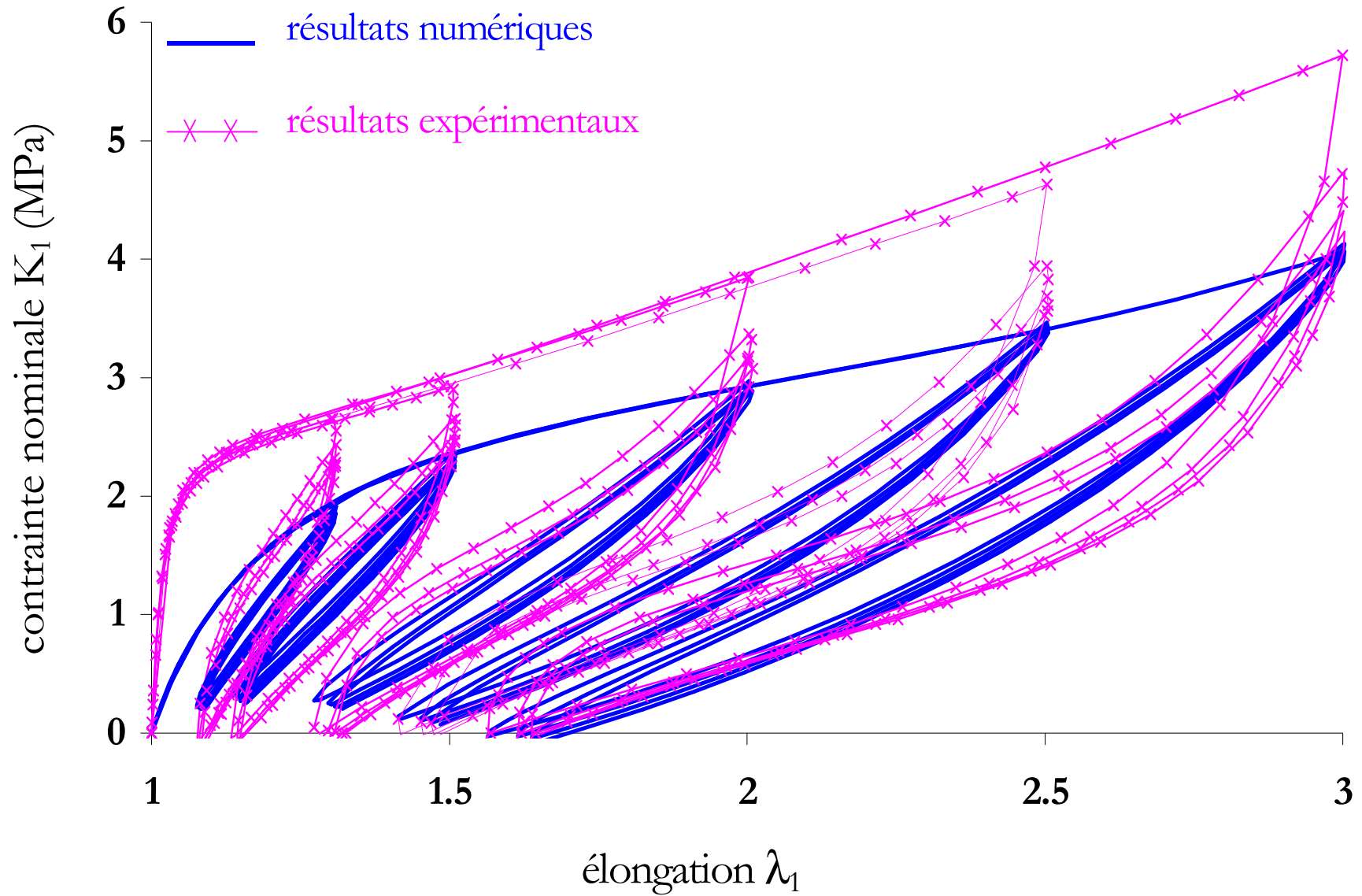


1<sup>ers</sup> cycles des essais



cycles stabilisés



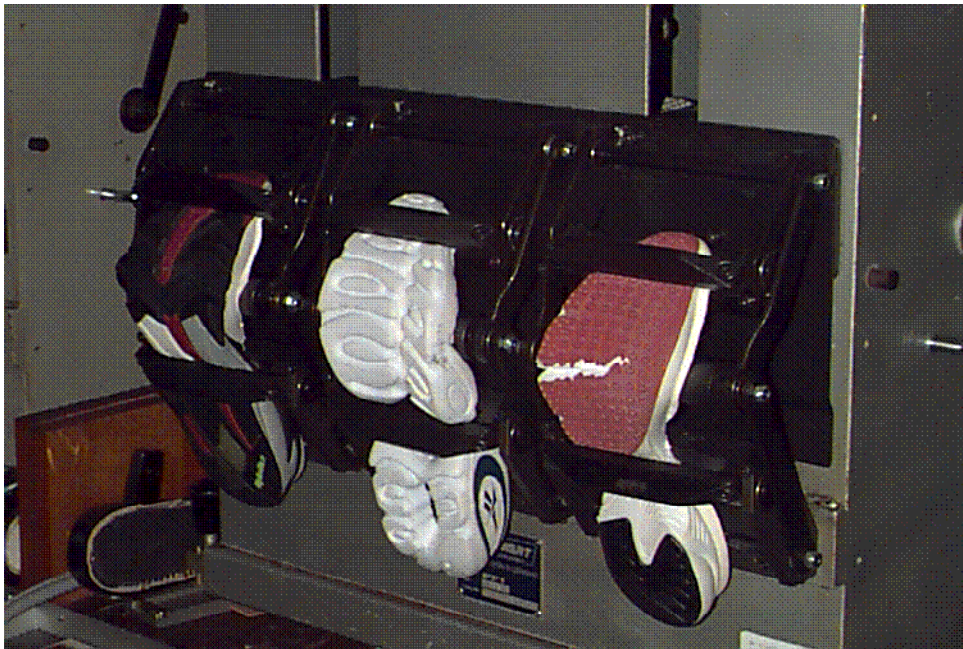


# Comportement en endurance : conditions d'essai

Thèse Agathe Robisson

Objectif : prévoir l'amorçage d'une fissure dans une structure

Détection visuelle d'une fissure de 1 mm



AE40

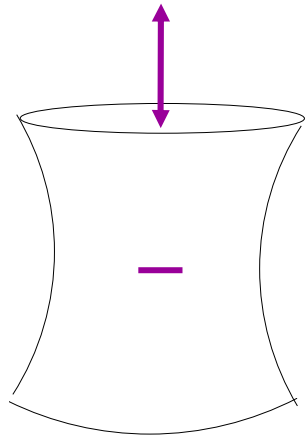


AE2



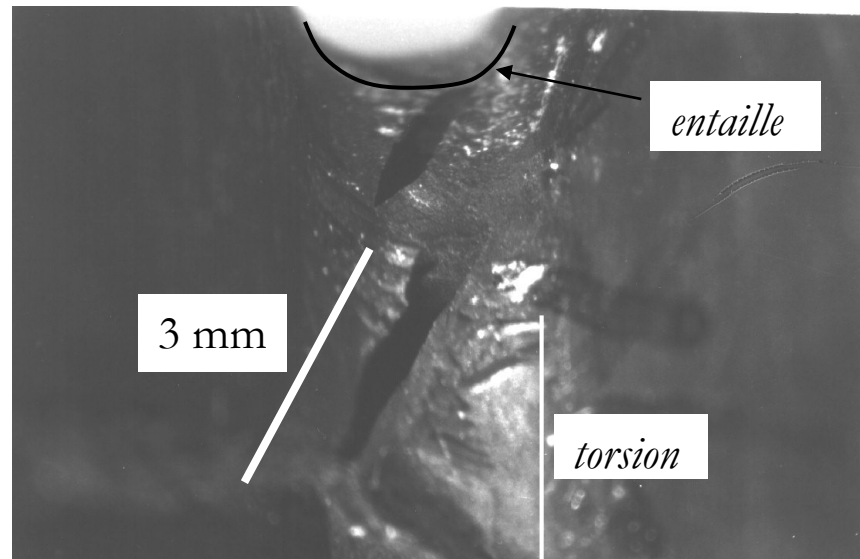
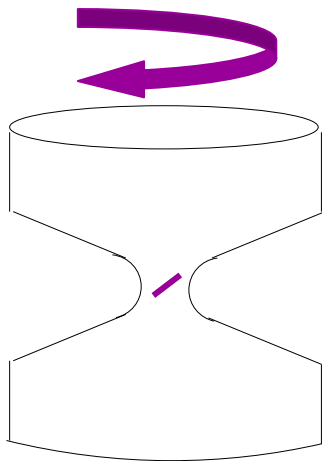
# Endurance : orientation des fissures d'amorçage

Thèse Agathe Robisson



## Critère Amorçage et Propagation de Fissure

fissure amorcée et propagée  $\perp$  déformation principale

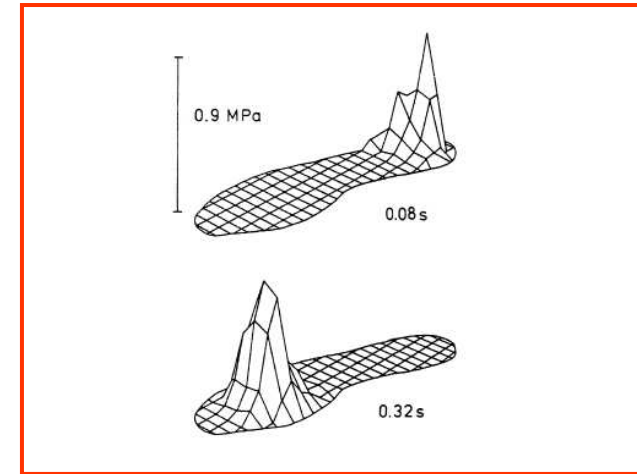
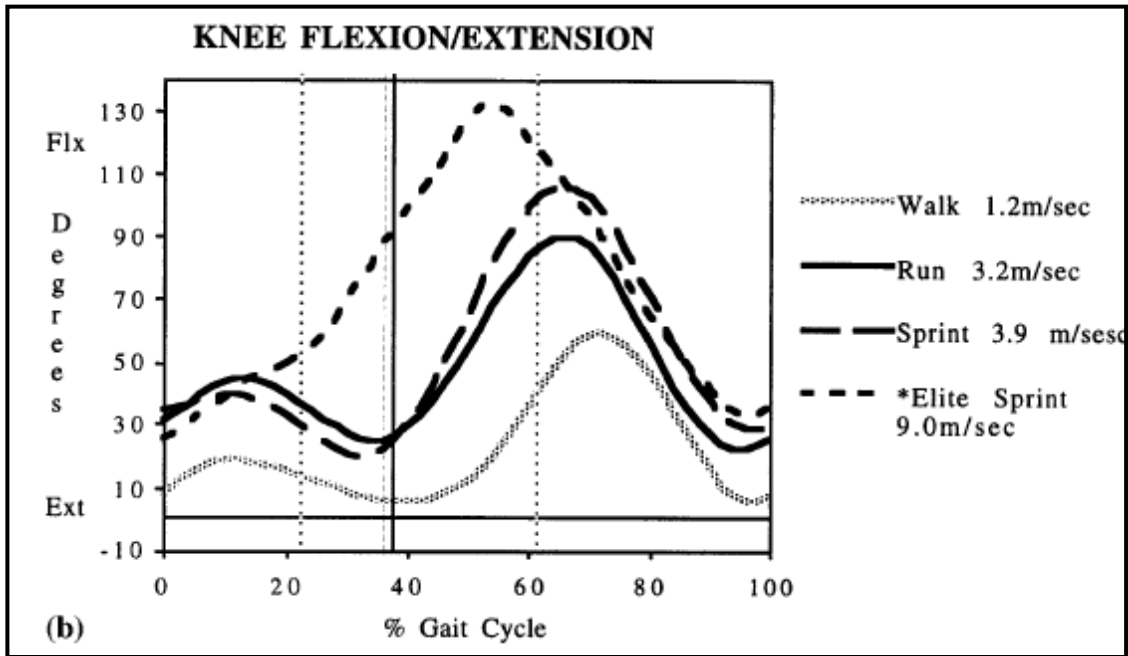




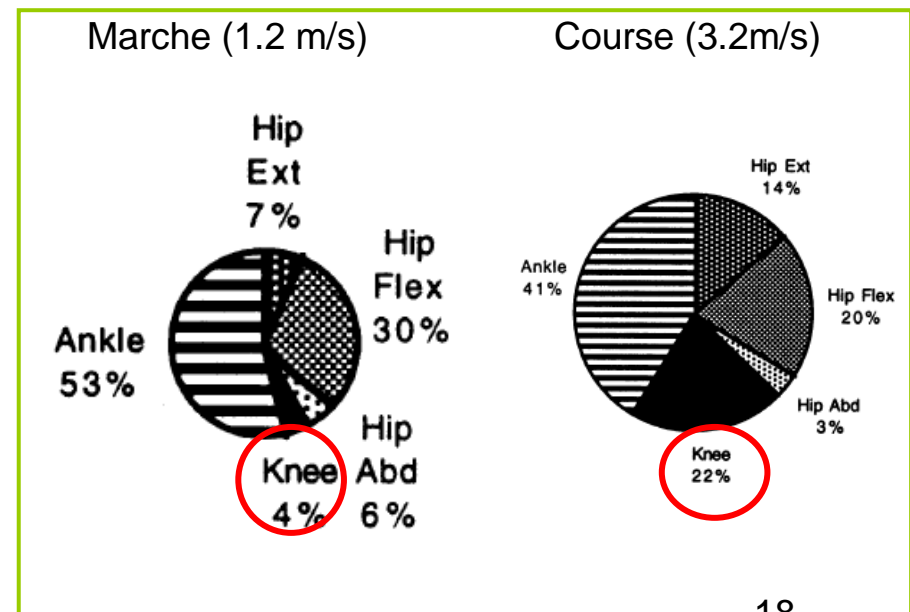
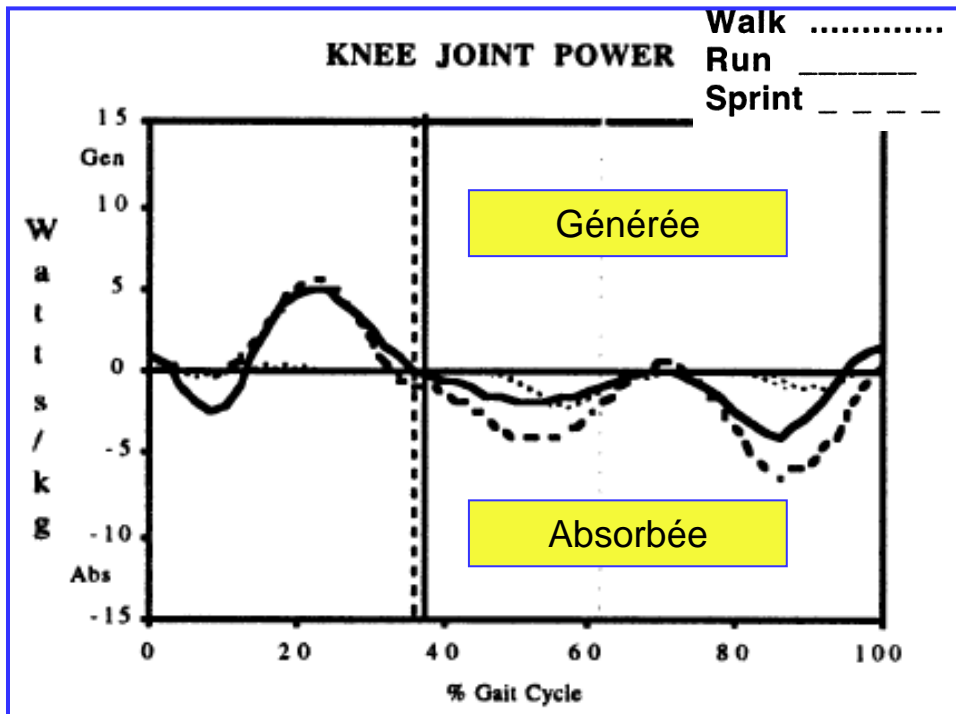


**Fonction primordiale de mobilité mais**  
*articulation peu stable et fragile.*

- muscles et les ligaments peu englobants.
- répercussions des déséquilibres posturaux.

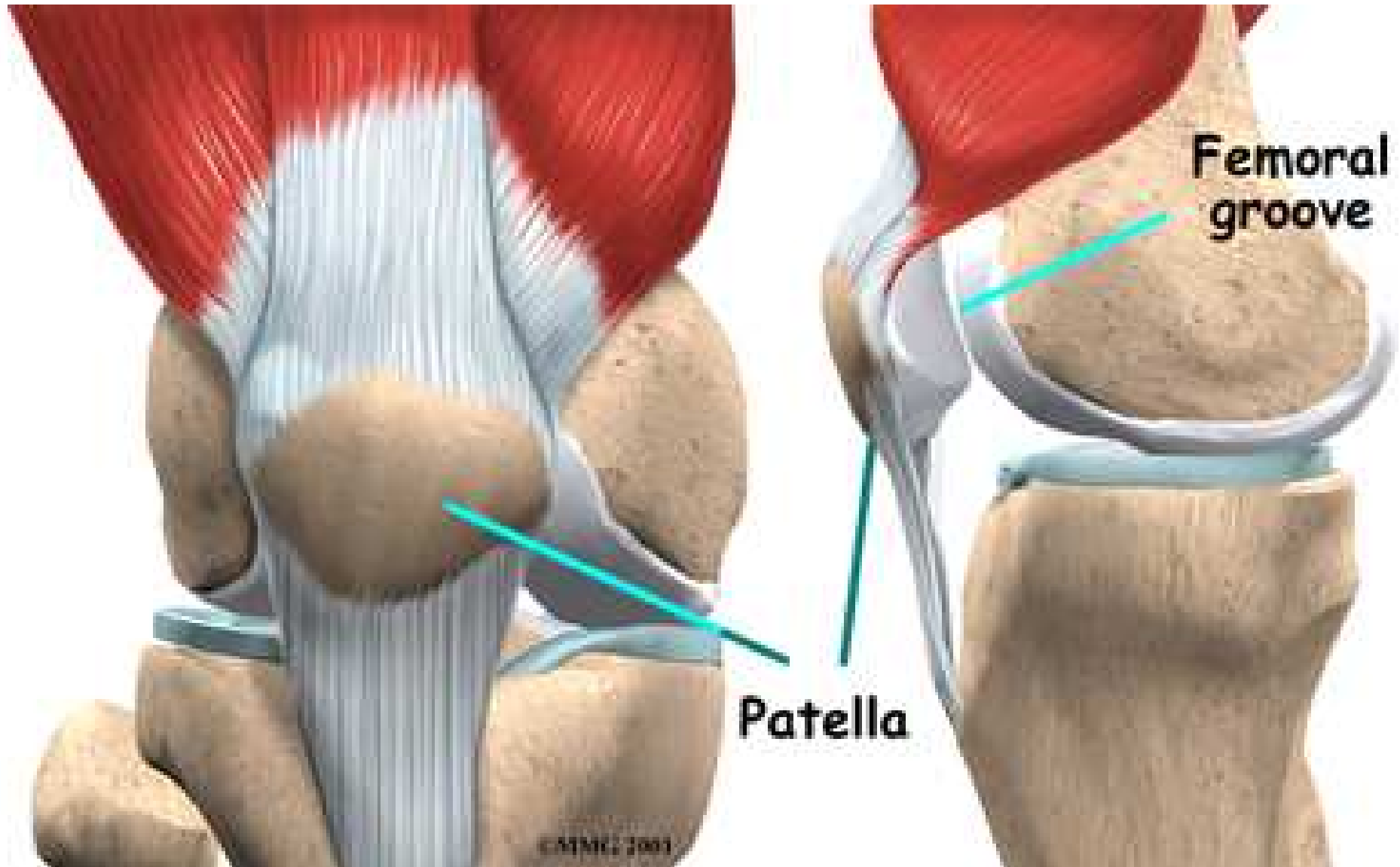


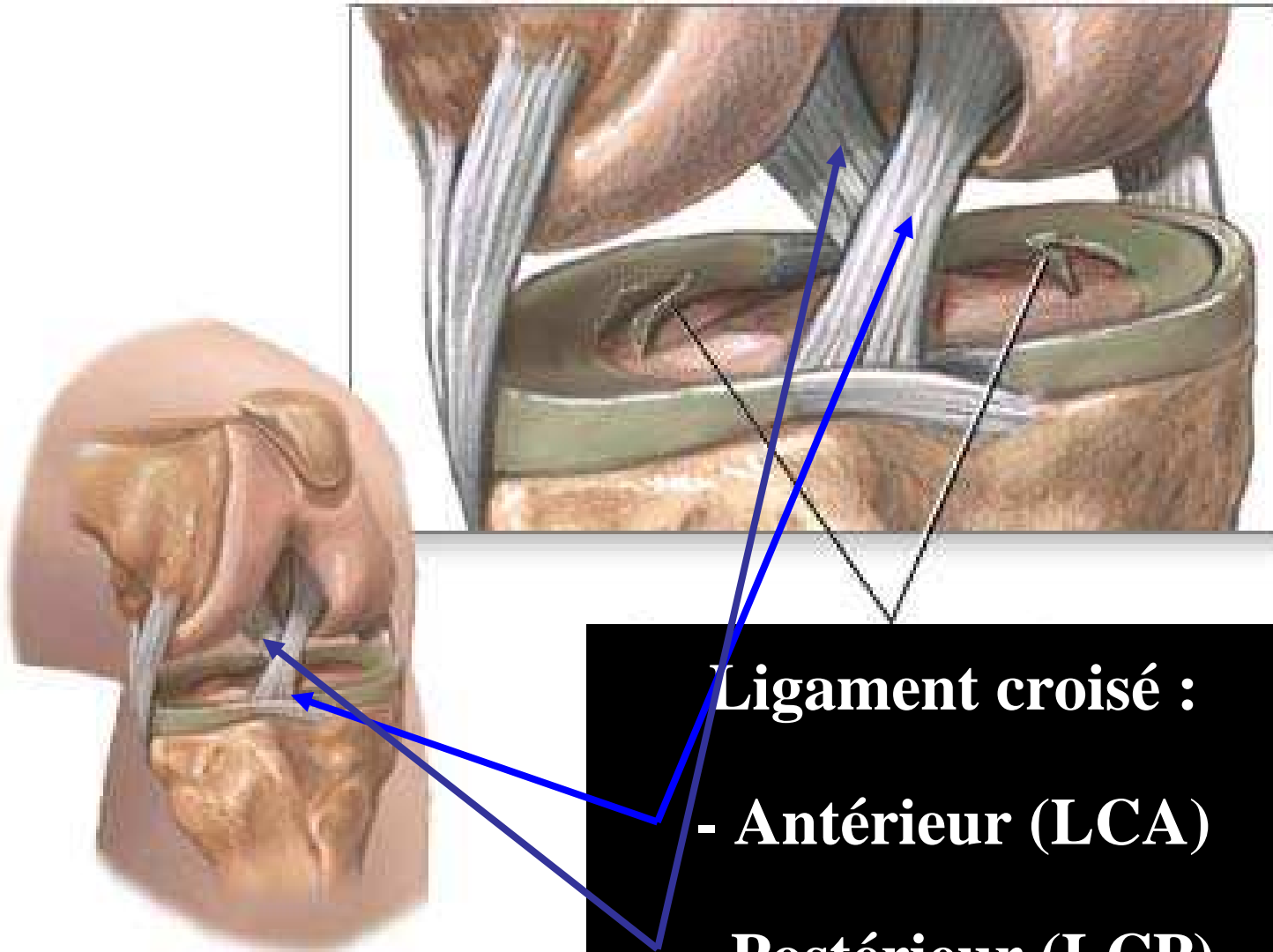
-P.R. Cavanagh, Biomechanics of distance running, Human Kinetics Book Champaign IL, 1990  
 - T.F.Novacheck, Gait and Posture, 7(1998) 77-95



# Patella

Aurélien Pichon





**Ligament croisé :**  
**- Antérieur (LCA)**  
**- Postérieur (LCP)**

# PROJET LIGAGEL

---

Développement d'un ligament artificiel en polymère hydrogel.



Centre des Matériaux  
UMR CNRS 7633

Laurent Corté  
Sabine Cantournet  
Yann Auriac  
Fabrice Detrez (post-doc)

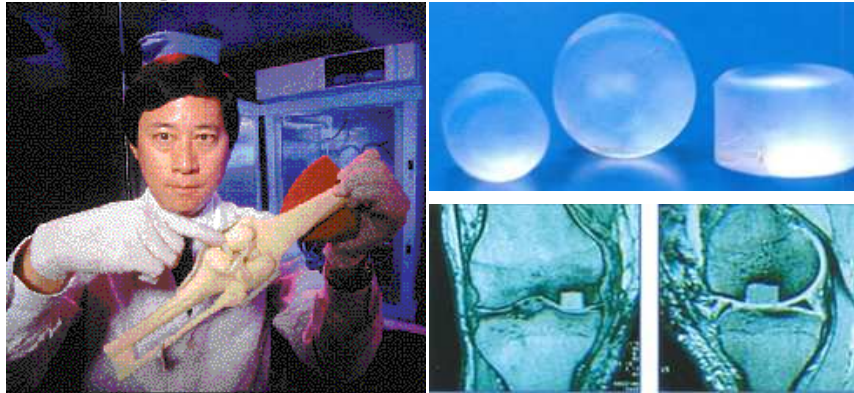


GT Atlanta  
GT Lorraine  
UMI CNRS 2958

Prof. David Ku  
Prof. Mohammed Cherkaoui  
Jason S. Bach (PhD)  
Frances Baxter (post-doc)  
Frank Richter (post-doc)

# Des réalisations cliniques pour la réparation tissulaire

## Cartilage



## Artère



Ku, DN et al. "Poly(vinyl alcohol) hydrogel," U.S. Patent No. 6,231,605, 2001.

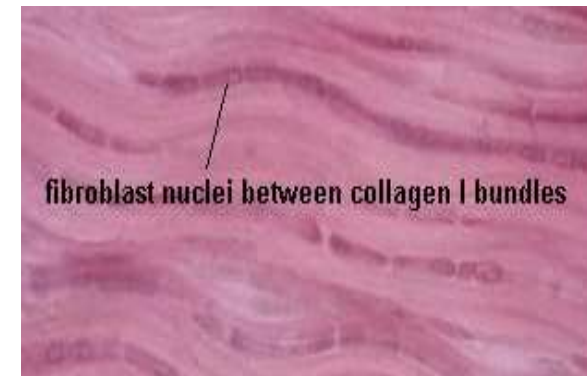
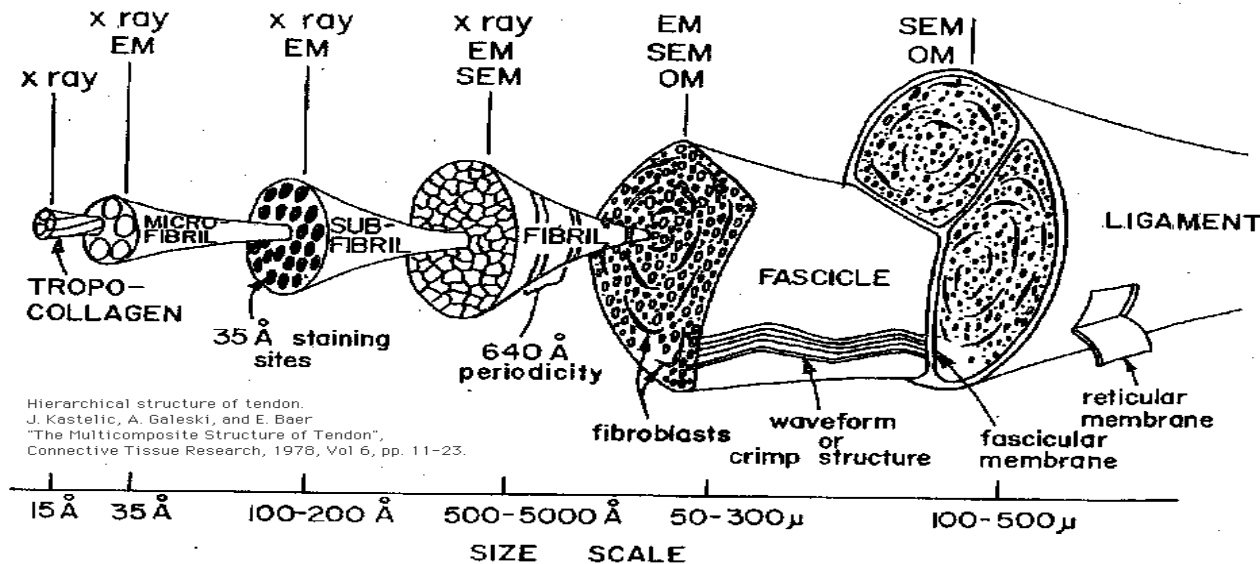
Stammen JA, Ku DN et al. "Mechanical properties of a novel PVA hydrogel in shear and unconfined compression", *Biomaterials*, 22, 2001

Ku DN, Fan JW. "Biomaterial for Soft tissue Replacements", *IEEE Biodevices*, 2008.



- SaluCartilage™
- 2002: Approuvé par Europe et Marque CE
  - 2005: Approuvé par Health Canada
  - 2011: A l'étude par FDA

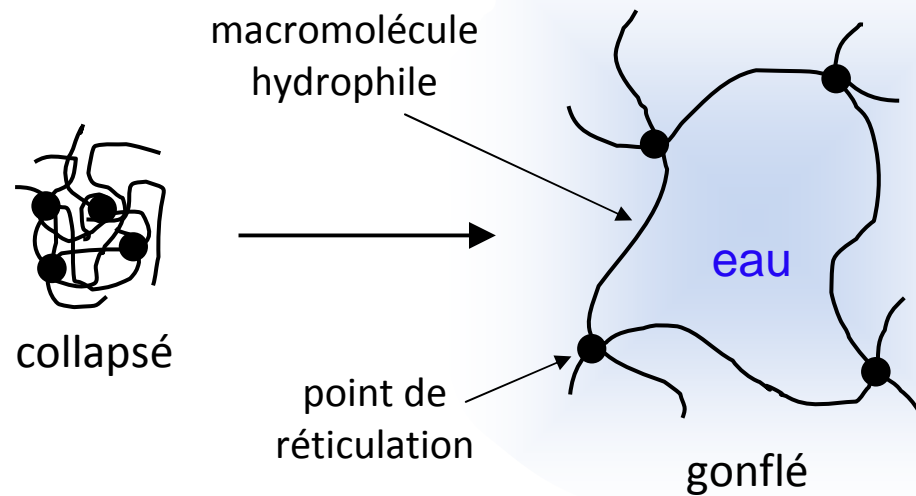
## Le ligament: un tissu fibreux reliant les os.



Cooper, 1998

- Eau (60% du poids)
- Cellules (Fibroblastes)
- Une matrice extracellulaire orientée de fibres de collagène.
  - Collagène : 80-90% du poids sec avec type I (>95%) and III.
  - Autres composants : protéoglycanes...

# Les matériaux hydrogels pour le biomédical.



## Réseau polymère hydrophile

- nature proche des tissus
- biocompatibilité
- fonctionnalisation

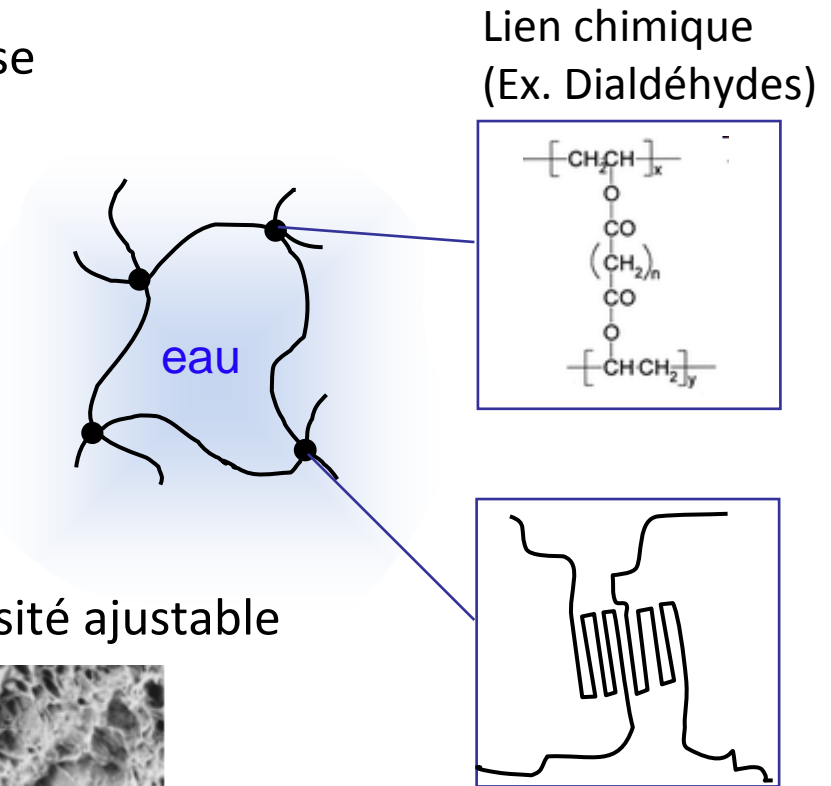
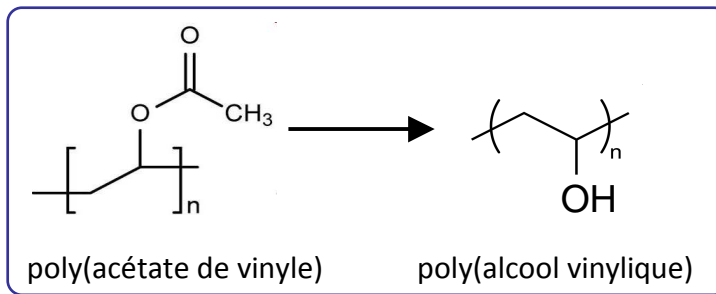




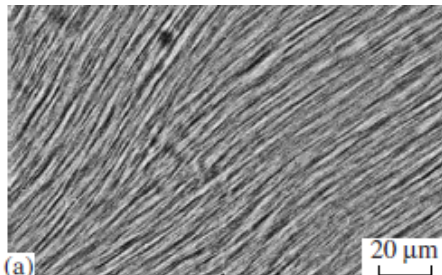
# PVA - Poly(Alcool Vinylique)

- Approuvé ISO et FDA pour de multiples applications médicales
- Une chimie simple et production de masse

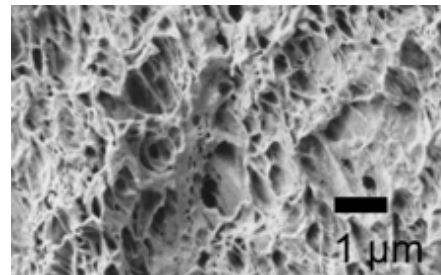
1 million de tonnes/an (2006)  
croissance du marché ~ 2-3%/an



- Un hydrogel physique ou chimique, porosité ajustable



congélation/décongélation



cryogelification

# Une approche biomimétique: Assemblage de fibres de PVA

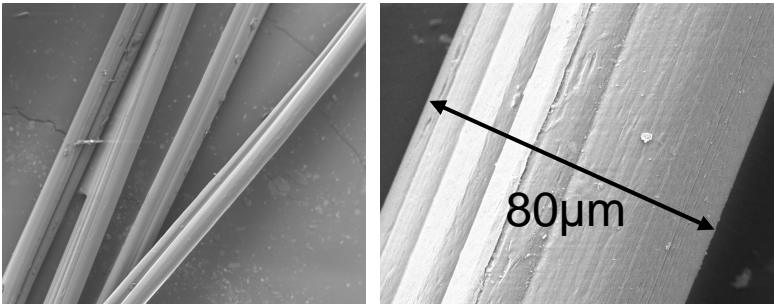


Fibre continue PVA

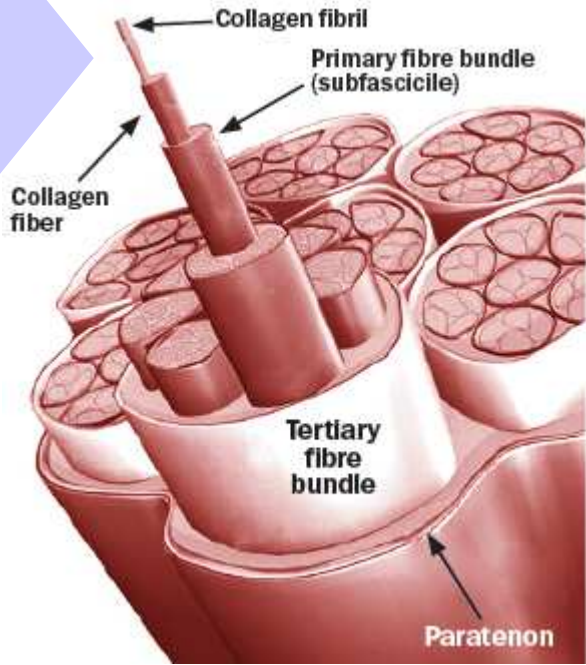
Mimick ligament mechanics with synthetic hydrogel fibers?



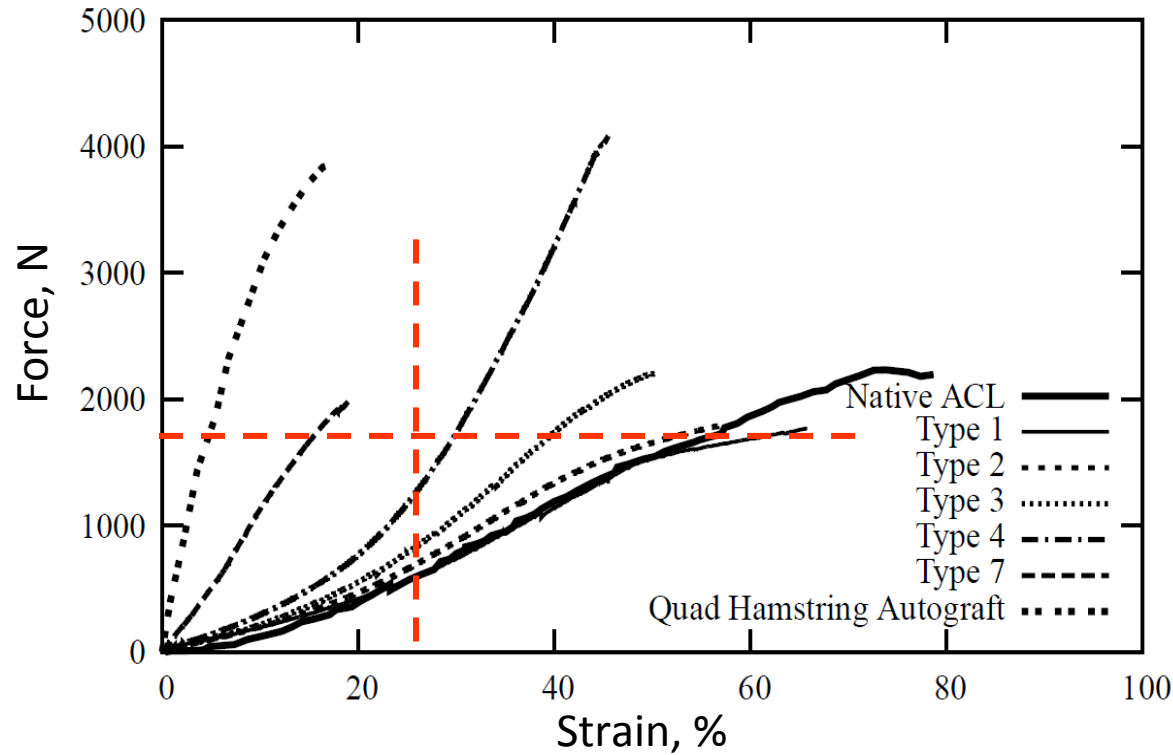
Cooper, 1998



Monofilament (MEB)



# Rigidité et Force à rupture

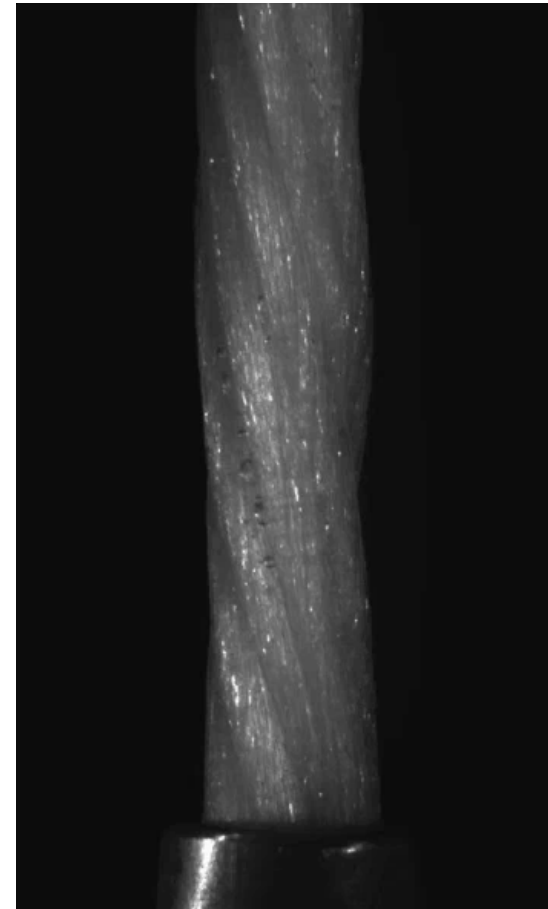
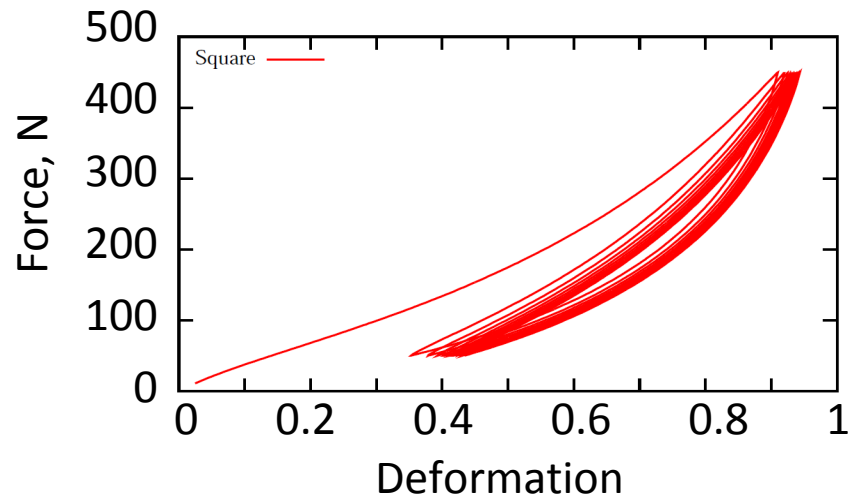
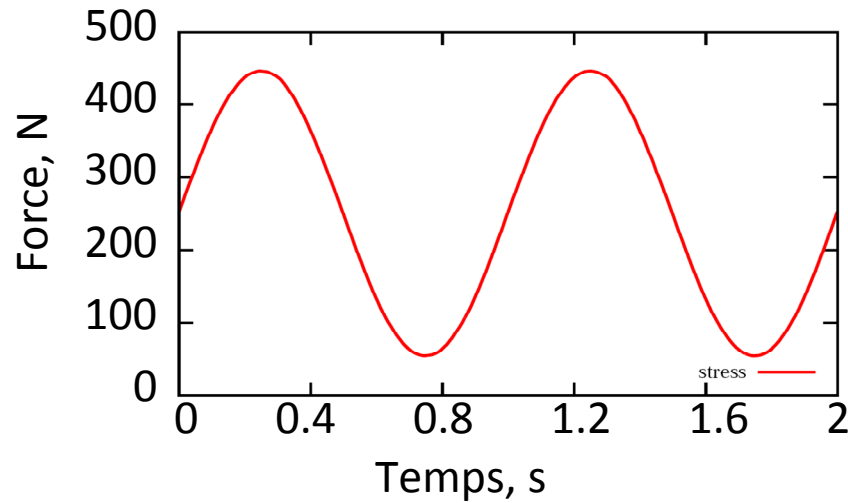


16 strands PVA  
 22 strands PVA  
 21 strands PVA + UHMWPE yarns

| Design Input      | Required Value | Reference | Type 1 | Type 2 | Type 3 |
|-------------------|----------------|-----------|--------|--------|--------|
| Stiffness         | 35-300N/%      | [1-2]     | 40N/%  | 65N/%  | 150N/% |
| Ultimate Load     | > 1750 N       | [1-3]     | 1750N  | 2100N  | 4000N  |
| Toe region strain | < 25%          | [4]       | ~20%   | ~20%   | ~20%   |

# Résistance à la fatigue

Pilotage en force: 50-450N, 1Hz, milieu aqueux.



Dernier résultat (en cours):  
Prototype PVA+Dacron  $N > 3.10^6$  cycles  
 $\Delta\varepsilon < 10\%$

# MUSCLE CARDIAQUE ET CIRCULATION SANGUINE

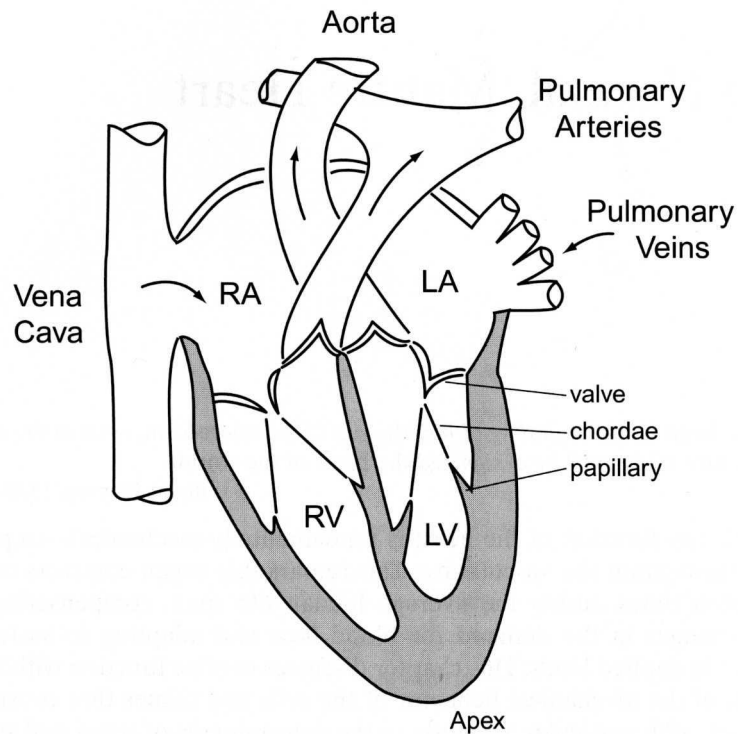


FIGURE 10.1. Schema of the four chambers of the heart: the right atrium (RA), left atrium (LA), right ventricle (RV), and the left ventricle (LV). These chambers connect to the vasculature via the vena cava, pulmonary veins, pulmonary arteries, and aorta, respectively. Moreover, flow from the ventricles is maintained unidirectional by one-way valves, the pulmonary and aortic valves.

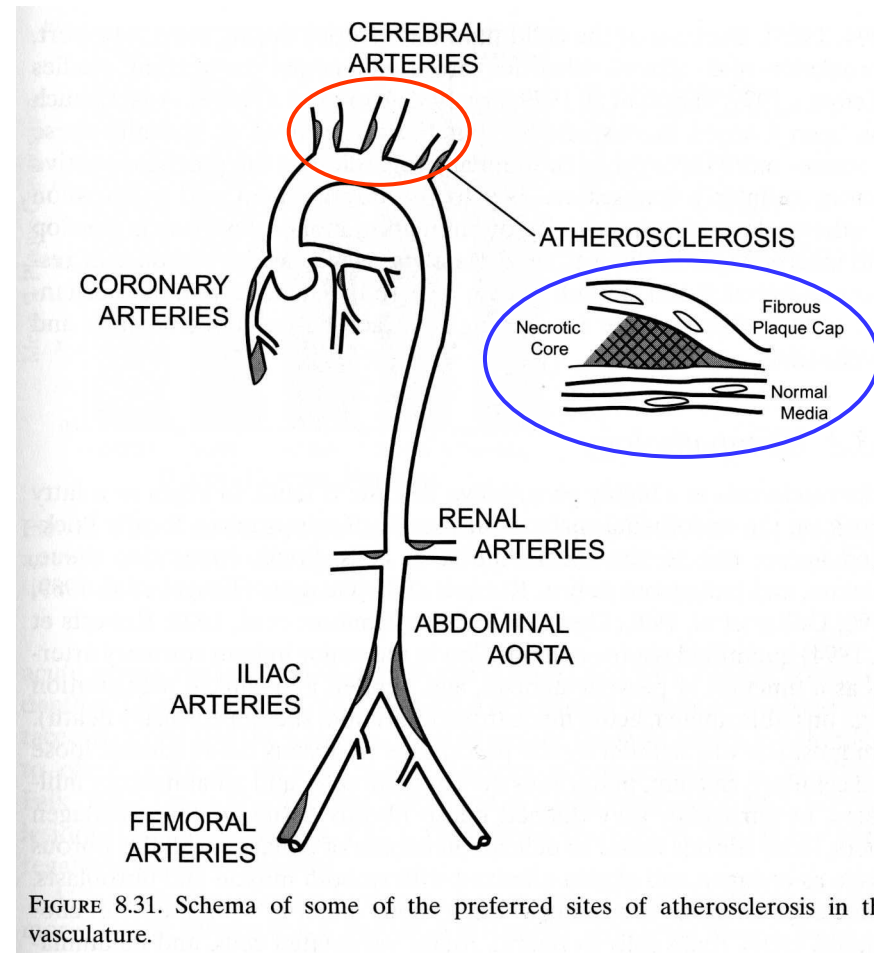


FIGURE 8.31. Schema of some of the preferred sites of atherosclerosis in the vasculature.

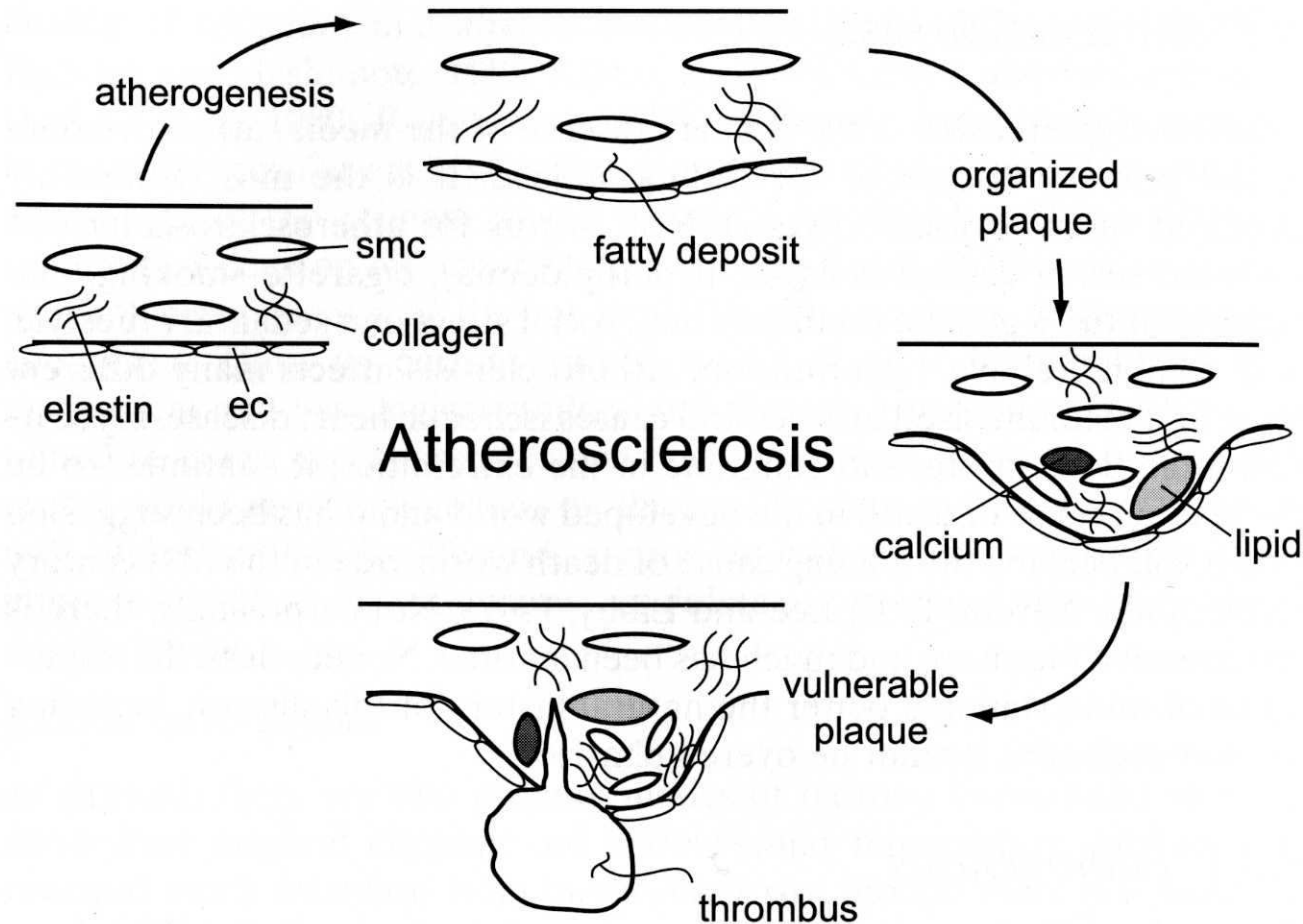
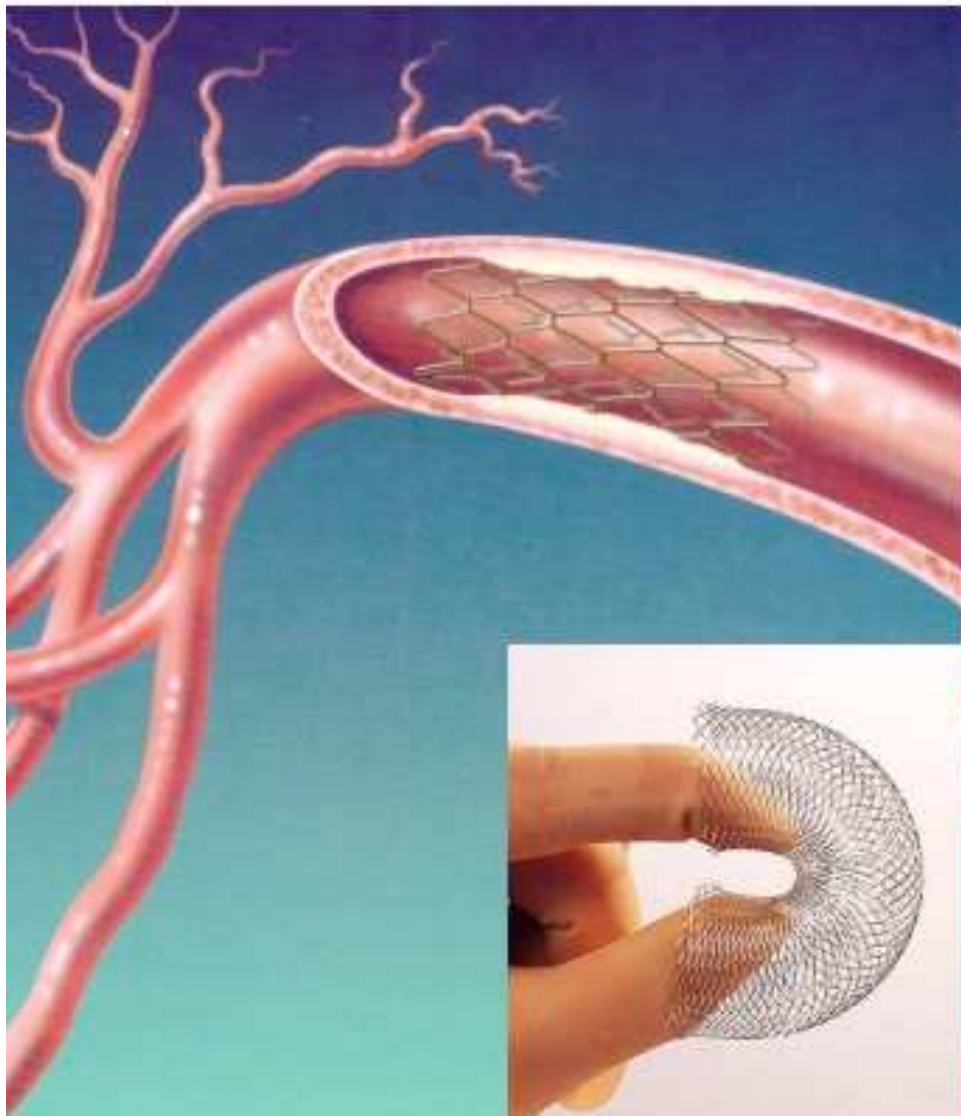
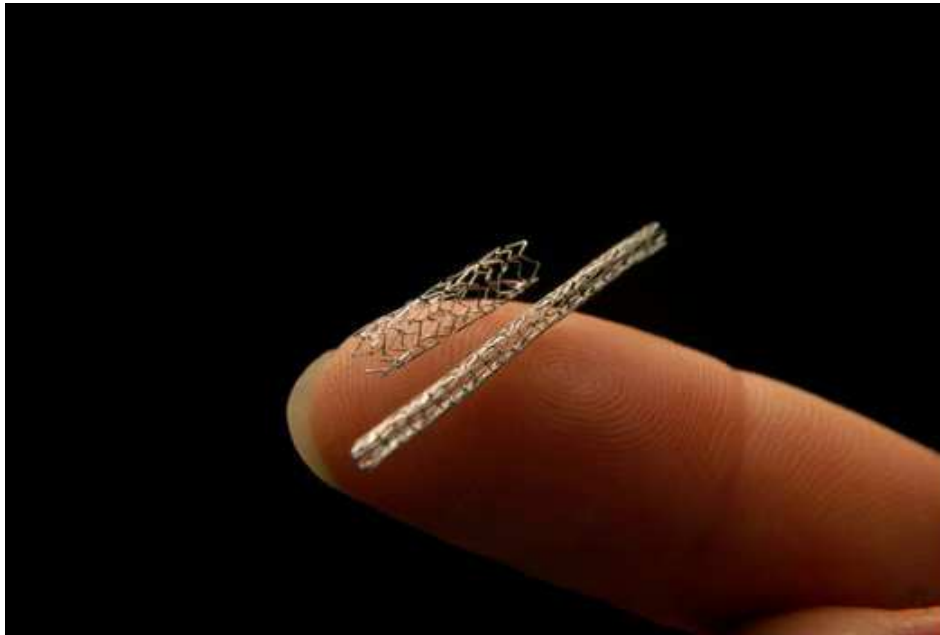


FIGURE 8.30. Schema of the atherosclerotic process, potentially leading from a fatty streak to a vulnerable lesion that ruptures and thromboses. ec, endothelial cell; smc, smooth muscle cell.



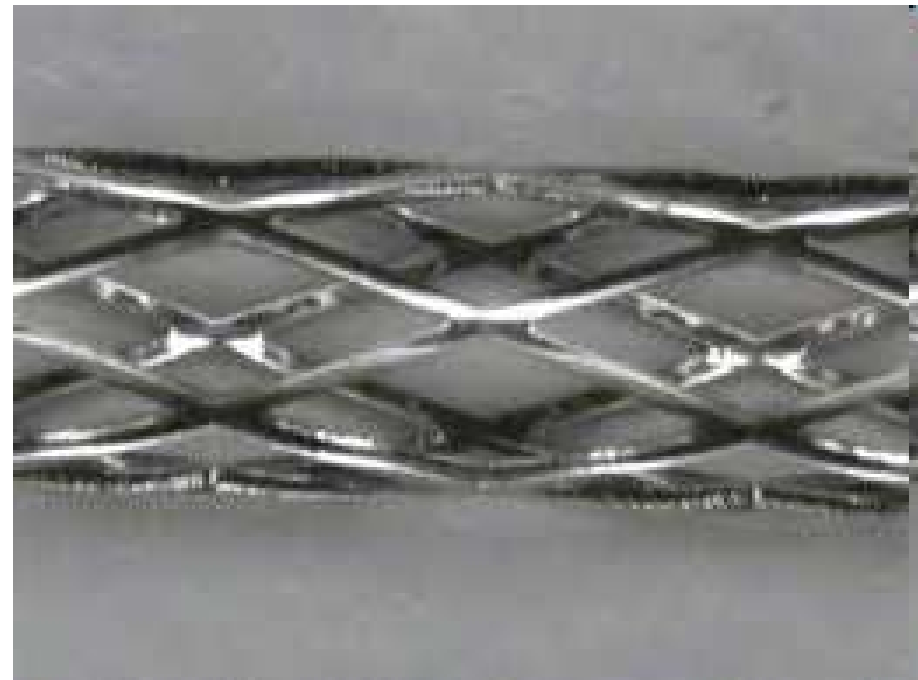
Alliage à Mémoire de Forme  
Pour Stents





Alliage à Mémoire de Forme  
Pour Stents

Composition : 50% Ni – 50% Ti



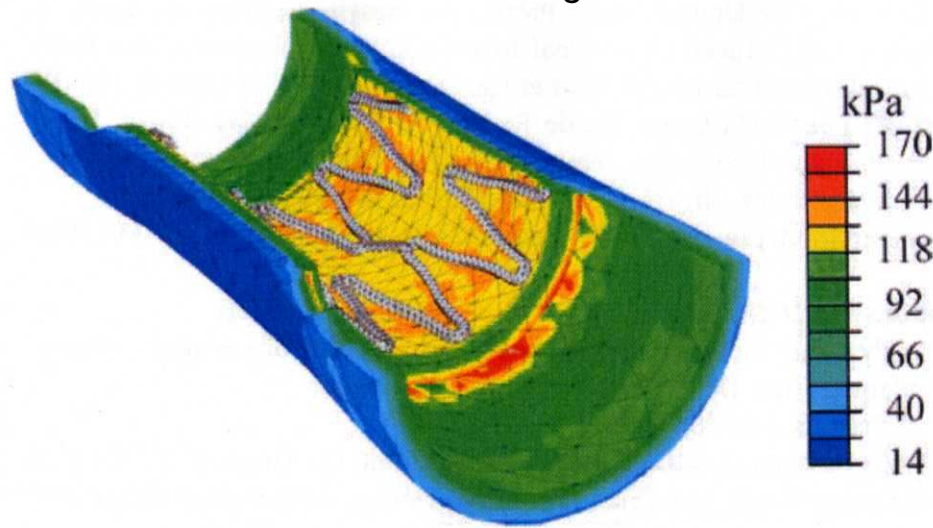


Fig. 12. Von Mises stresses distribution induced on the vessel by the self-expansion of the SciMED Radius SMA stent



Fig. 10. Von Mises stress maps with an expanded internal vessel diameter of 3.2 mm for the self-expandable SMA stent (top) and the SS stent (bottom)

# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – Le Sport – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents

III- L'Automobile – **La caisse en blanc** : sécurité – **L'échappement** : environnement

IV- L'Avion - Un défi permanent

V – Conclusion : Quelques interrogations

35



Fardier à vapeur (1769)

Nicolas-Joseph Cugnot (1725- 1804)

Void - Vacon (Meuse)

Carte grise des camions jusqu'en 2005



## COMPARAISON DES PROPRIETES DE DIVERS MATERIAUX

|                 | <b>Materials</b>                   | <b><math>\rho</math> Kg.m<sup>-3</sup></b> | <b>E GPa</b> | <b>YS MPa</b>      |
|-----------------|------------------------------------|--|--------------|--------------------|
| <b>Metals</b>   | <b>Mg</b>                          | <b>1.7</b>                                 | <b>45</b>    | <b>70 - 270</b>    |
|                 | <b>Al</b>                          | <b>2.7</b>                                 | <b>70</b>    | <b>25 - 600</b>    |
|                 | <b>Ti</b>                          | <b>4.5</b>                                 | <b>120</b>   | <b>170 - 1 300</b> |
|                 | <b>Fe</b>                          | <b>7.8</b>                                 | <b>210</b>   | <b>200 - 2 000</b> |
| <b>Polymers</b> | <b>PP</b>                          | <b>0.9</b>                                 | <b>0.9</b>   | <b>20 - 35</b>     |
|                 | <b>PA</b>                          | <b>1.1</b>                                 | <b>2 - 4</b> | <b>50 - 90</b>     |
|                 | <b>PC</b>                          | <b>1.2</b>                                 | <b>2.6</b>   | <b>50</b>          |
| <b>Ceramics</b> | <b>Si O<sub>2</sub></b>            | <b>2.6</b>                                 | <b>94</b>    | <b>7 200</b>       |
|                 | <b>SiC</b>                         | <b>2.5 - 3.2</b>                           | <b>450</b>   | <b>10 000</b>      |
|                 | <b>Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub></b> | <b>3.2</b>                                 | <b>350</b>   | <b>8 000</b>       |

## Caractéristiques Mécaniques des Matériaux Utilisés pour la Caisse en Blanc

|                           | Modulus E<br>(daN/mm <sup>2</sup> ) | Density ρ<br>(Kg/dm <sup>3</sup> ) | E/ρ*              | E/ρ <sup>3</sup> ** |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Steel</b>              | <b>20 000</b>                       | <b>7.8</b>                         | <b>2560</b>       | <b>42</b>           |
| <b>Aluminium</b>          | <b>7 000</b>                        | <b>2.7</b>                         | <b>2 590</b>      | <b>355</b>          |
| <b>Composites<br/>SMC</b> | <b>1 000<br/>to<br/>1 400</b>       | <b>1.5 to 1.7</b>                  | <b>670 to 820</b> | <b>300 to 285</b>   |

\***E/ρ** : Valeur utilisée pour le calcul des tubes en torsion

Acier ~ Aluminium >> Composites

Mise en forme Aluminium >> autres métaux

\*\***E/ρ<sup>3</sup>** : Valeur utilisée pour le calcul des panneaux en flexion

Composites ~ Aluminium >> Acier

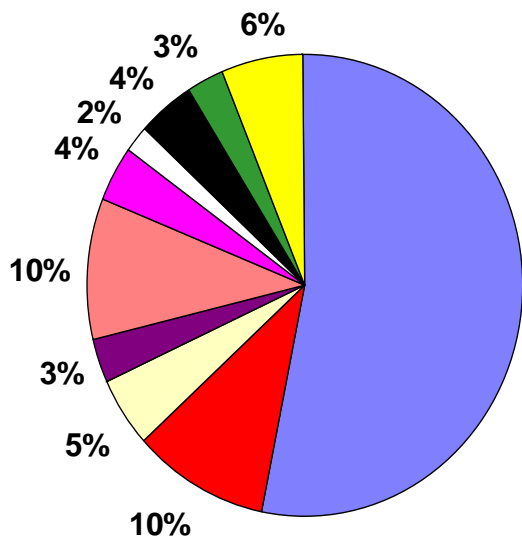
Mise en forme Composites >> autres métaux

# MATERIAUX DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

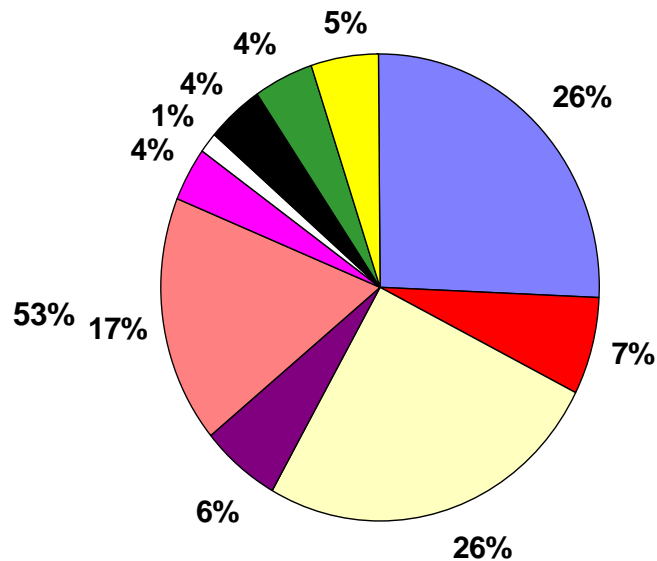
- Hyperchoix de Matériaux
- Evolution du Produit Automobile
- Conséquences pour le Choix des Matériaux
- Futur des Matériaux

# REPARTITION et EVOLUTION des MATERIAUX

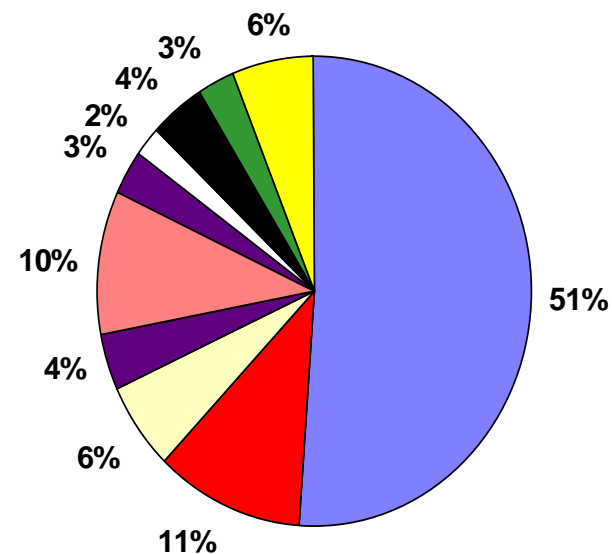
CLIO 2 : 1006 Kg



AUDI A2 : 965 Kg



MEGANE : 1125 KG



Steels



Others metals and fasteners



Rubber



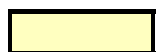
Cast iron



Thermoplastics



Glass



Aluminium



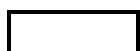
Textile fibers



Fluids



Magnésium

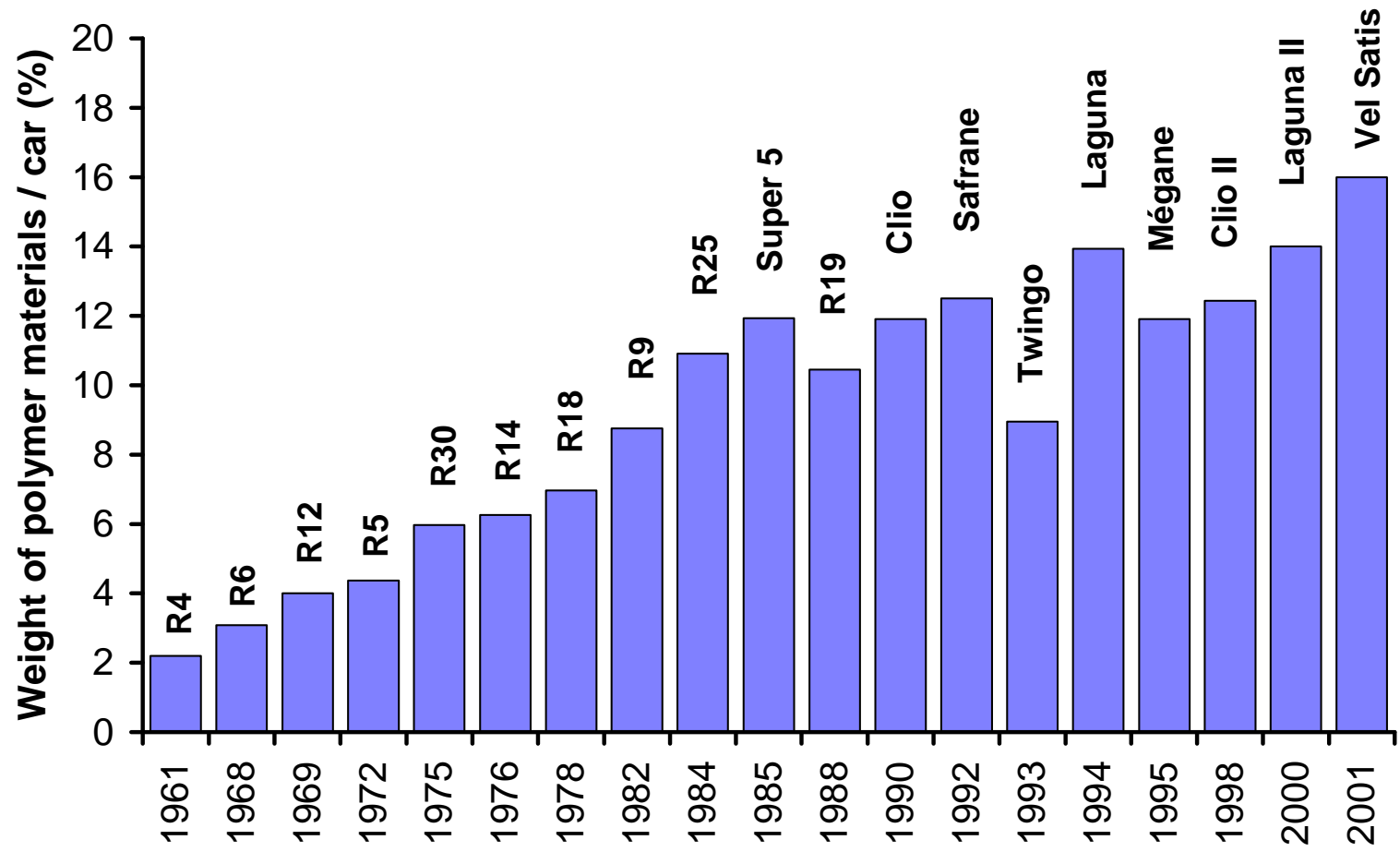


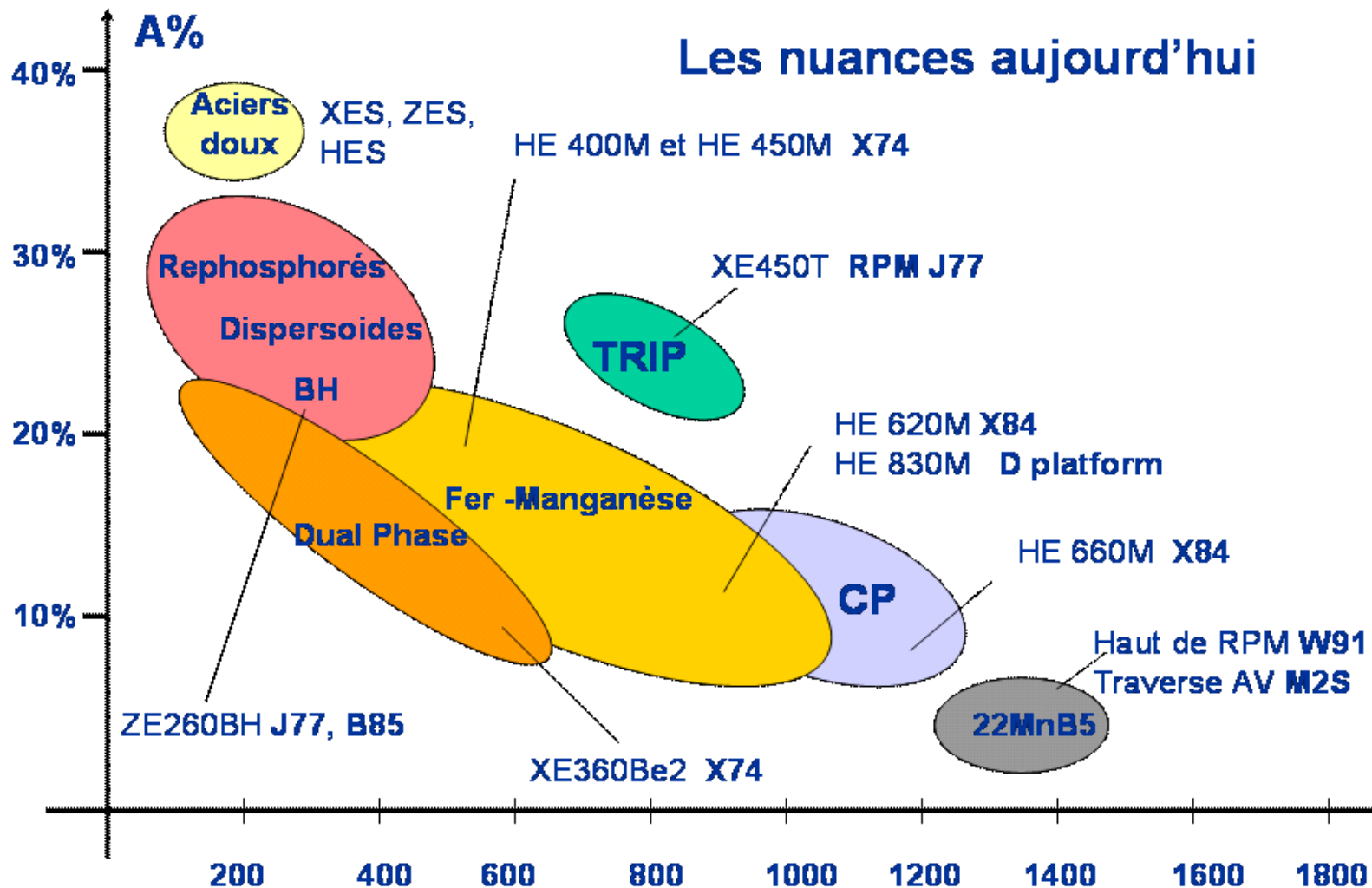
Damping layers

40



# EVOLUTION de la PART des POLYMERES dans les VOITURES RENAULT

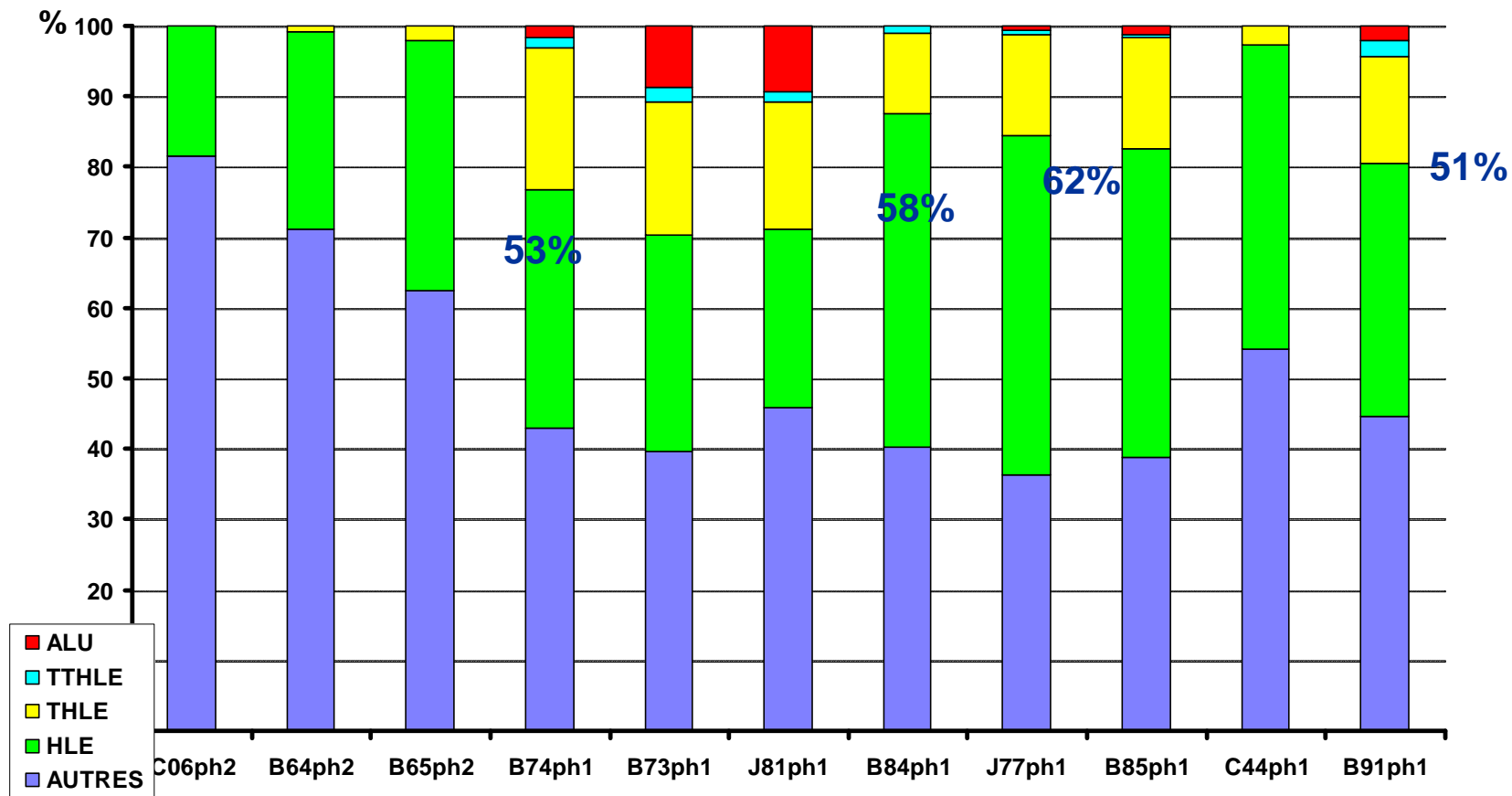




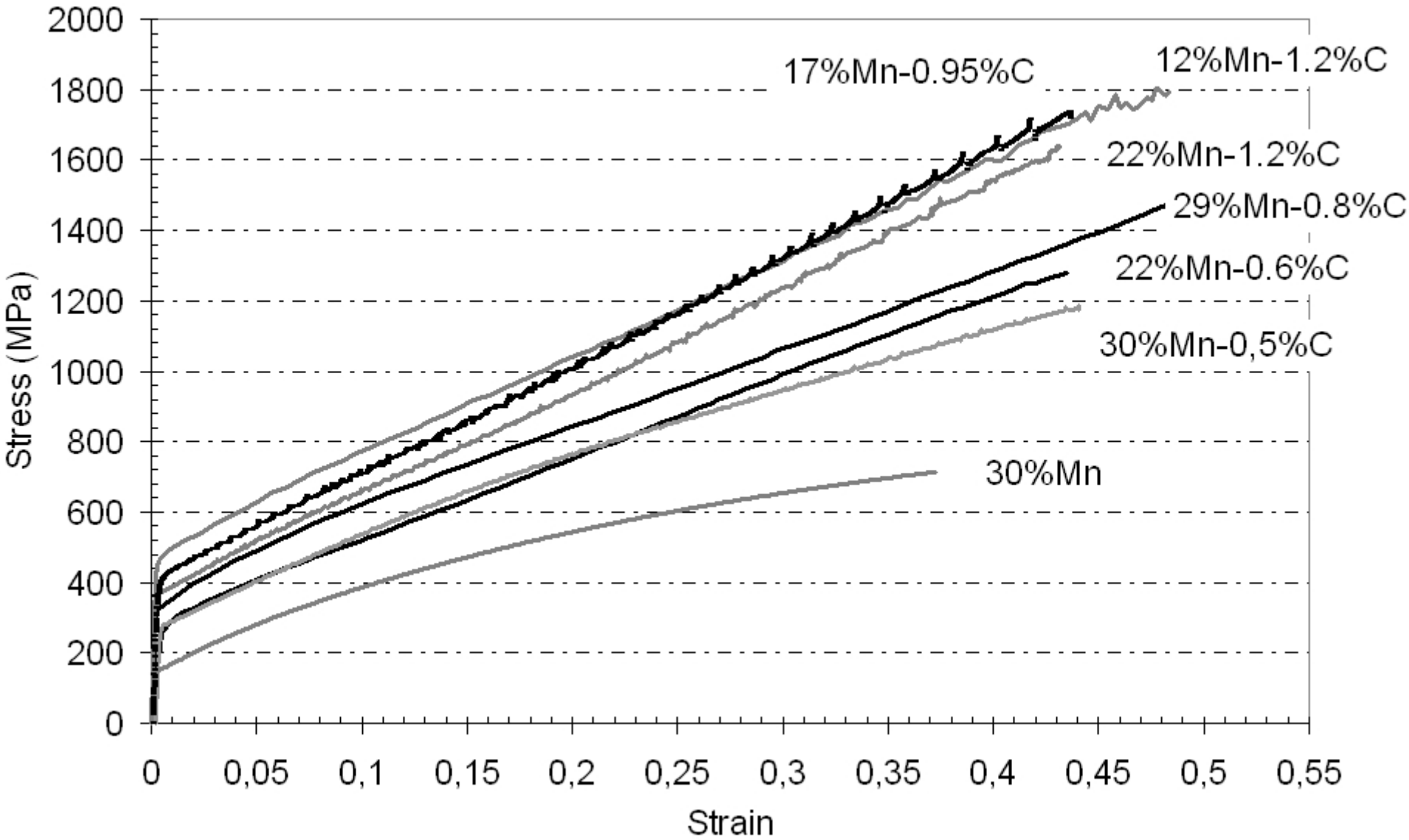
# Evolution THLE

## Répartition HLE / THLE / TTHLE sur la gamme Renault

Répartition des Nuances par Masse Finie



ACIERS TWIP – Fe – Mn- C

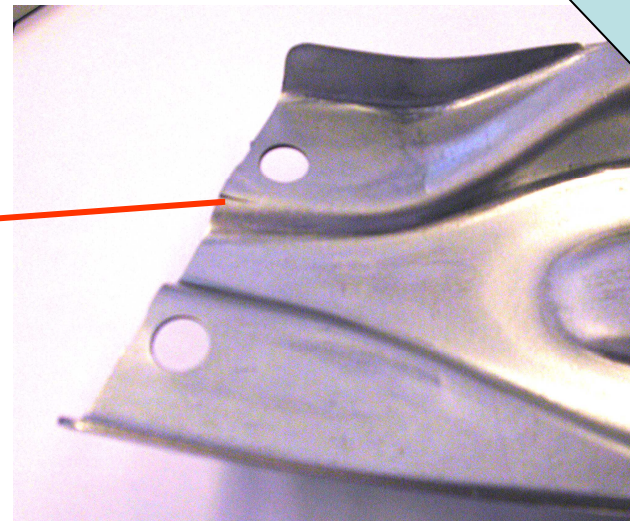
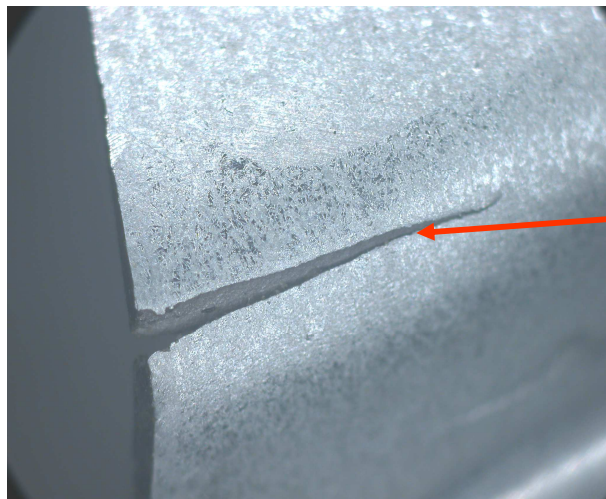
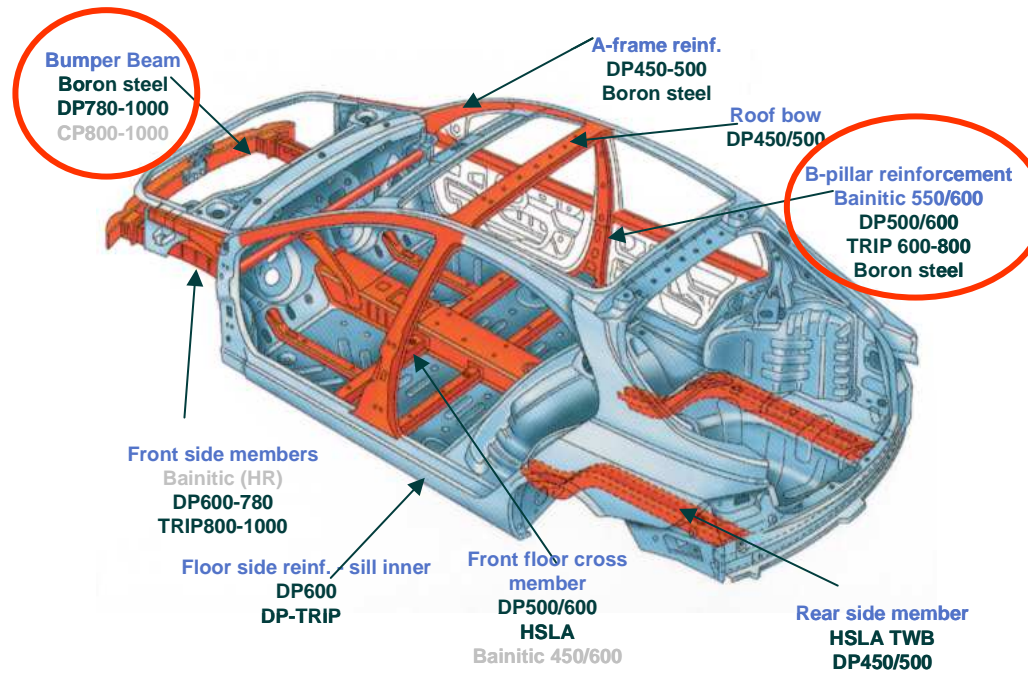


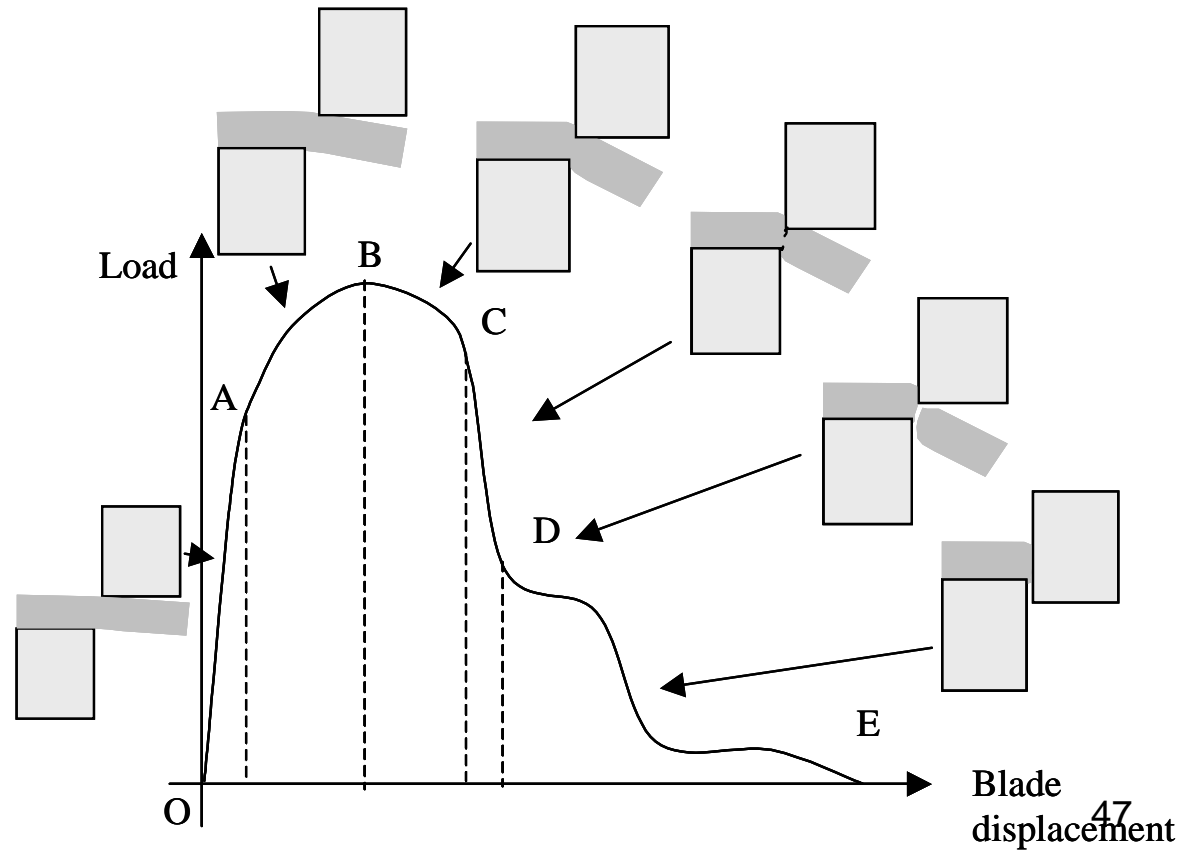
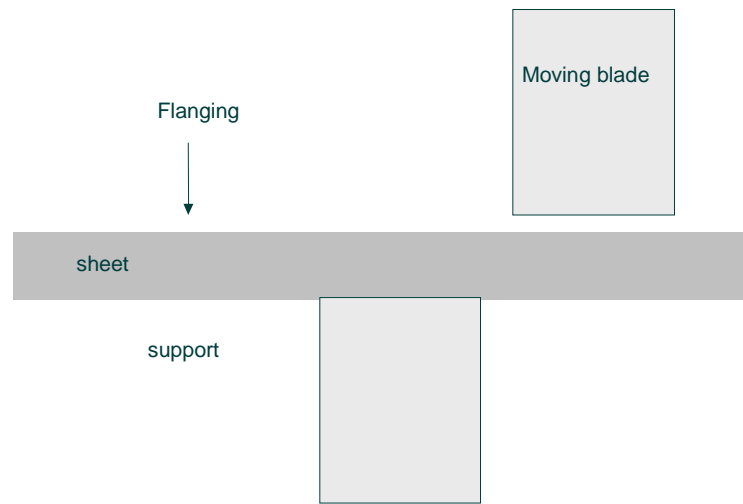


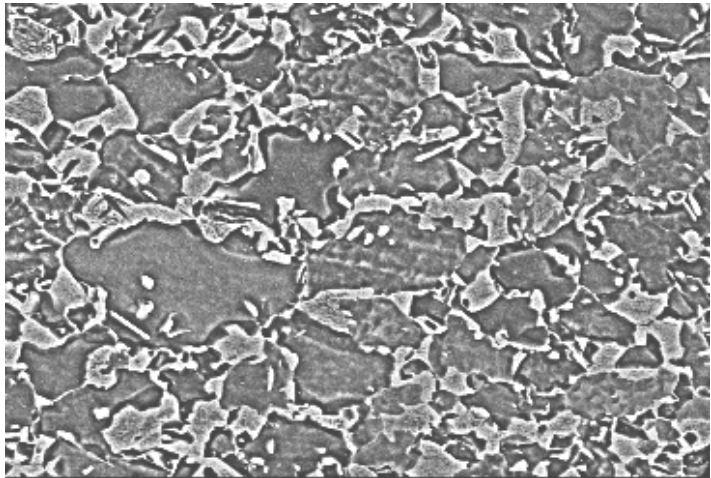
Le Diable se cache partout

(1)

Bords découpés

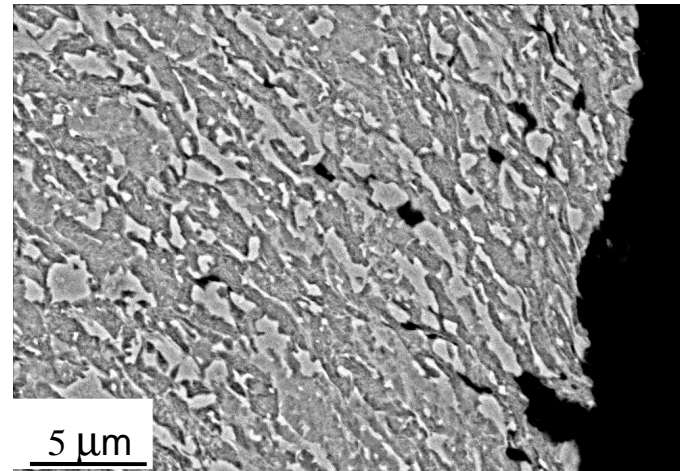
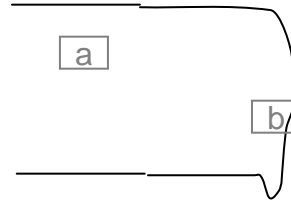






10µm

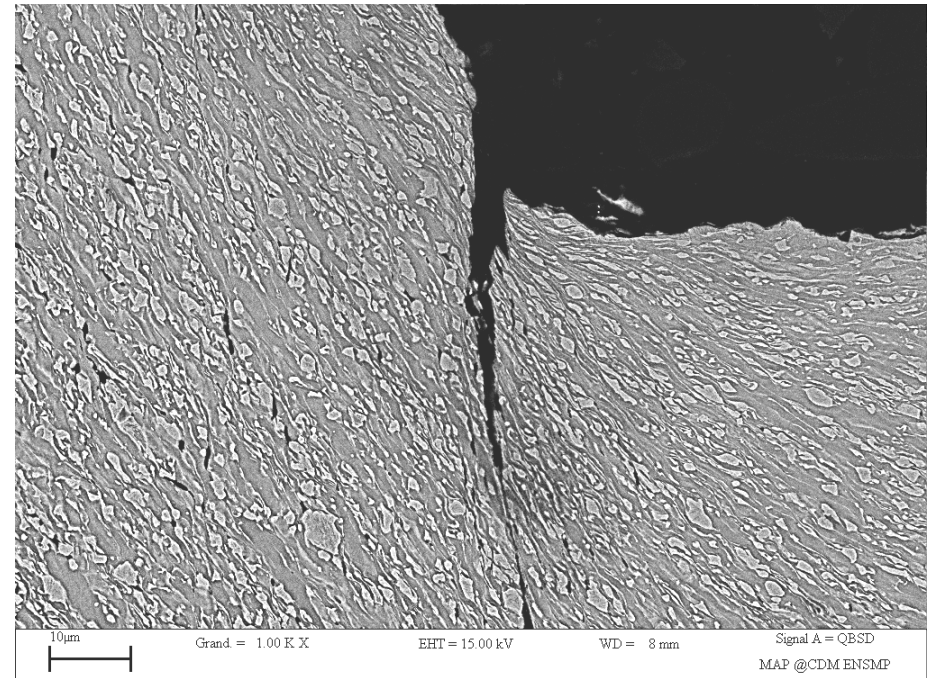
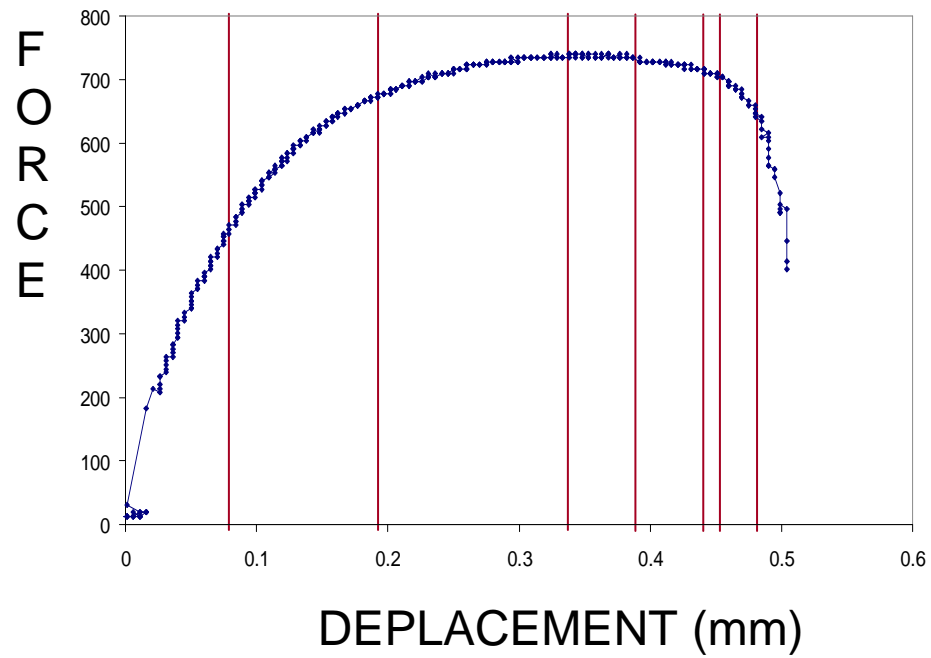
Grand. = 1.00 K X EF

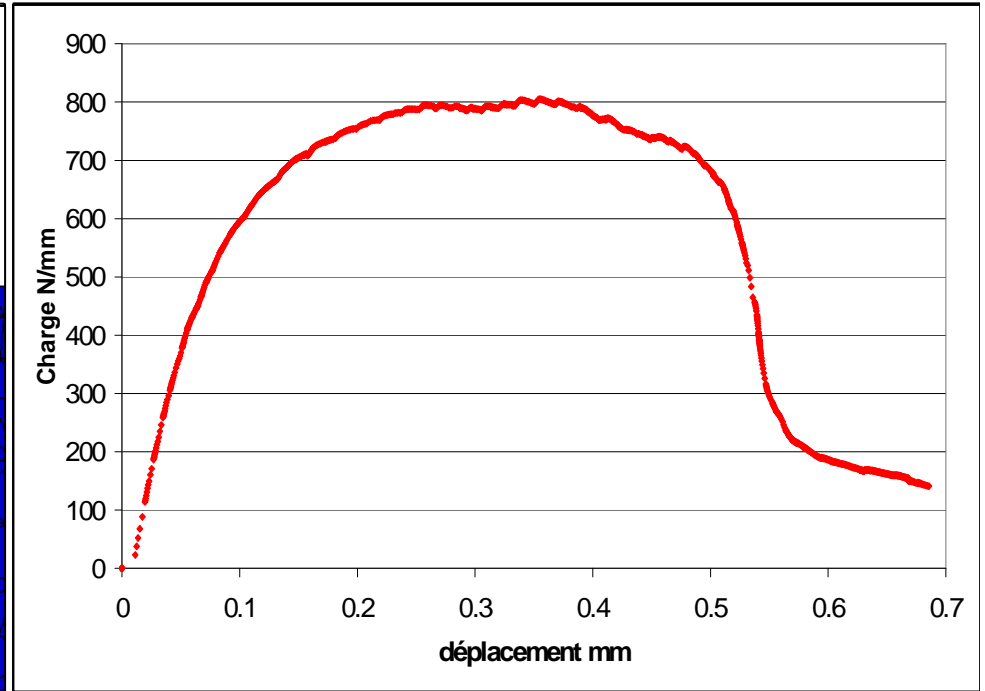
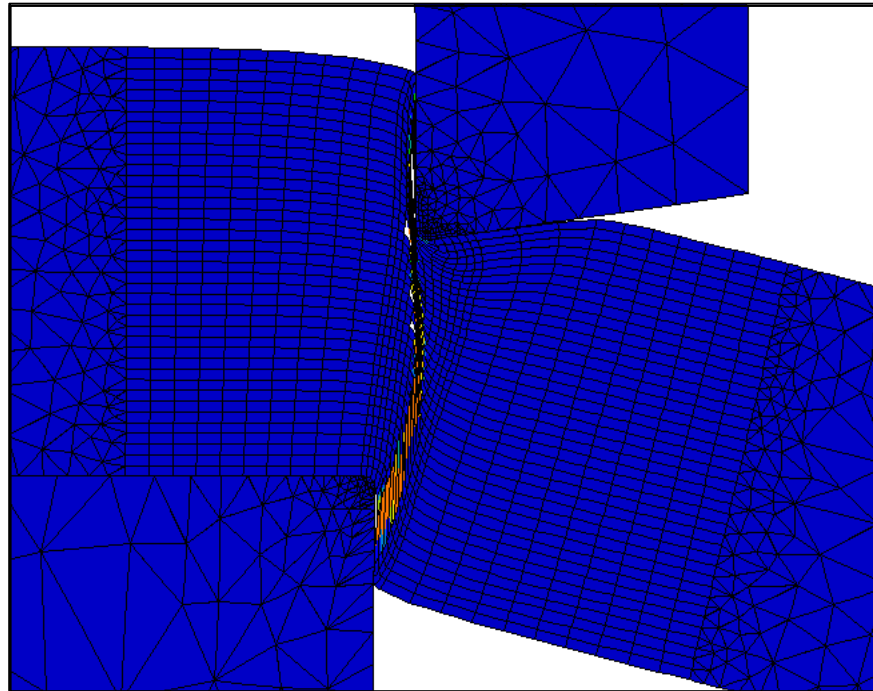


5µm



$10\ \mu\text{m}$





# SOLUTION METALLURGIQUE

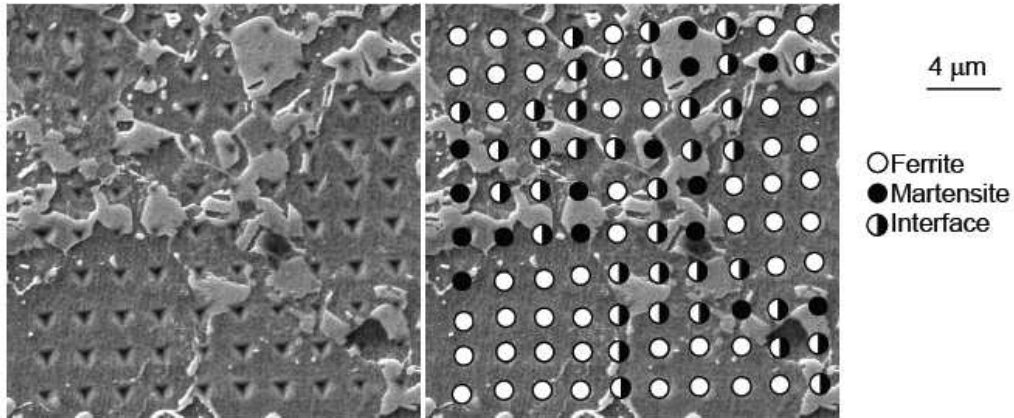
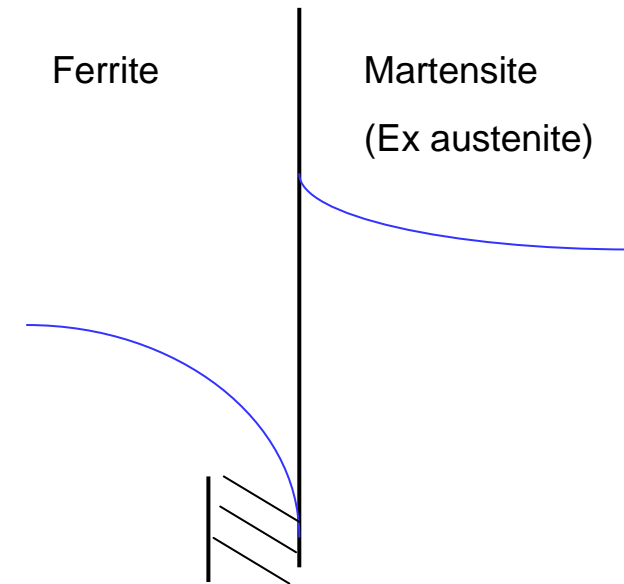
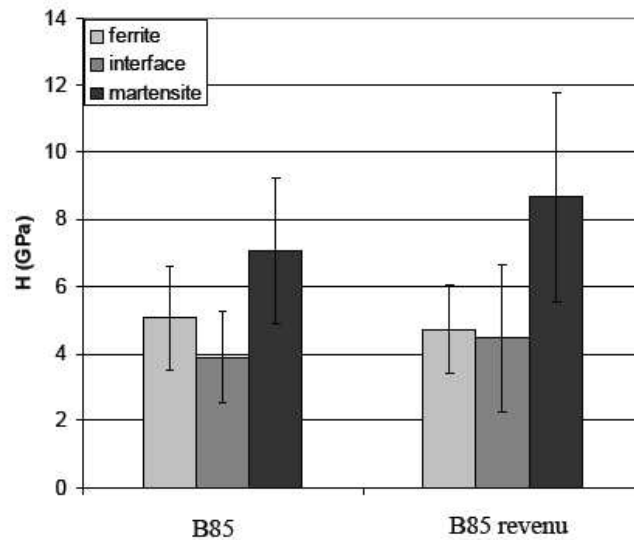


Figure 36 Exemple de grille d'indentations observée au MEB (Charge maximale 2mN, pas 2μm) et de dépouillement des positions des indentations



Interface molle et renfermant une forte densité de dislocations

Possibilité de durcissement par des atmosphères de Cottrell

# SOLUTION SIMPLE ET PEU ONEREUSE ?

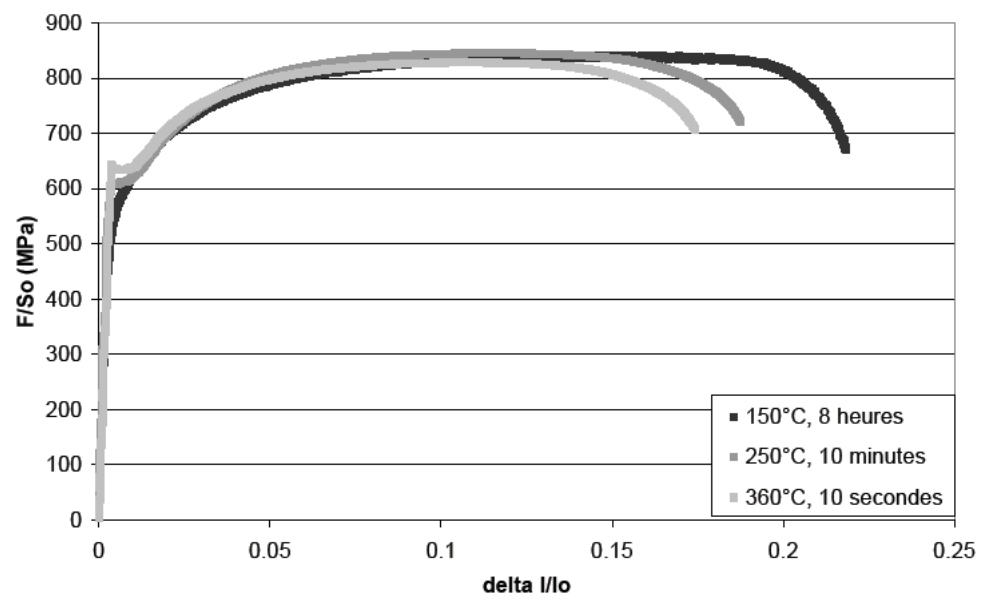
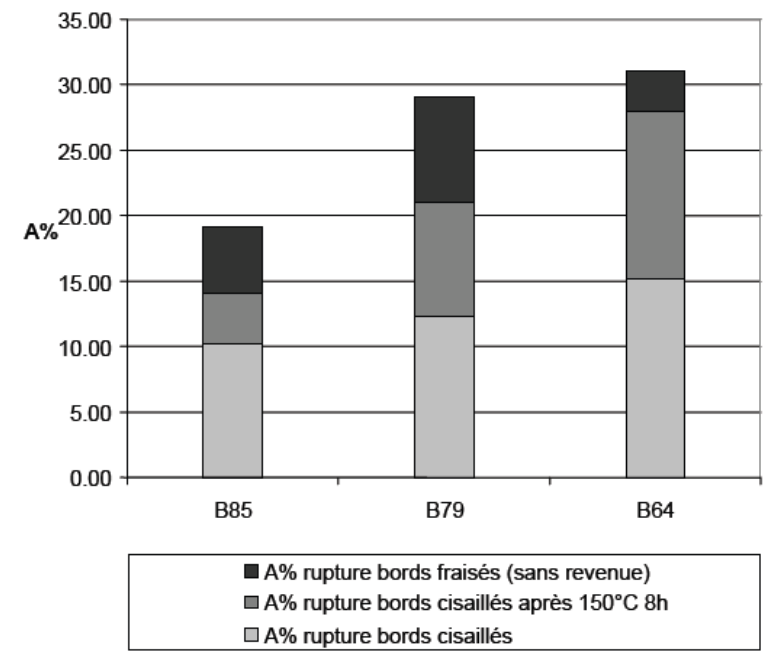


Figure 45 Courbes de traction correspondant aux divers traitements de revenu





Le Diable se cache partout

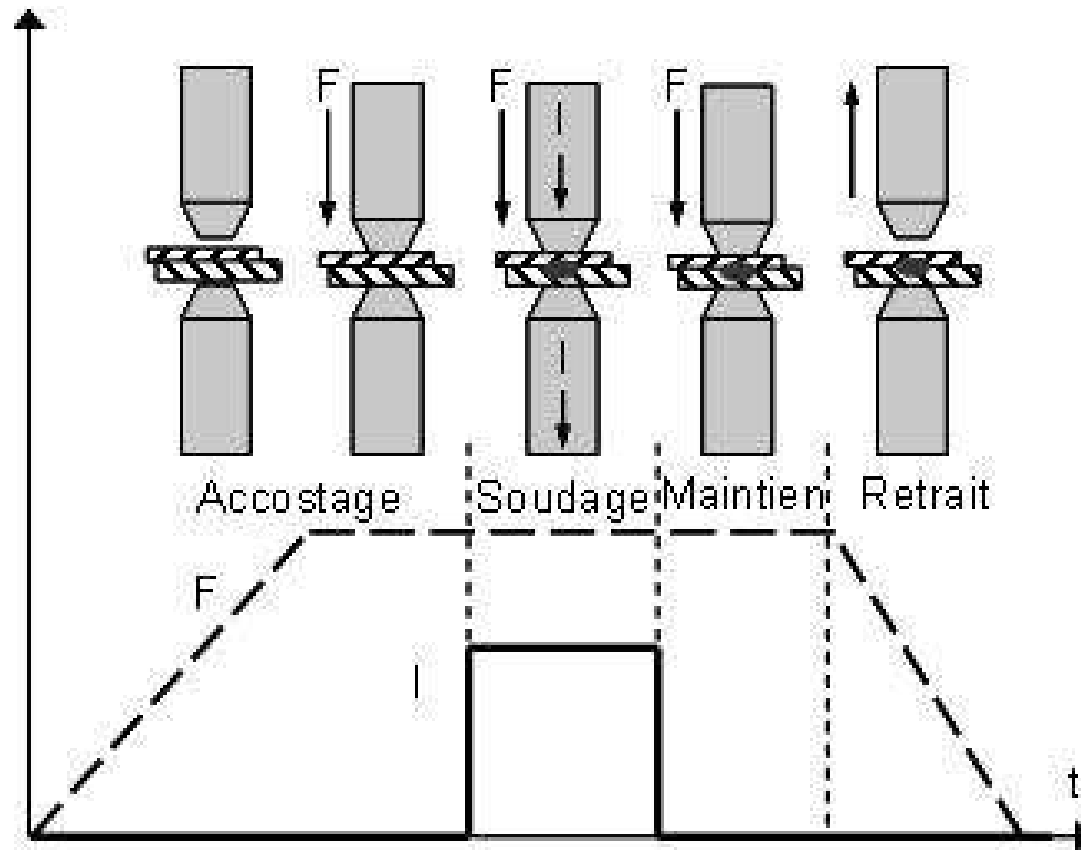
(2)

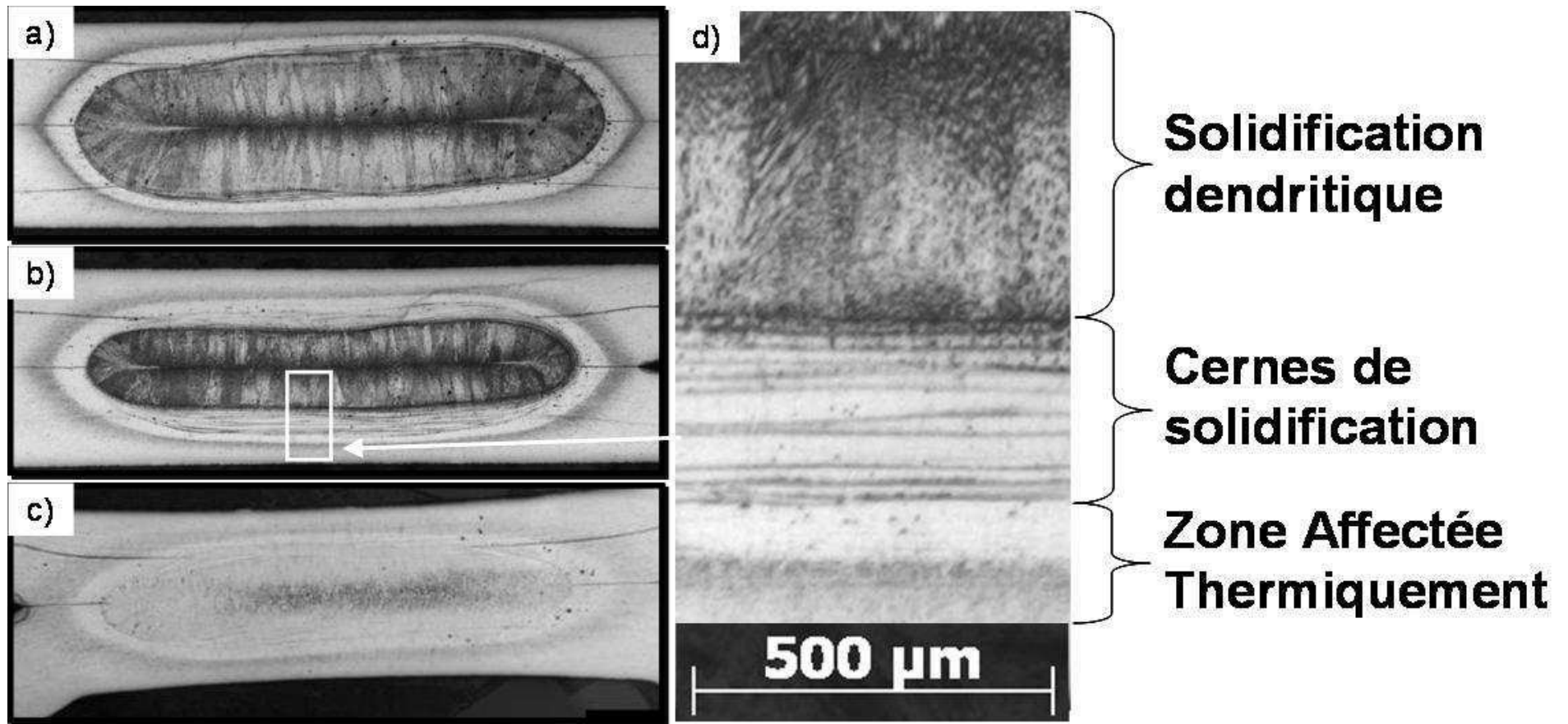
Soudage par point

# SOUDAGE PAR POINT

F. Krajcarz et al., Matériaux 2010, 18-12 oct. 2010, Nantes

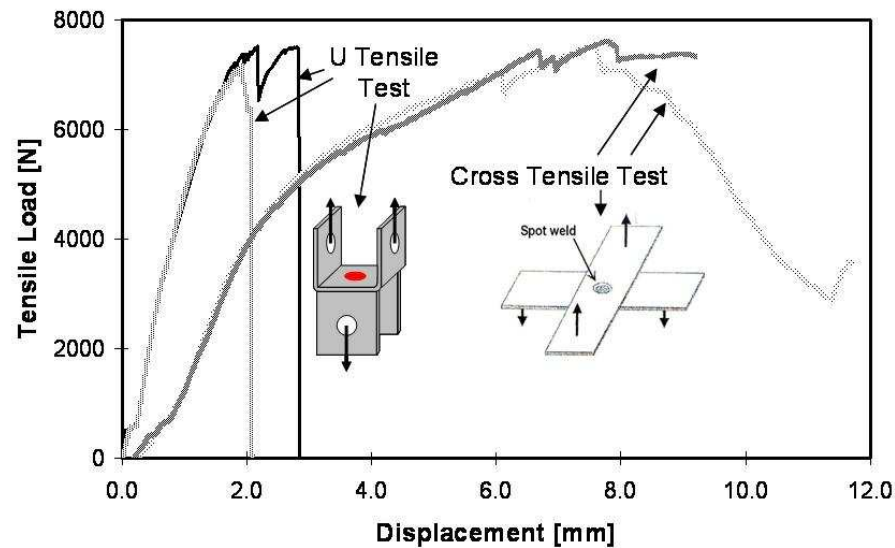
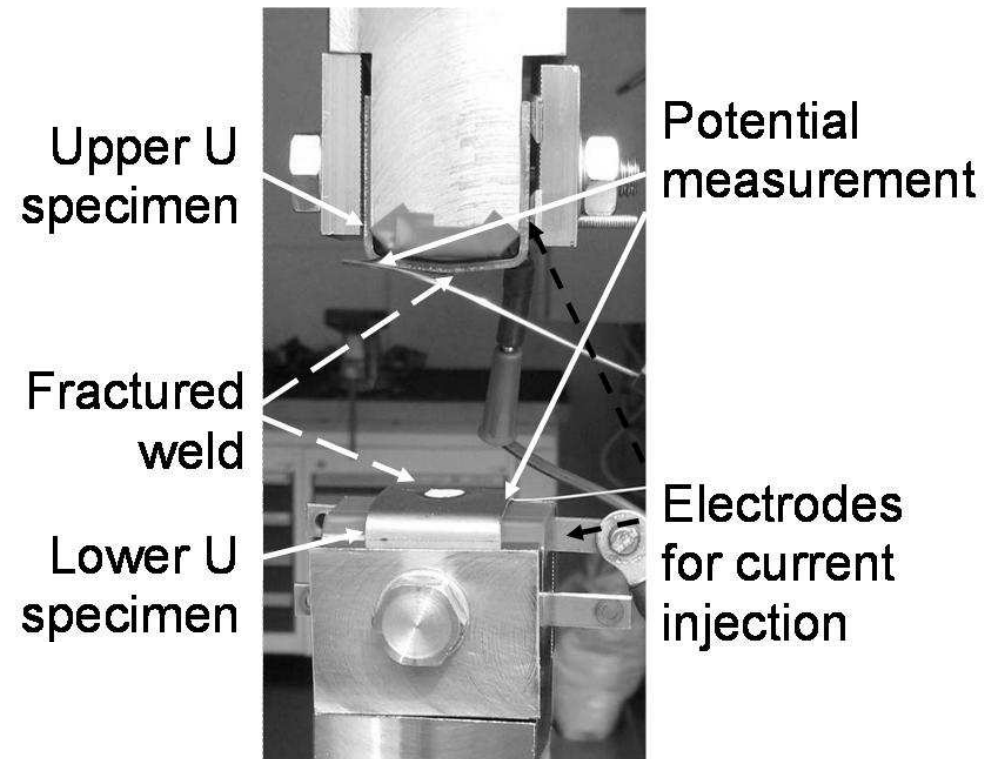
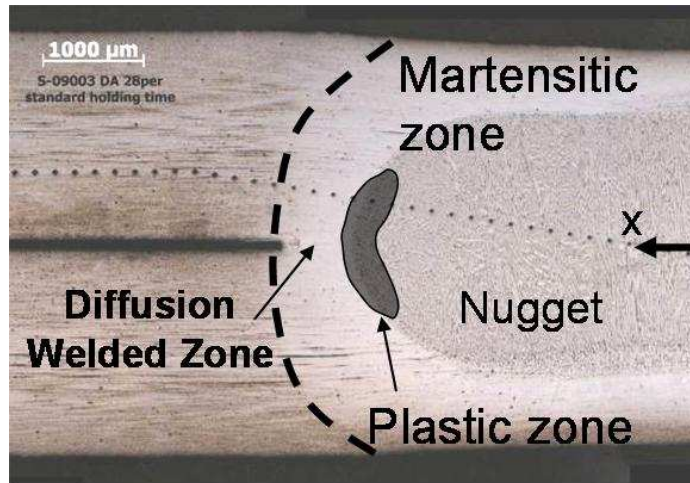
3 000 à 4 000 PSR par voiture



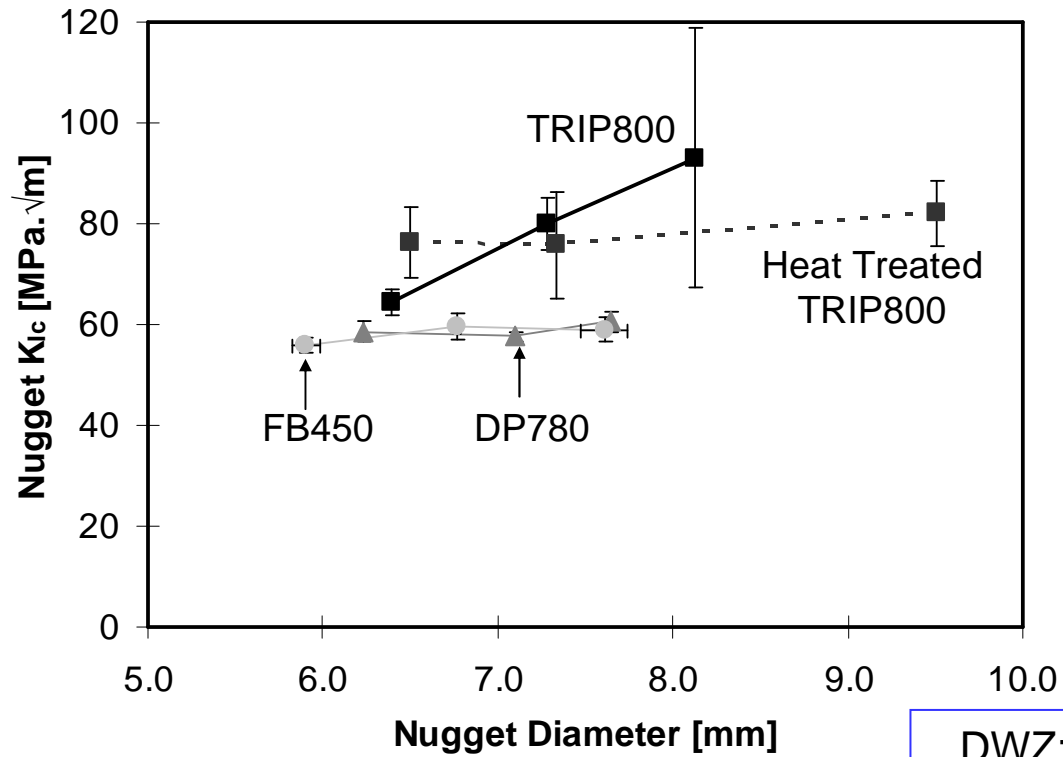


Observations métallographiques après attaque Béchet-Beaujard : acier IF d'épaisseur 1 mm : a) Après 7 périodes de soudage ; b) Après 12 périodes ; c) Après 40 périodes ; d) Détail de b) :Cernes de solidification.

1 période = 2 / 100 seconde



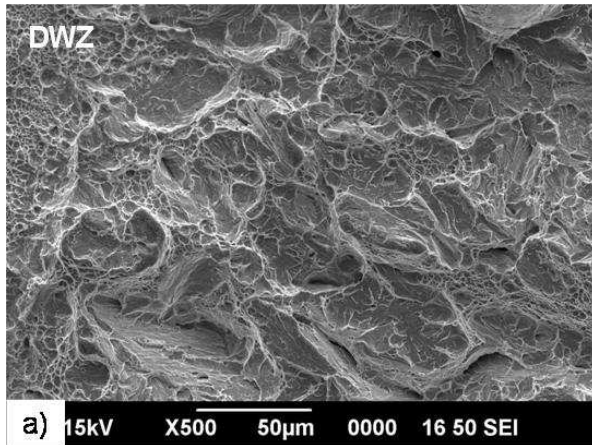




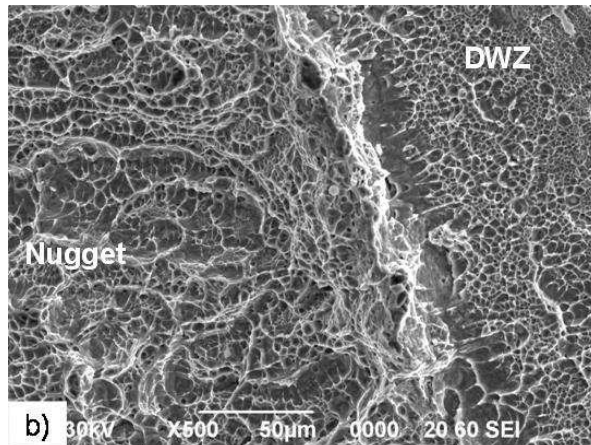
Déboutonnage  
ou  
Rupture interfaciale

DWZ: Diffusion Welded Zone

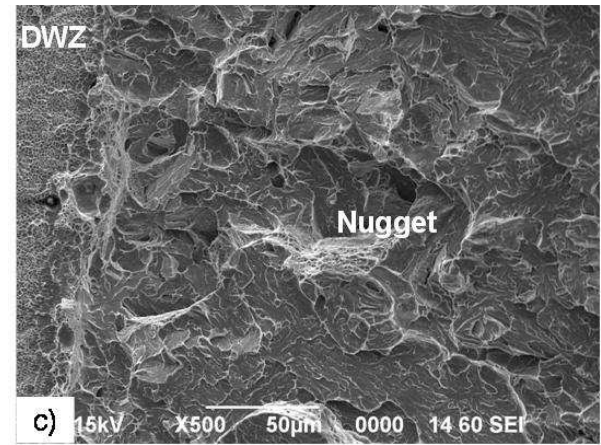
TRIP 800



FB 450

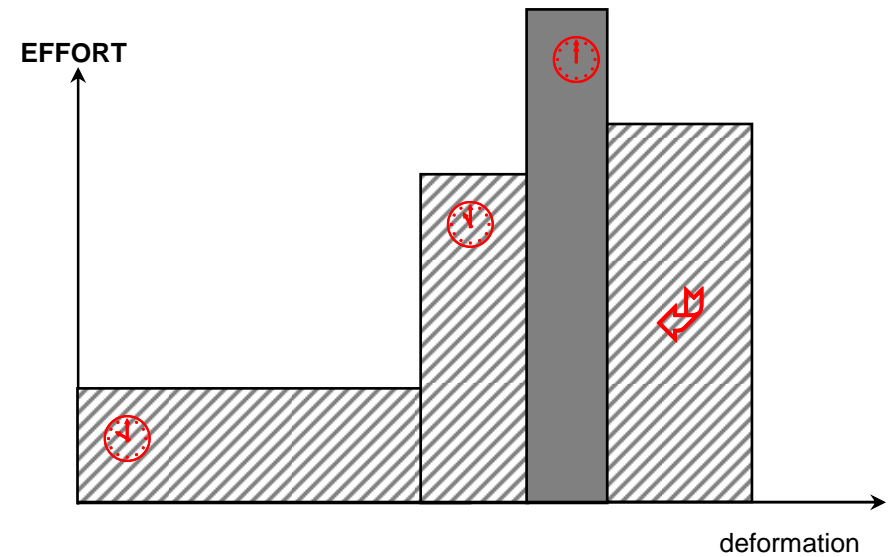
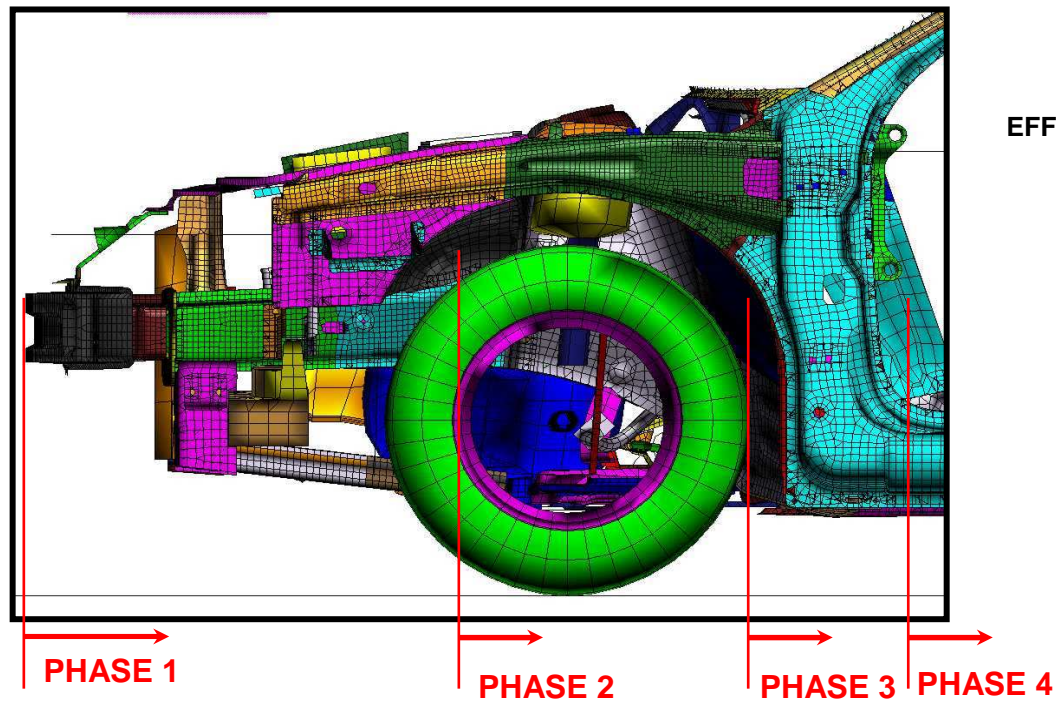


DP 780

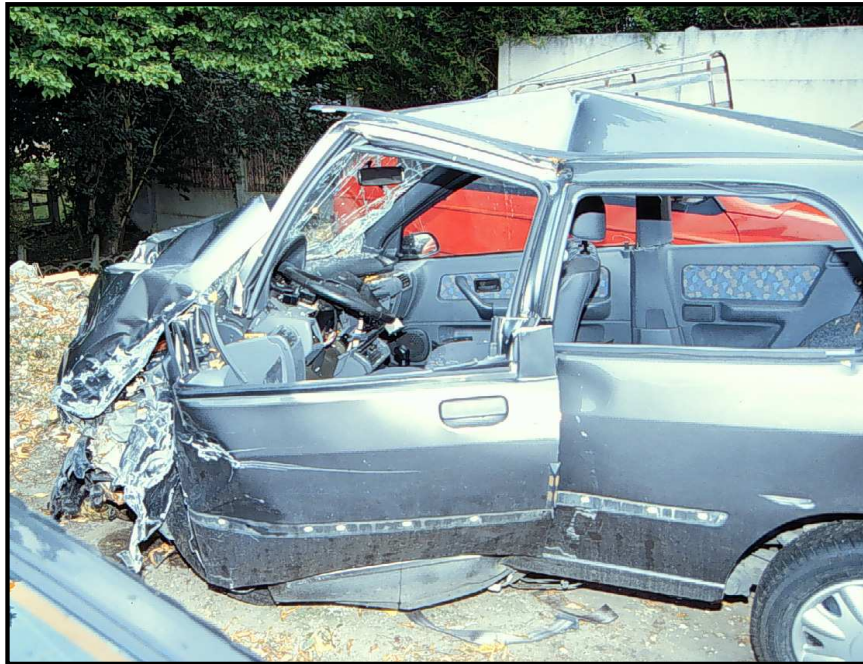


## TENUE AU CRASH

# Décomposition des zones AV



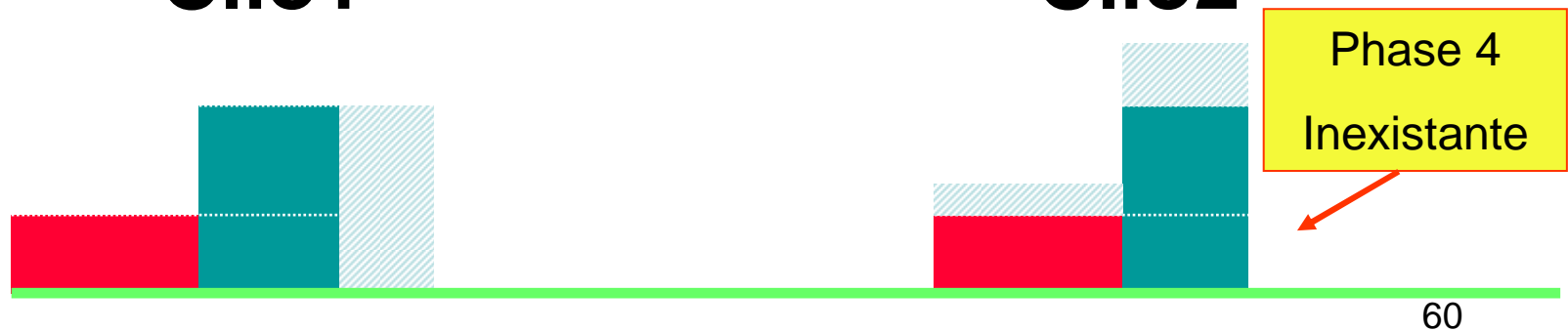
# Compatibilité de raideur



**Clio1**



**Clio2**



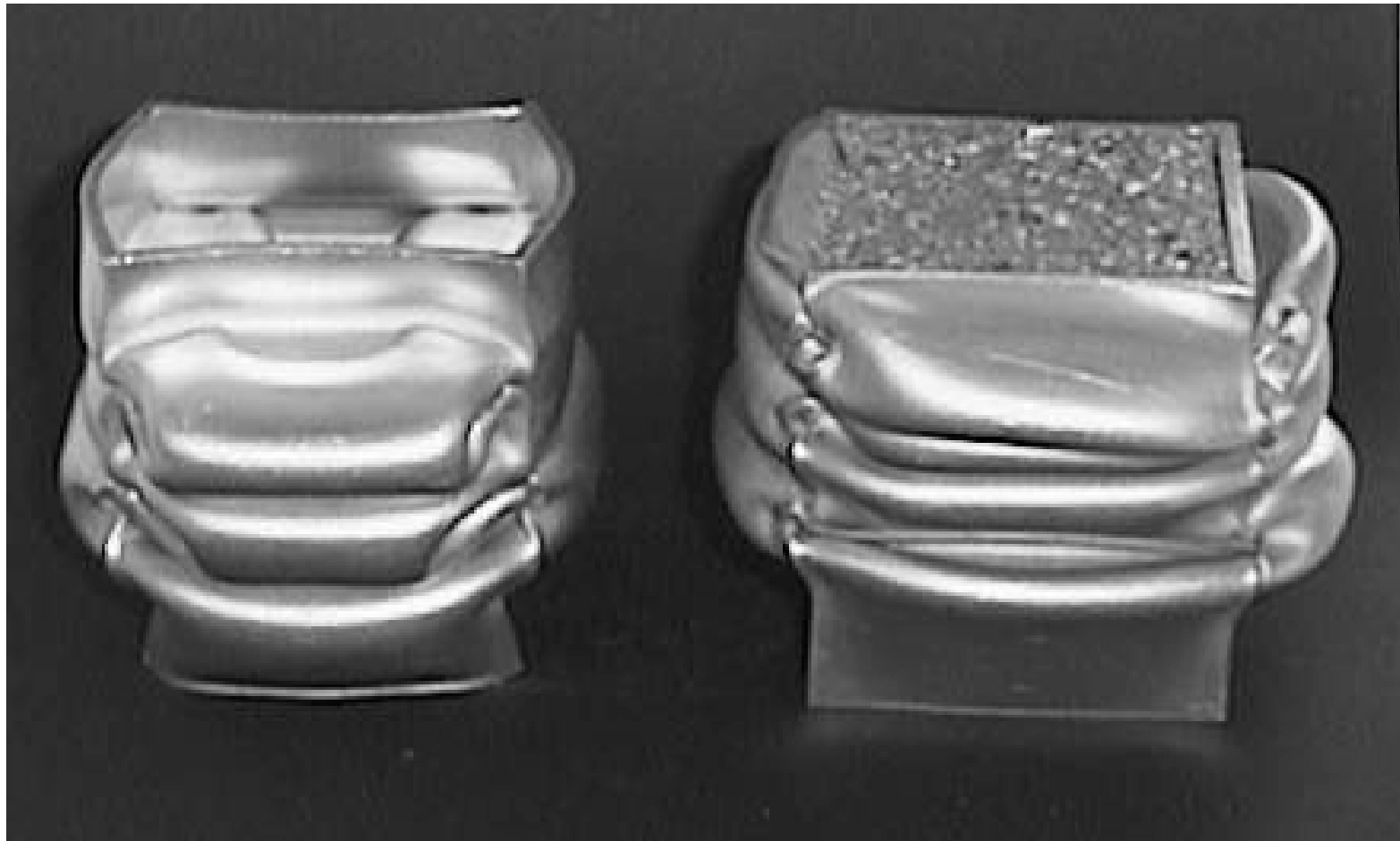
# Comment Améliorer la Tenue au Crash ?

- Conception – Design
- Nouveaux Aciers : Densité d'énergie absorbée par unité de volume = Contrainte x Déformation à rupture
  - Améliorer soit l'un soit l'autre, soit les deux
- Matériaux et structures architecturées :
  - Mousses et Matériaux auxétiques incorporé(e)s dans les structures



**LES ANGES EXISTENT AUSSI**

# MOUSSE METALLIQUE DANS UNE STRUCTURE



63

# MOUSSES METALLIQUES

HIGH-SPEED RAIL IDEA PROJECT 34 – Final Report - September 2004  
Metal foams for Improved Crash Energy Absorption in Passenger Equipment



64



CYMAT

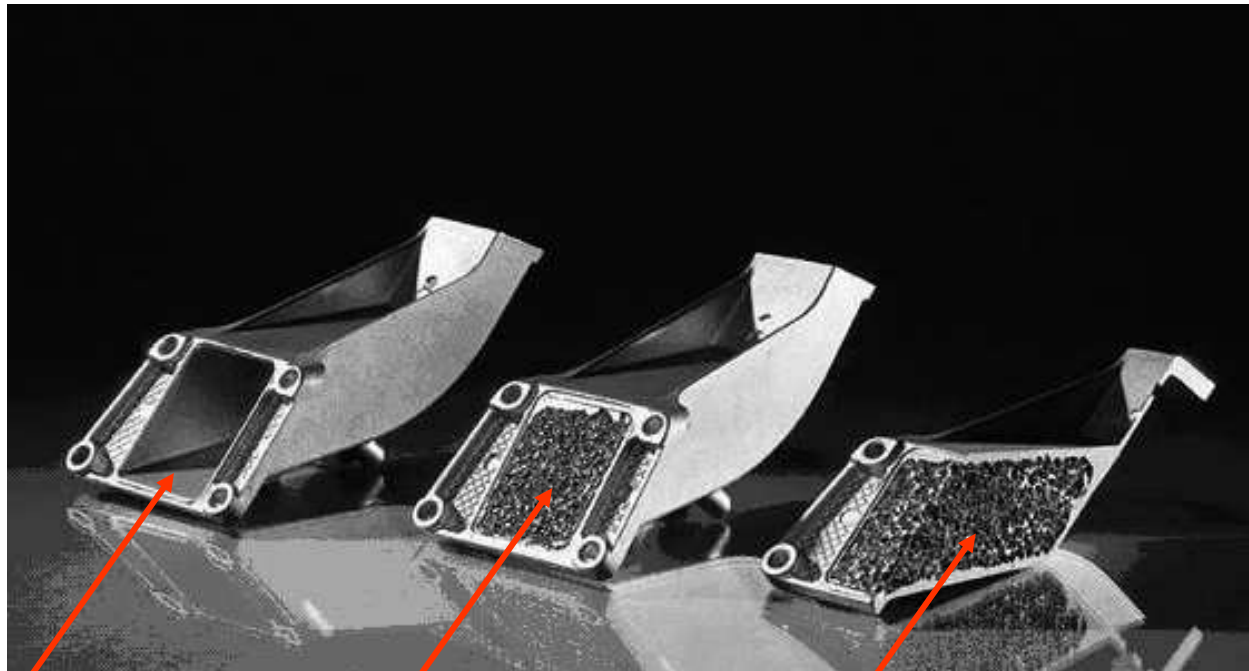
Metal Foams- From Fundamental to Applications

J. Banhart

*Frontiers in the design of materials*

*Universities Press ( India) Limited, India, 2007*

Prototype of a BMW engine mounting bracket manufactured by LKR Ranshofen

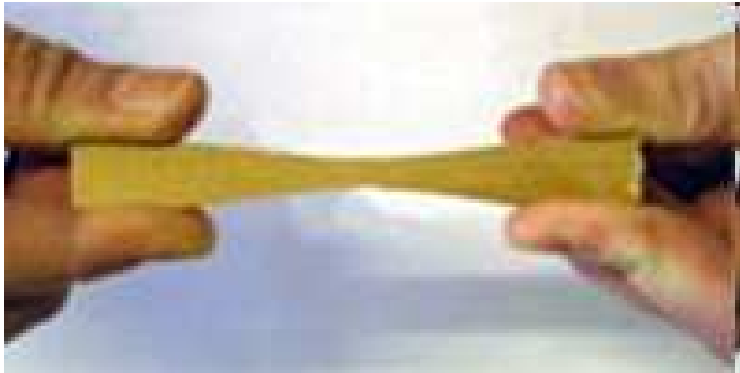


Empty Cast

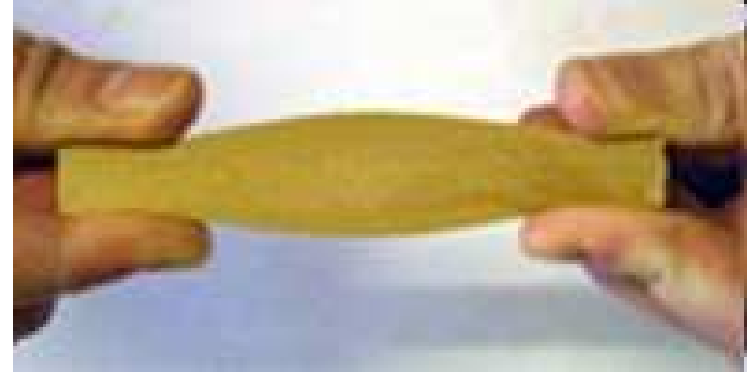
Composite Part

Section

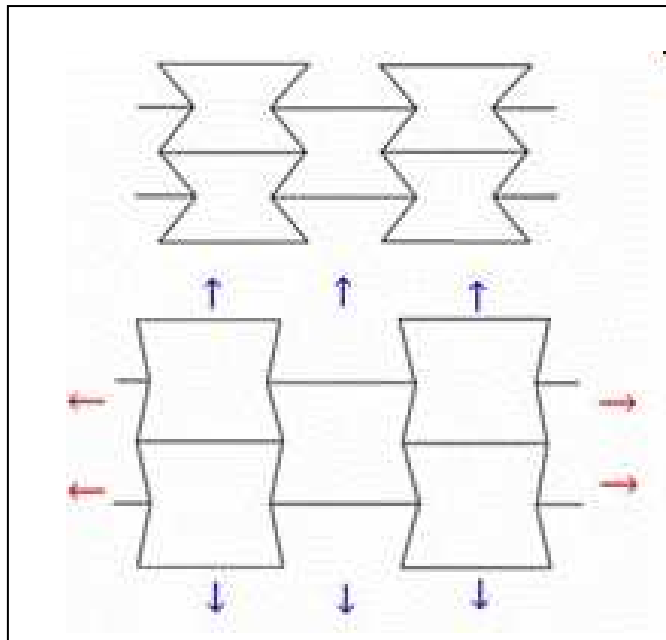
## MATERIAUX AUXETIQUES



Matériau Standard



Matériau Auxétique



- Coefficient de Poisson négatif
- Forme naturelle: certain(e)s peaux et os
- 1<sup>er</sup> Synthétique (1987) mousse polymère
- Autres : Gels polymères, composites renforcés par fibres de carbone, mousses métalliques, nids d'abeille
- Nombreuses applications possibles: Renfort tenue au crash
- Fabrication? CAO + Fusion laser

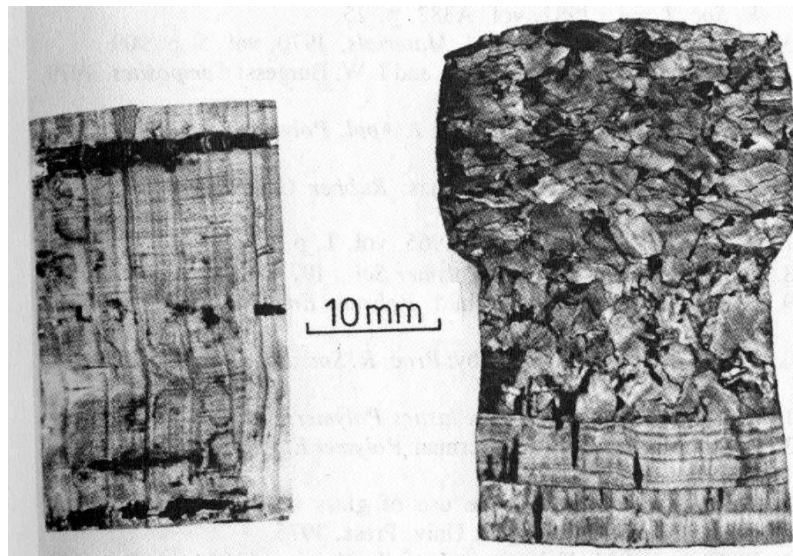


Fig. 21 — Sections through corks. The axis of symmetry of the cork structure is parallel to the lenticels (dark lines).

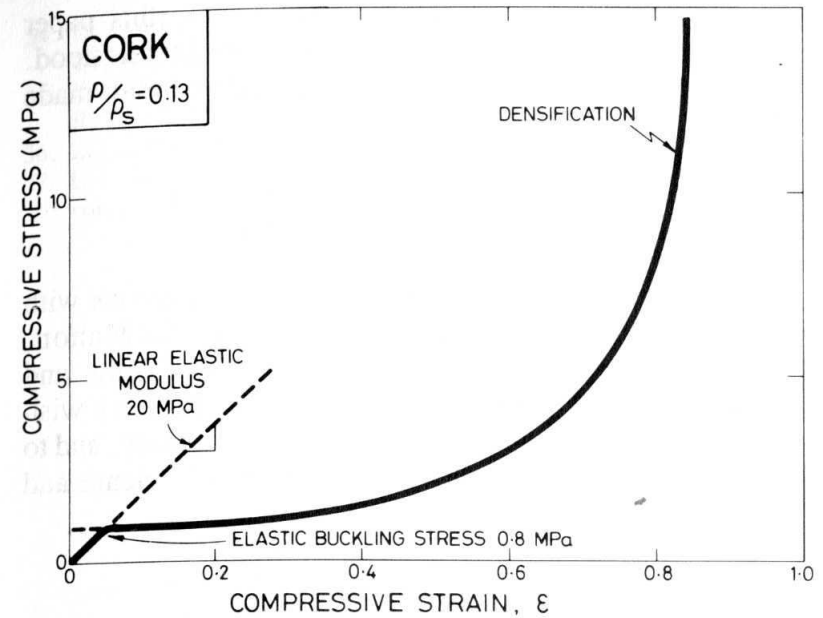
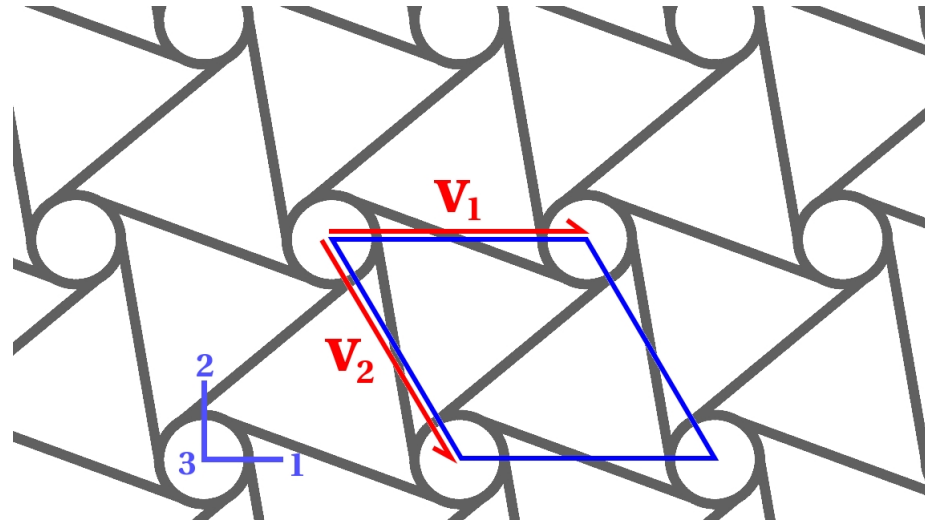


Fig. 20 — The stress-strain curve of cork. It follows the pattern shown in the map of Fig. 15.

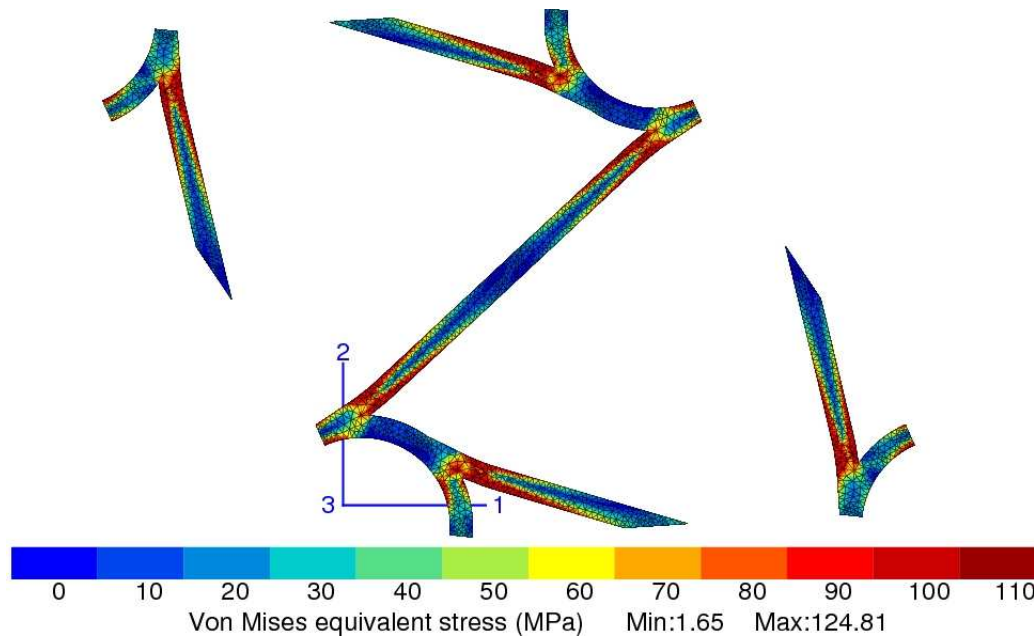
Dirrenberger J., Forest S, Jeulin D.

Comp. Mater. Science, 2012

*Elastoplasticity of auxetic materials*

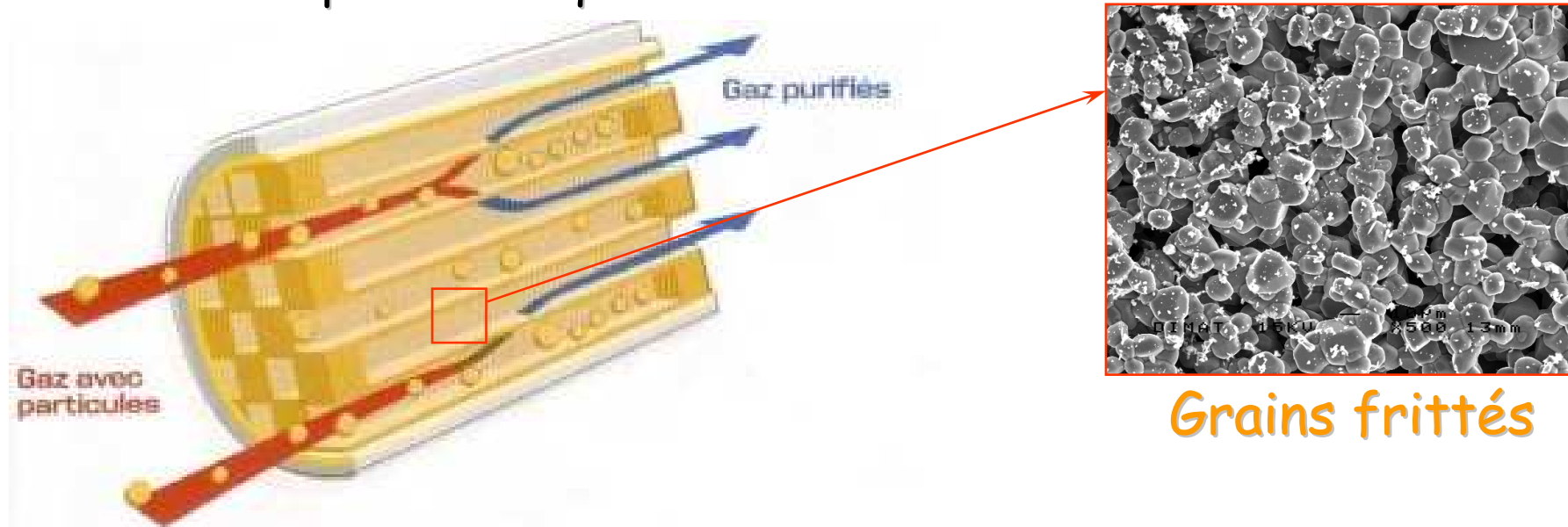


|                            | Hexachiral |
|----------------------------|------------|
| Normalized Young's modulus | 0.0235     |
| Normalized shear modulus   | 0.2339     |
| Effective Poisson's ratio  | -0.73      |



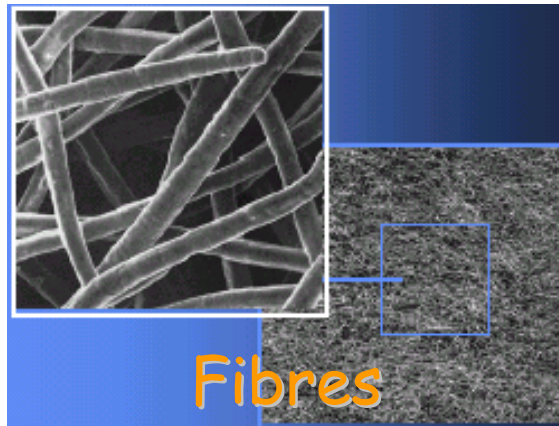
# Description du Filtre à Particules

Structure la plus classique : nid d'abeille

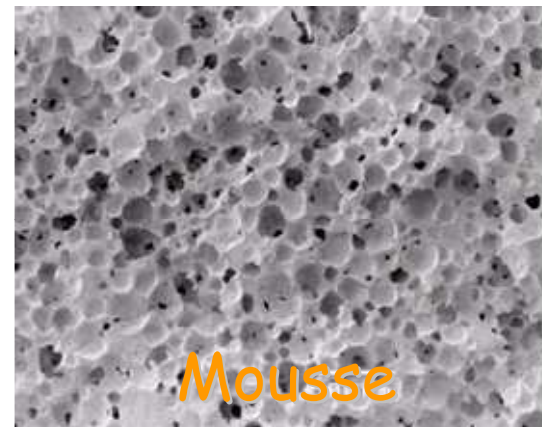


Grains frittés

Autres microstructures possibles :



Fibres



Mousse

# Différents matériaux possibles

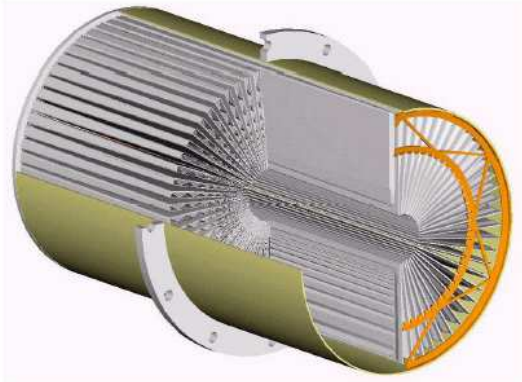
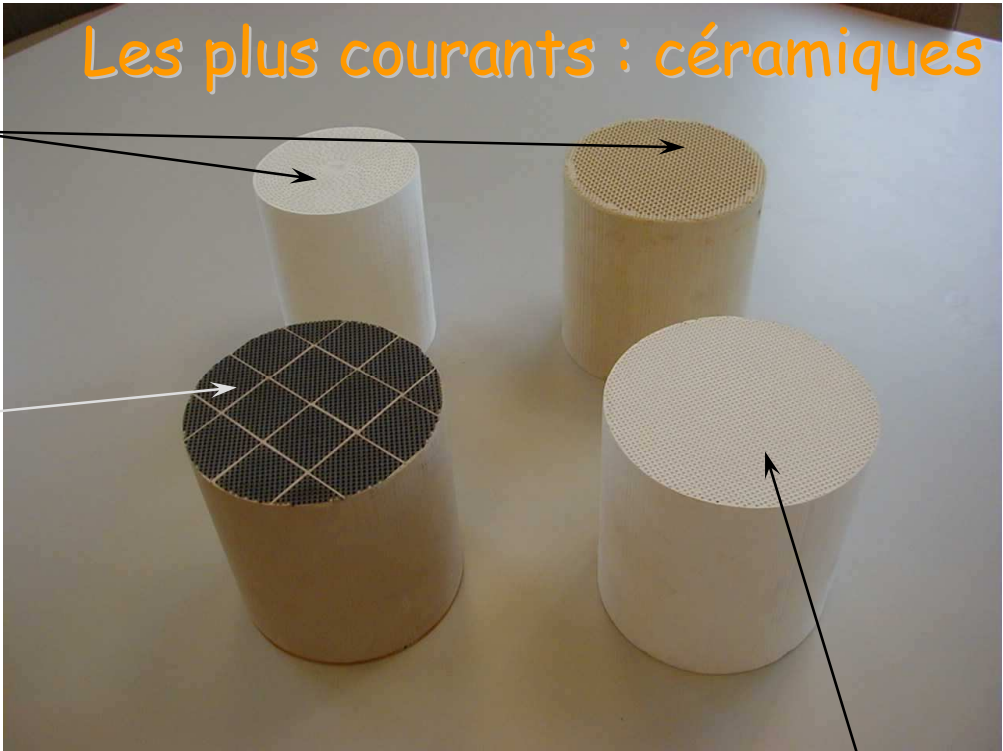
Cordiérite  
 $2\text{MgO}-2\text{Al}_2\text{O}_3.5\text{SiO}_2$

Carbure de silicium  
 $\text{SiC}$

Nitrure de silicium:  $\text{Si}_3\text{N}_4$

Mais aussi

Matériaux métalliques :  
FaP en métal fritté (Bosch)



Mullite  
 $3\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$

# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – Le Sport – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents

III- L'Automobile – La caisse en blanc : sécurité – L'échappement : environnement

IV- L'Avion - **Un défi permanent**

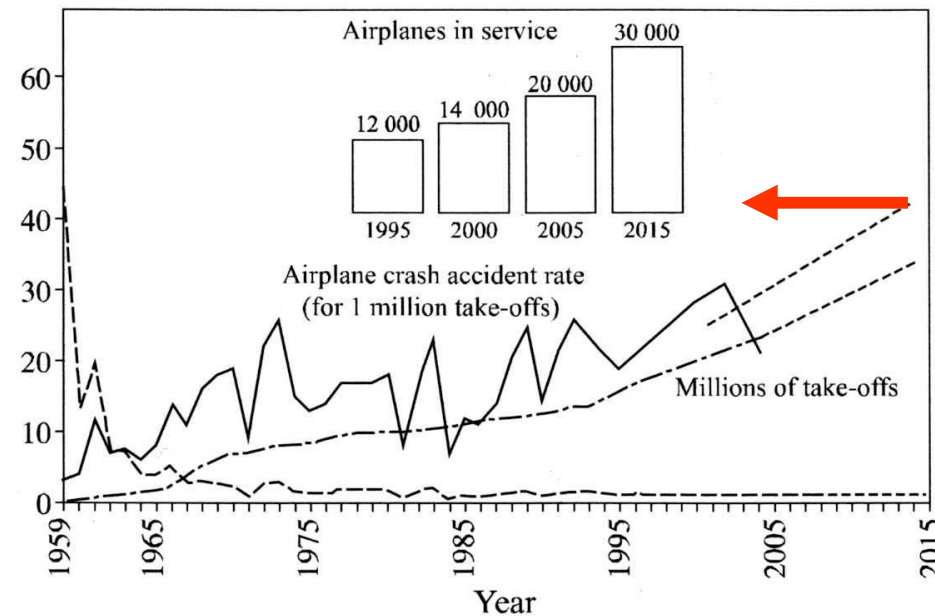
V – Conclusion : Quelques interrogations

71





L' avion est de loin le moyen de transport le plus sûr en nb kms / passager



Un accident  
Majeur  
Par Semaine

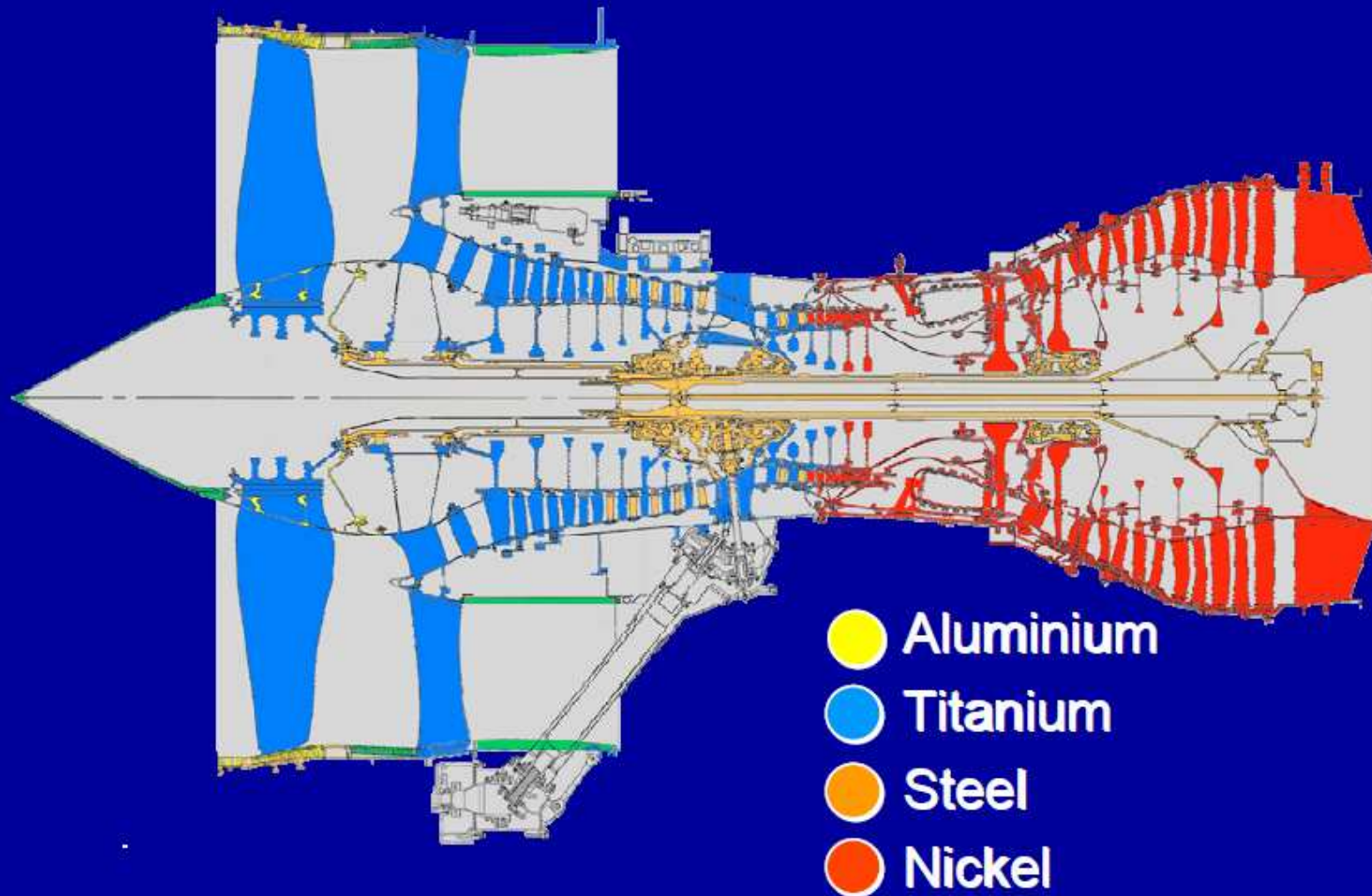
**Figure 1.4.** Statistical study of the evolution of air traffic and of the number of crashes (MANHIRP, 2001, see also 1001crash.com)



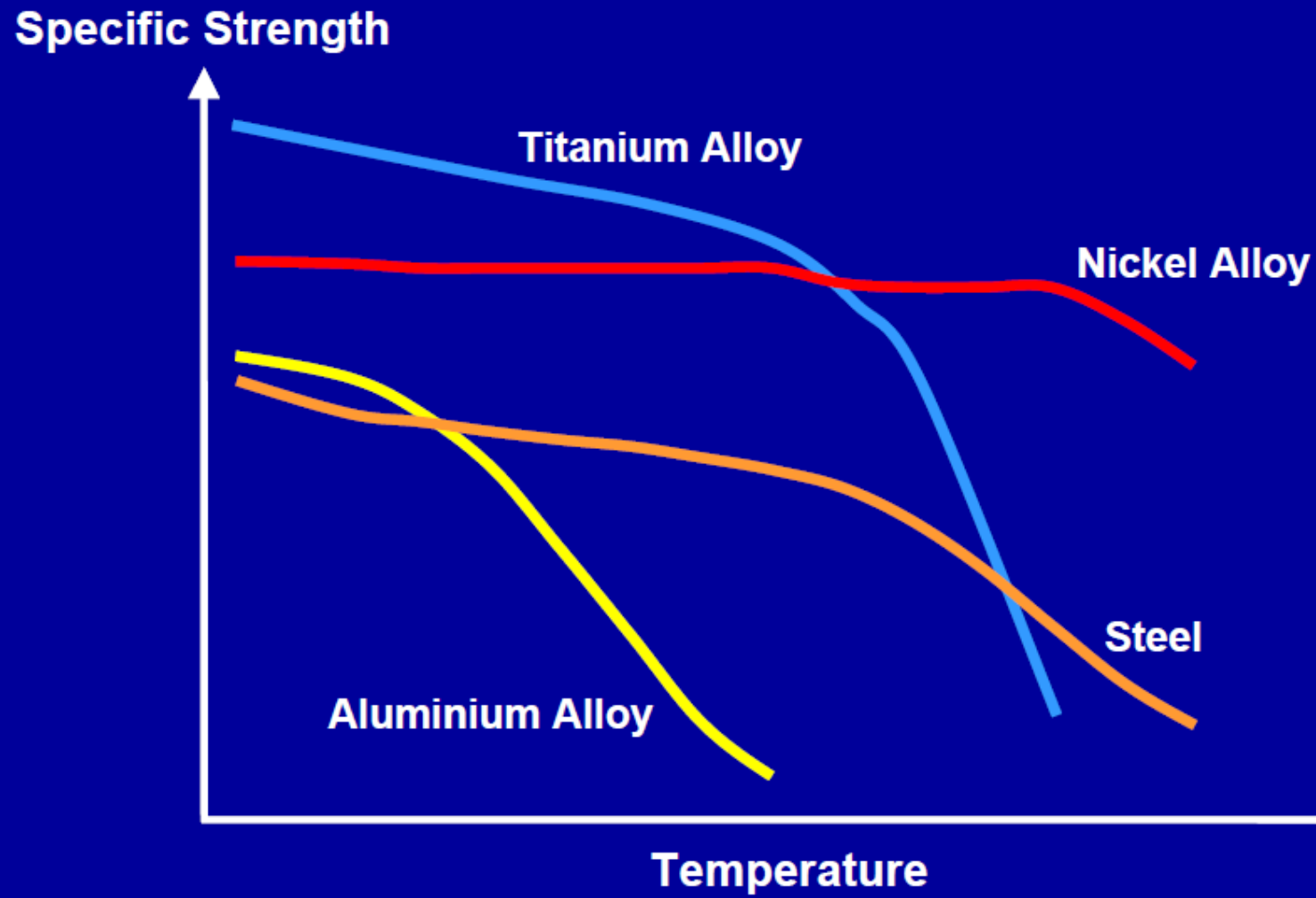
Boeing 767 Los Angeles, 02 juin 2002

engine type : GE CF6-80A2

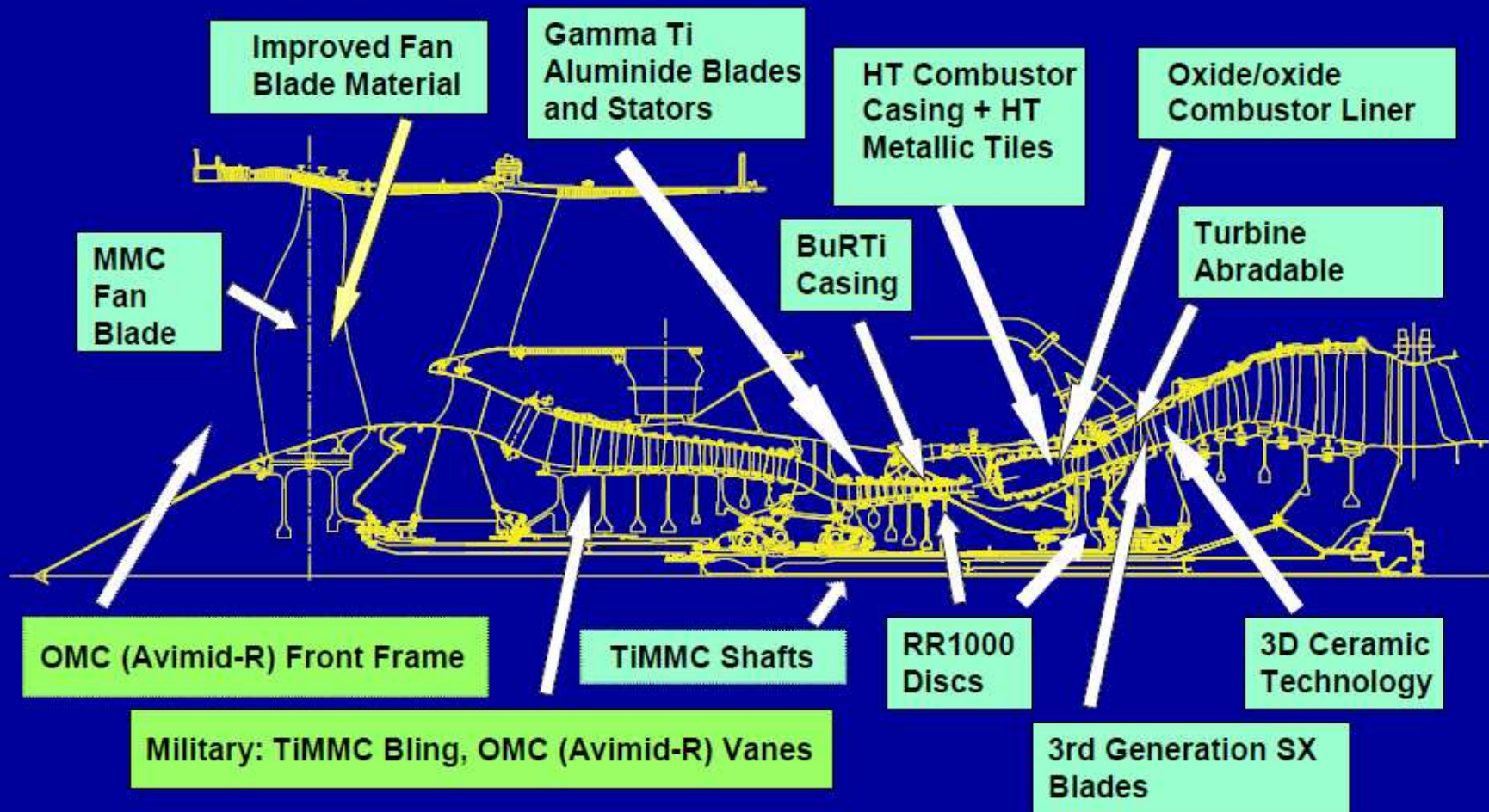
# Matériaux utilisés dans une turbine à gaz



# Resistance des Matériaux



# Matériaux avancés dans une turbine à gaz



Source: RR

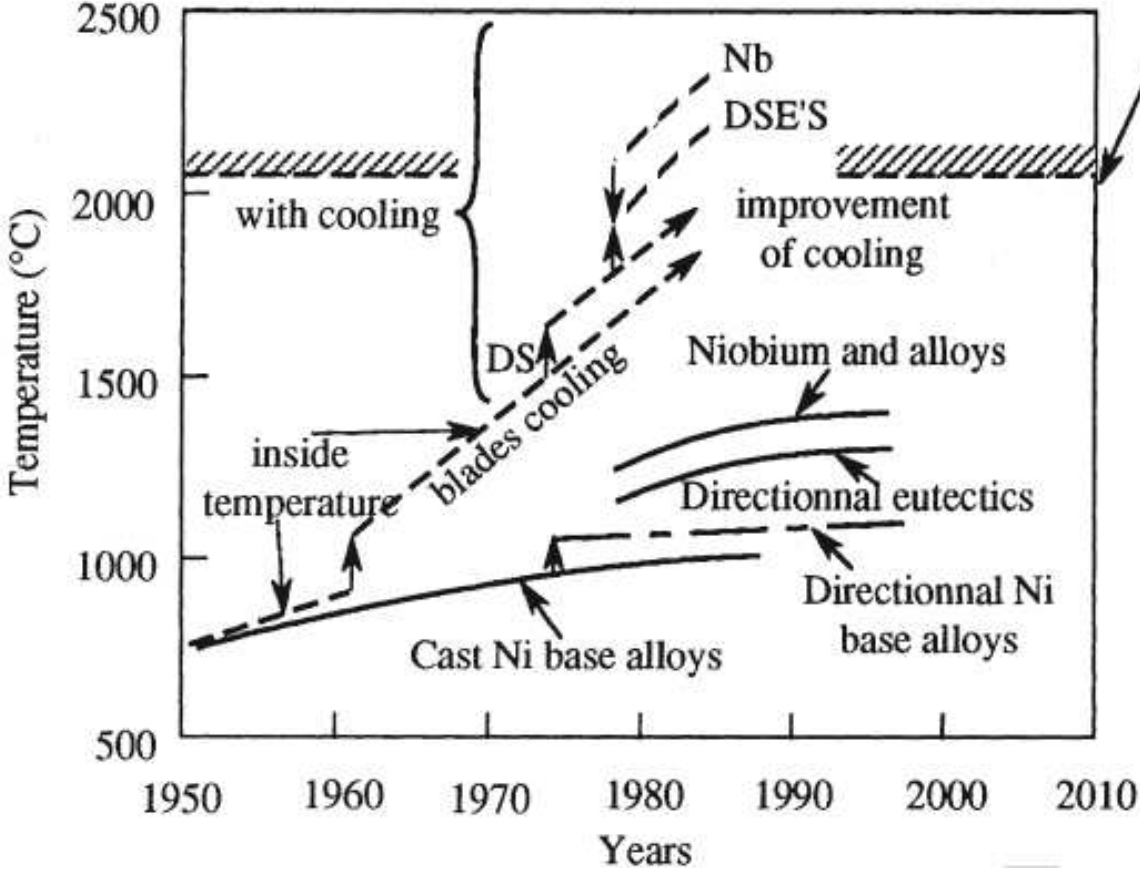
## Besoins des moteurs du futur

| Year | Pressure ratio | Bypass ratio | Compressor exit temp (°C) | Turbine entry temp (°C) |
|------|----------------|--------------|---------------------------|-------------------------|
| 1955 | 10:1           | <2           | 380                       | 870                     |
| 1965 | 12:1           | 2 - 3        | 430                       | 940                     |
| 1975 | 15:1           | 5 - 6        | 590                       | 1340                    |
| 1995 | 38:1           | 8 - 9        | 700                       | 1430                    |
| 2010 | 70:1           | 12 - 15      | 820                       | 1760                    |

**... augmentation de la pression et de la température**

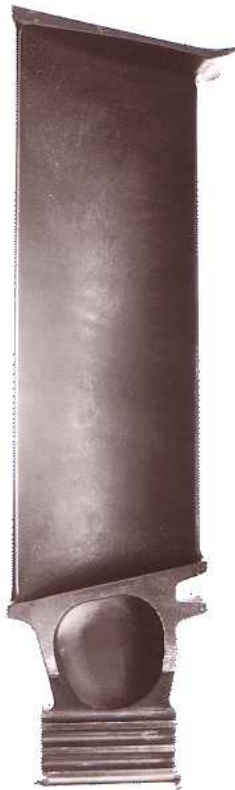
Source: RR

The maximum flame temperature  
(function of fuel and of gas composition)  
begins to limit performances

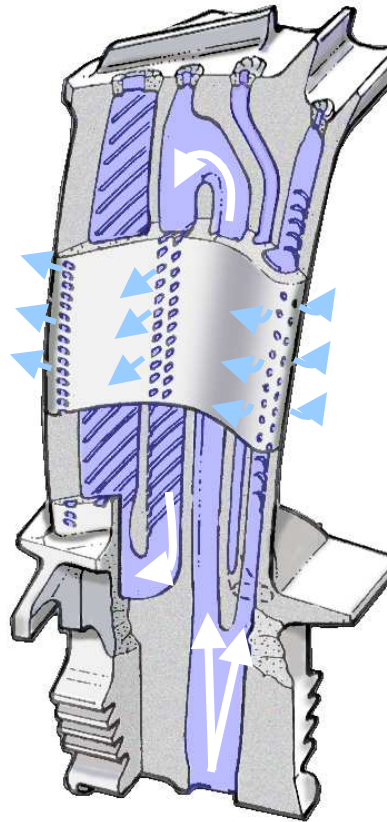


TROUVER DES  
NOUVEAUX ALLIAGES  
OU DES  
COMPOSITES CERAMIQUES

# REFROIDISSEMENT DES AUBES



Non Refroidies

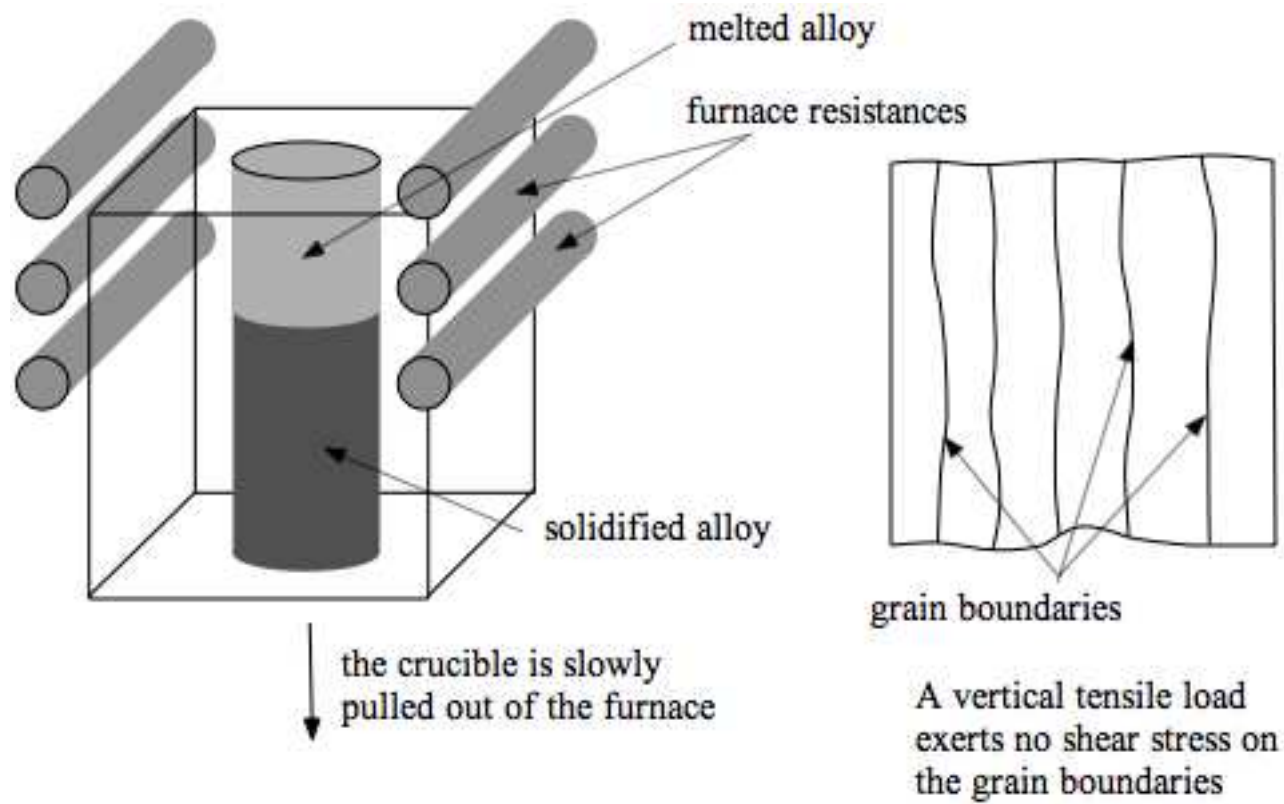


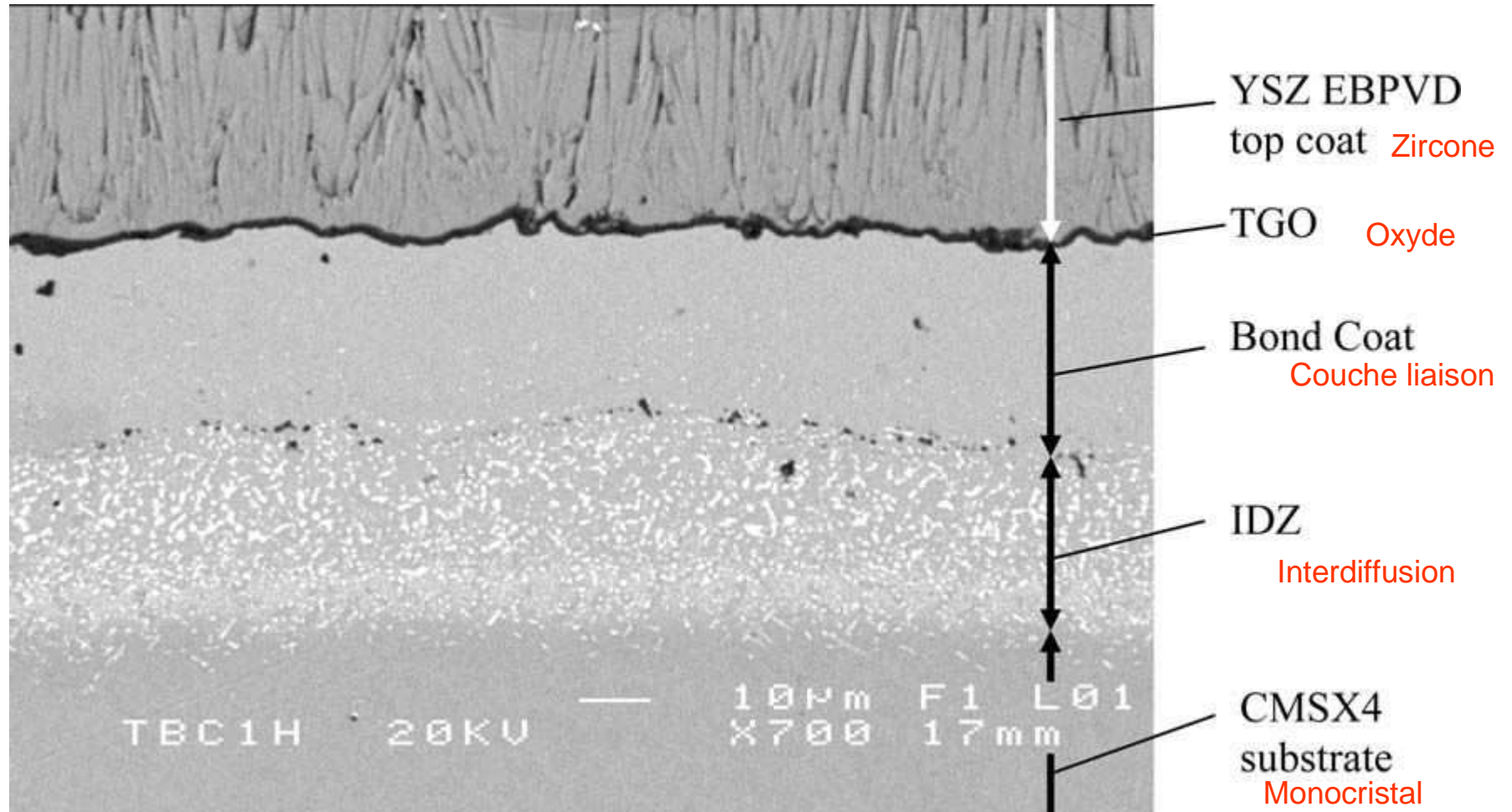
Refroidissement Multi-canaux



Refroidies + Barrière thermique







Ariane 5 ECA Launch  
JCSAT-12

August 21, 2009



# ARIANE V – Moteur VINCI



Eric Forterre Snecma

Boitier, Vicens, Chermant, MSE, A 313, 2001, 53-63

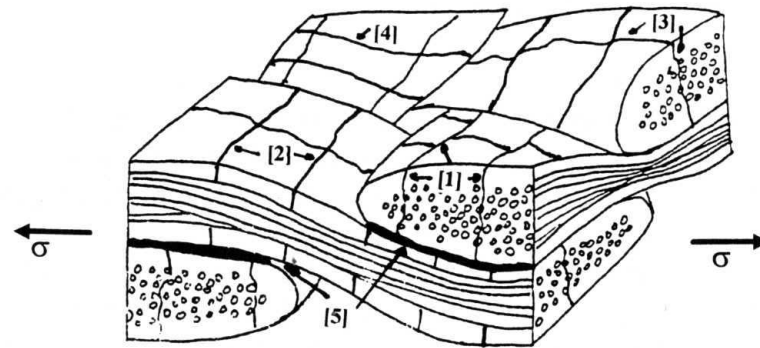


Fig. 1. Schematic illustration of the damage modes encountered in a 2.5D C<sub>f</sub>-SiC composite.

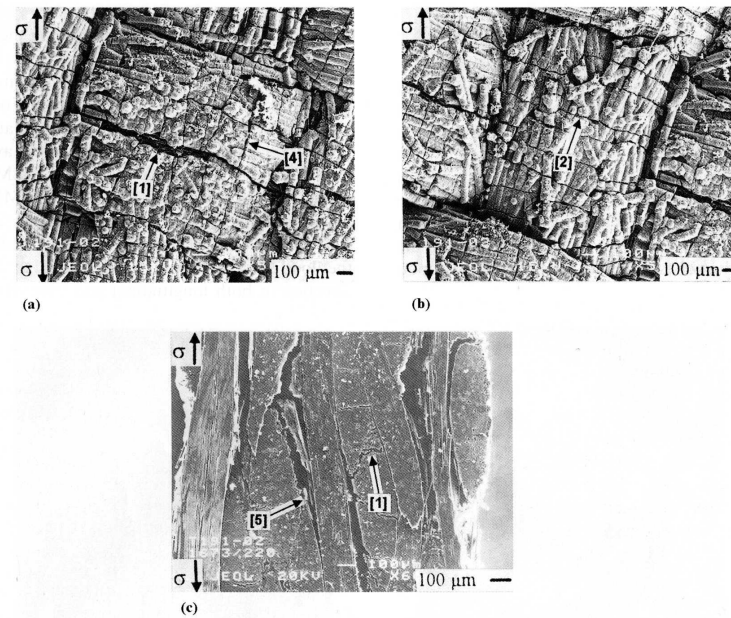


Fig. 2. SEM micrographs of matrix microcracking in (a) the transverse and (b) longitudinal bundles, and on (c) the edge of a 2.5D C<sub>f</sub>-SiC composite creep tested at 1673 K under 220 MPa.

Boitier, Chermant, Vicens, *App. Comp. Mater.*,  
6, 1999, 279-287

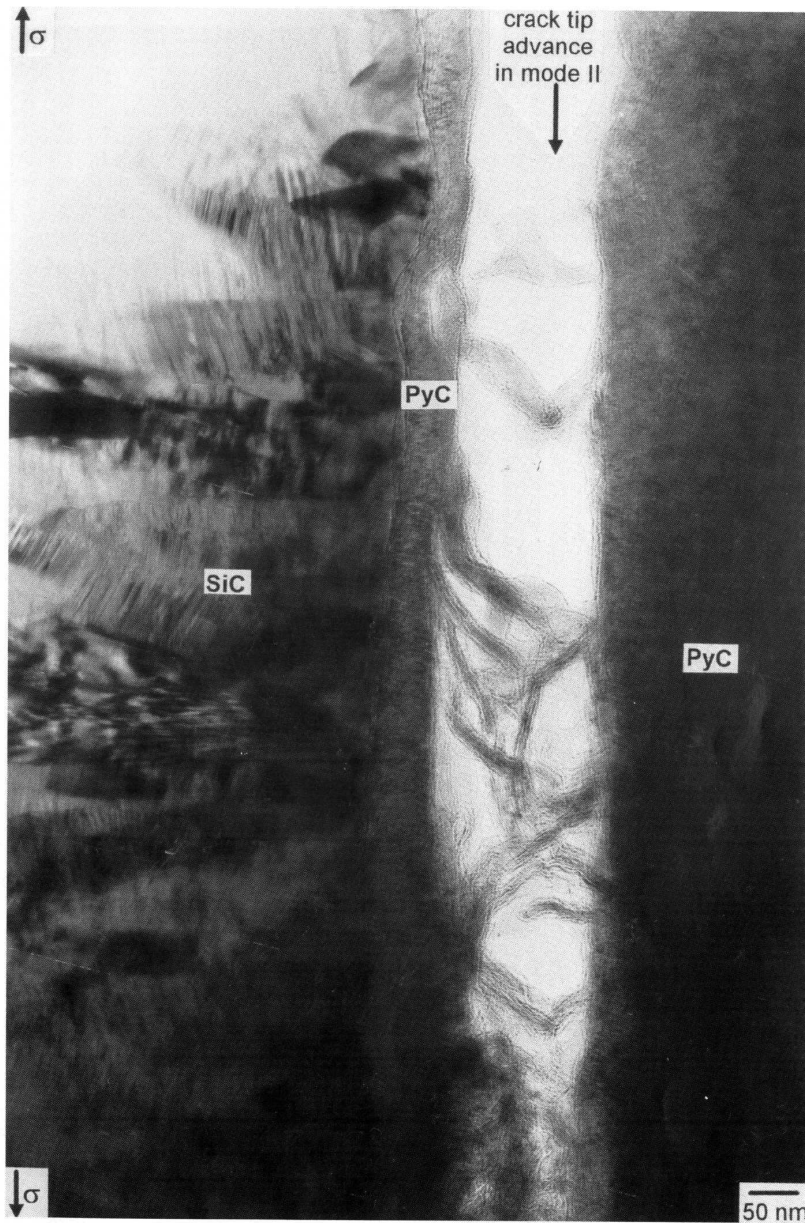


Figure 4. TEM micrograph showing the nanoscale bridging of the matrix microcrack lips by carbon ribbons in the PyC interphase, close to the SiC matrix, in a 2.5D C<sub>f</sub>-SiC specimen creep tested at 1473K under 220 MPa.

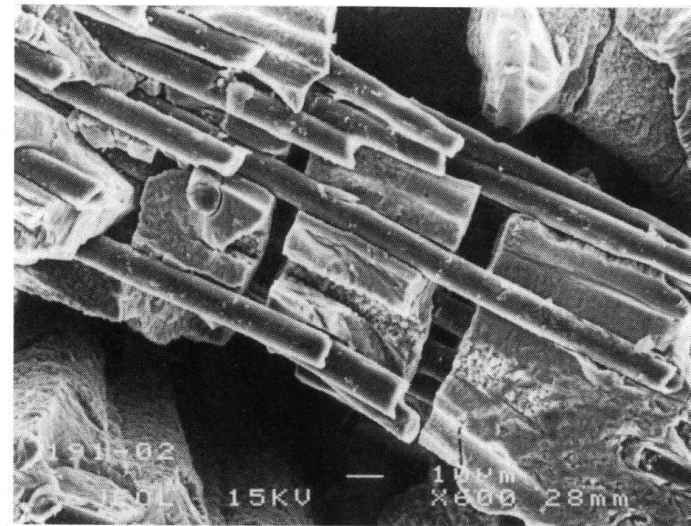


Figure 1. SEM micrograph of a matrix crack bridging for a 2.5D C<sub>f</sub>-SiC composite after creep test at 1673K under 220 MPa.

# MATERIAUX et MOBILITE

A Pineau

Centre des Matériaux – UMR CNRS 7633

Ecole des Mines de Paris

*andre.pineau@ensmp.fr*

## Plan

I - Introduction – Divers moyens de locomotion et Modes de déformation des matériaux

II - La Marche – Le Sport – Les Elastomères – les Ligaments – Les Stents

III- L'Automobile – La caisse en blanc : sécurité – L'échappement : environnement

IV- L'Avion - Un défi permanent

V – Conclusion : **Quelques interrogations**

86

## CONCLUSIONS

- Grande Variété de Réponses – Domaine multidisciplinaire fascinant et en constante évolution – Nanomatériaux ?
- Position Recherche Française : encore assez bonne
- Nombre des Etudiants en Matériaux ( surtout métallurgie) en diminution. Pourquoi? – **Quoi faire pour que la situation change ?**
- Position de l' Industrie Française.
  - de moins en moins bonne , surtout en métallurgie
  - **réaction salubre nécessaire**

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

[andre.pineau@ensmp.fr](mailto:andre.pineau@ensmp.fr)

Questions et Discussion