

Matériaux et structures composites au CReA

Olivier Montagnier (equipe dynamique du vol)
en collaboration avec le LMA-CNRS (Christian Hochard, Jean-Paul Charles, Gabriel Eyer, Noël Lahelec, Frédéric Mazerolle)

3^{ième} séminaire recherche ISAE, Salon-de-Provence, le 31 mars 2016



GRUPE
ISAE



- **Matériaux composites**

- Mécanique de l'endommagement
- Critère de rupture non local
- Effet de l'endommagement en compression

- **Structures aéronautiques composites**

- Epreuve technotype pale d'hélicoptère
- Arbres de transmission (hélico, convertibles, ...)
- Voilures composite application au cas des drones

- **Futur ?**

- **Matériaux composites**

- Mécanique de l'endommagement
- Critère de rupture non local
- Effet de l'endommagement en compression

- **Structures aéronautiques composites**

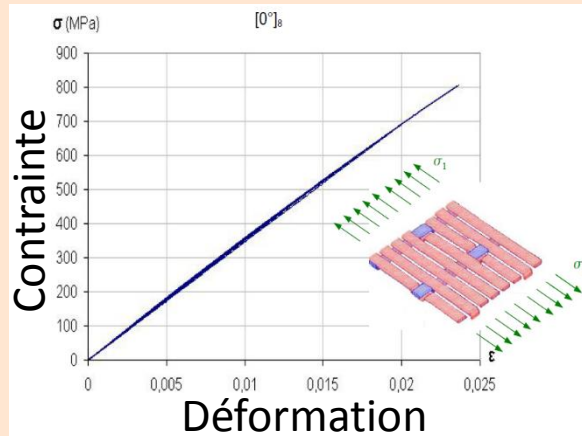
- Epreuve technotype pale d'hélicoptère
- Arbres de transmission (hélico, convertibles, ...)
- Voilures composite application au cas des drones

- **Futur ?**

Matériaux composites : mécanique de l'endommagement

- « Rappel » : Comportement d'un tissu déséquilibré fibres de verre/époxy
 - Petites perturbations, contraintes planes, pas d'endommagement en compression

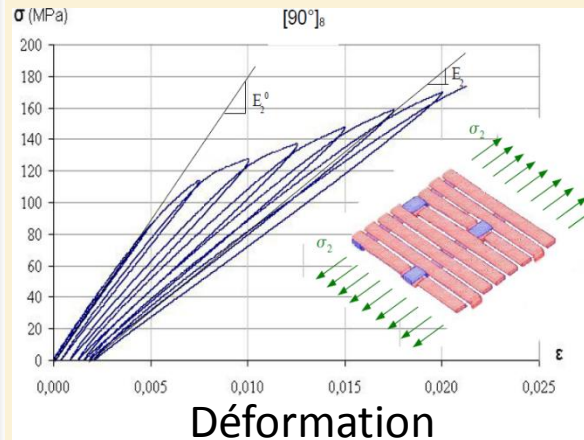
Traction sens chaîne



$$E_1 = E_1^0(1 - d_1)$$

$(d_1 = 0 \text{ ou } 1)$

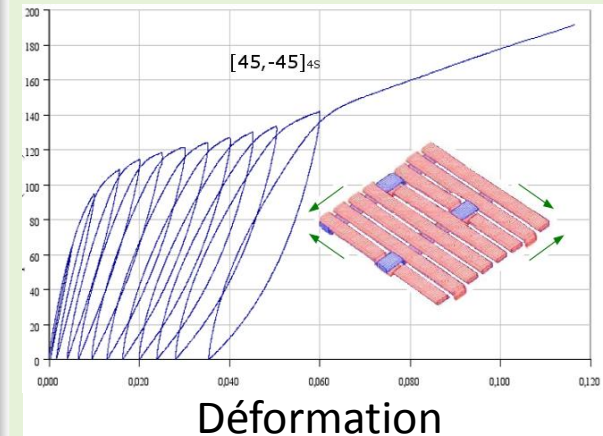
Traction sens trame



$$E_2 = E_2^0(1 - d_2)$$

(endommagement diffus)

Cisaillement



$$G_{12} = G_{12}^0(1 - d_{12})$$

avec $d_{12} = c d_2$
(endommagement diffus)

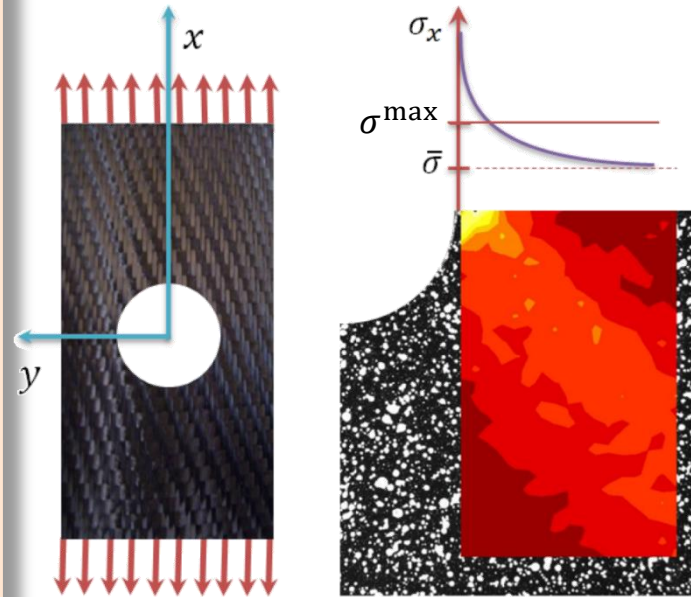
(FEM : tissé = 2 plis UD virtuels + ABAQUS UMAT ou SAMCEF)

Matériaux composites : critère de rupture non local

■ Rupture : critère local vs. Critère non local

- Exemple : plaque trouée quasi-iso carbone/époxy en tension
 - concentration de contrainte
 - critère local sous-estime largement la force à rupture
- Solutions possibles : critères « Point Stress » et « Average Stress »

J.M. Whitney and R.J. Nuismer. Stress fracture criteria for laminated composites containing stress concentrations. Journal of Composite Materials, 8(3):253–265, 1974.

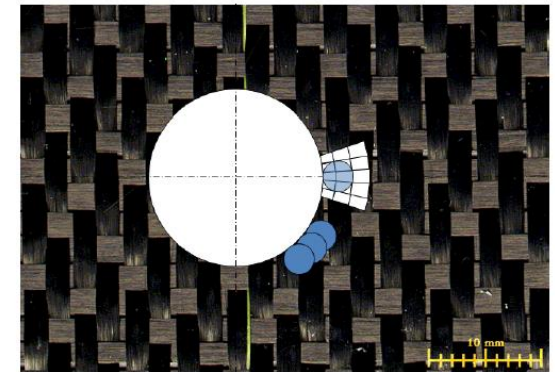
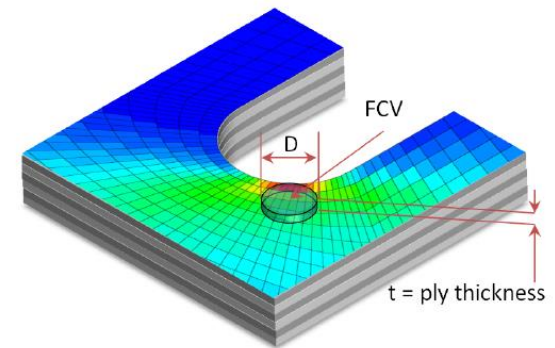


C. Hochard, N. Lahellec, and C. Bordreuil. A ply scale non-local fibre rupture criterion for cfrp woven ply laminated structures. Composite Structures, 80(3): 321–326, 2007

Matériaux composites : critère de rupture non local

■ Rupture : critère local vs. Critère non local

- Exemple : plaque trouée quasi-iso carbone/époxy en tension
 - concentration de contrainte
 - critère local sous-estime largement la force à rupture
- Solutions possibles : critères « Point Stress » et « Average Stress »
- Implémentation d'un critère type « Average Stress » dans la direction des fibres sur un volume de rupture caractéristique (FCV)
 - ABAQUS URDFIL et SAMCEF
 - Appliqué partout dans tous les plis
 - insensible au maillage

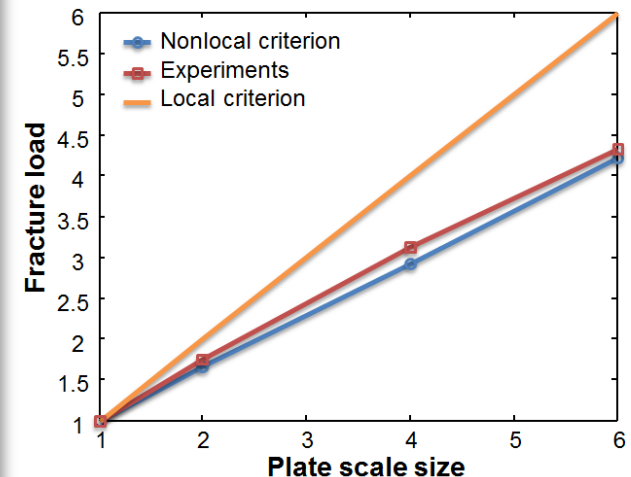
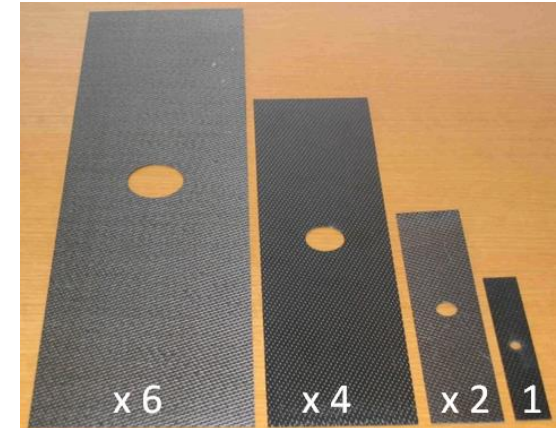


C. Hochard, N. Lahellec, and C. Bordreuil. A ply scale non-local fibre rupture criterion for cfrp woven ply laminated structures. *Composite Structures*, 80(3): 321–326, 2007

Matériaux composites : critère de rupture non local

■ Rupture : critère local vs. Critère non local

- Exemple : plaque trouée quasi-iso carbone/époxy en tension
 - concentration de contrainte
 - critère local sous-estime largement la force à rupture
- Solutions possibles : critères « Point Stress » et « Average Stress »
- Implémentation d'un critère type « Average Stress » dans la direction des fibres sur un volume de rupture caractéristique (FCV)
 - ABAQUS URDFIL et SAMCEF
 - Appliqué partout dans tous les plis
 - insensible au maillage

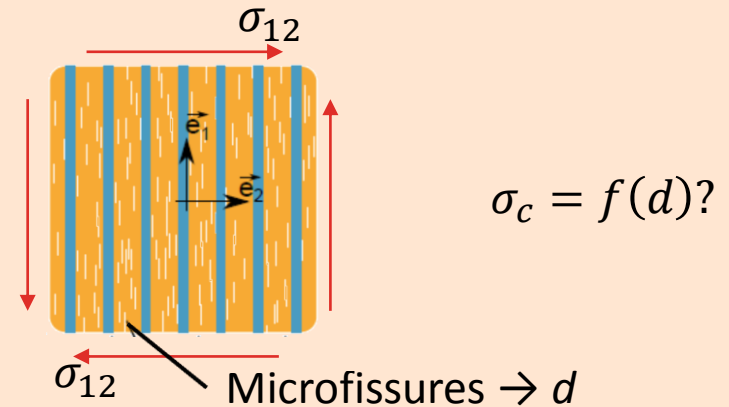
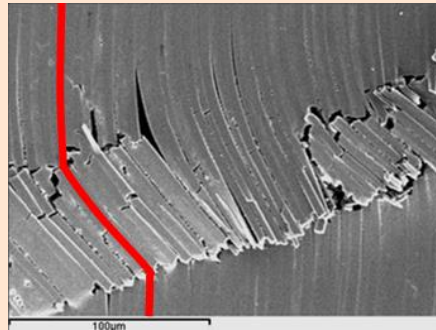


C. Hochard, N. Lahellec, and C. Bordreuil. A ply scale non-local fibre rupture criterion for cfrp woven ply laminated structures. Composite Structures, 80(3): 321–326, 2007

Matériaux composites : effet de d en compression

■ Rupture en compression : effet de l'endommagement transverse (thèse G. Eyer)

○ Approche micromécanique



○ Approche expérimentale $\rightarrow$ modélisation méso

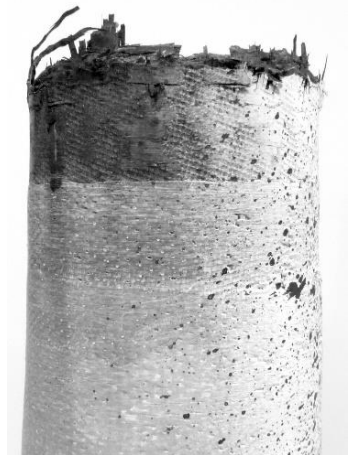
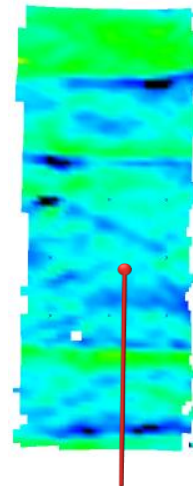
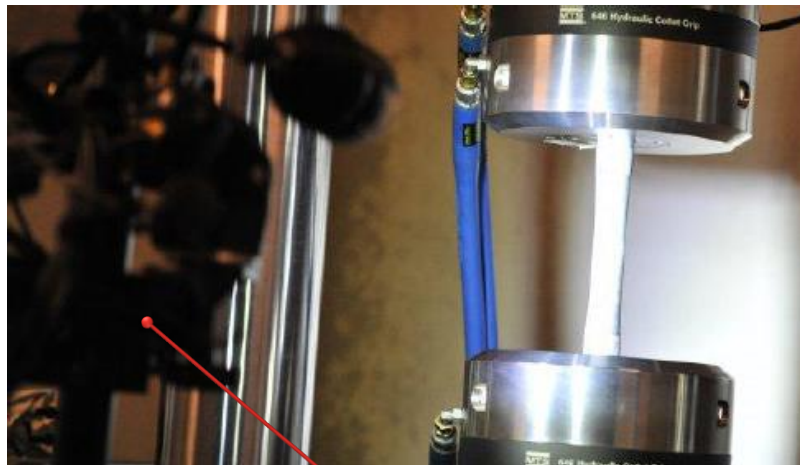
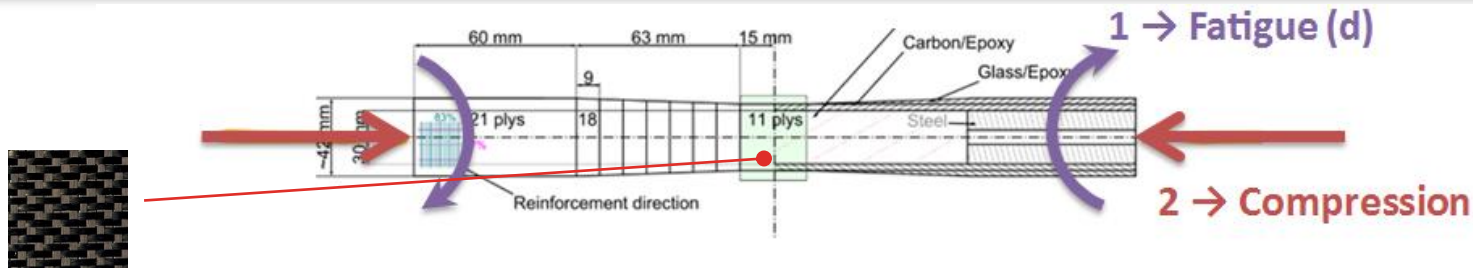
- Compression = essai très complexe à cause du **flambage** et/ou des **concentrations de contrainte**

O. Montagnier & Ch. Hochard, *Compression characterization of high modulus carbon fibers*, Journal of Composite Materials, Vol. 39, 35-49 (2005).

- Proposition
 - ✓ Un **essai sur tube pré-endommagés**
 - ✓ Un **essai sur barreau avec concentrations de contrainte**

Matériaux composites : effet de d en compression

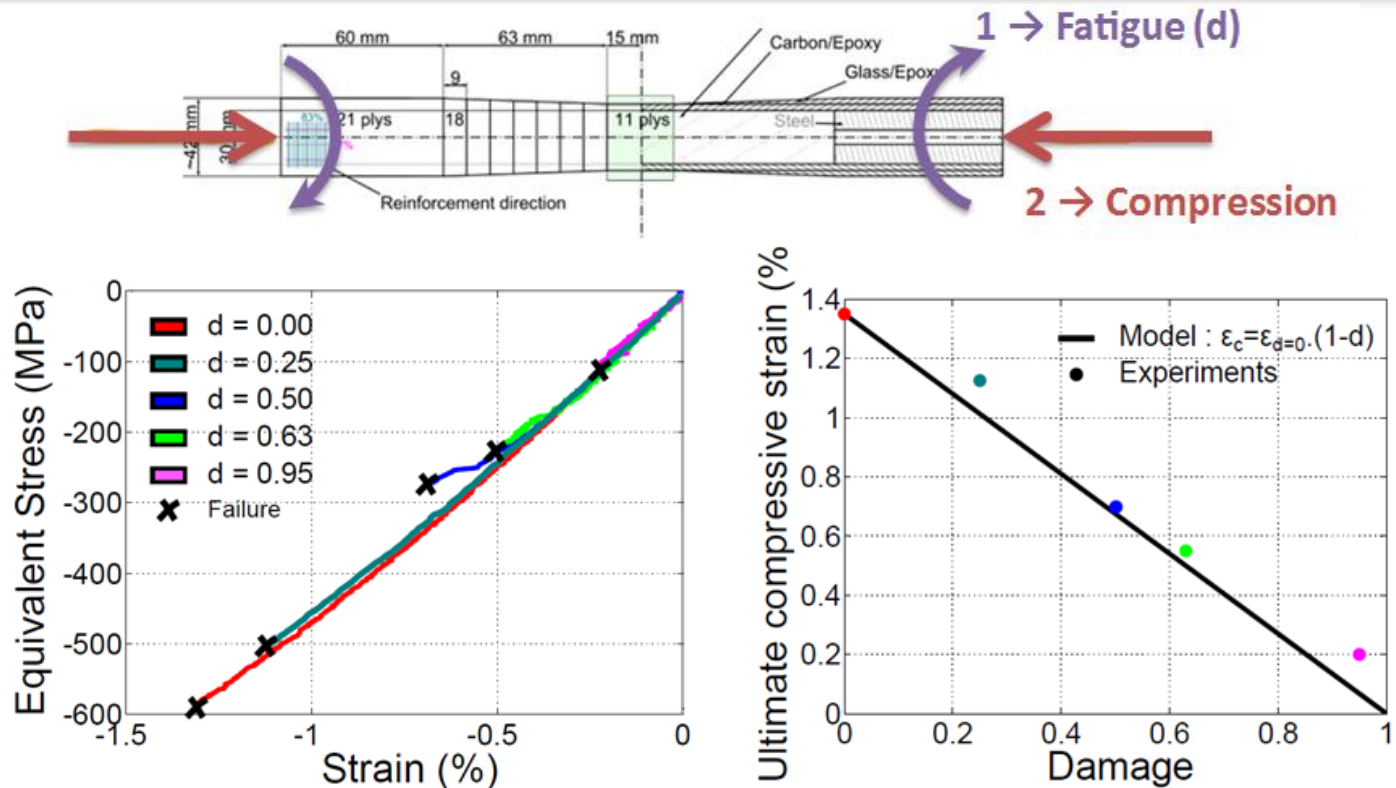
■ Essai de compression sur tubes pré-endommagés



Système de corrélation d'image 3D (DIC)

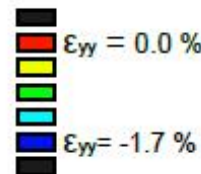
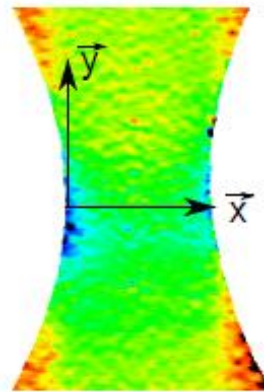
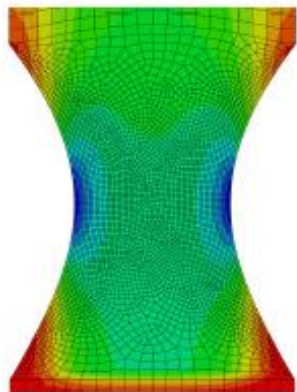
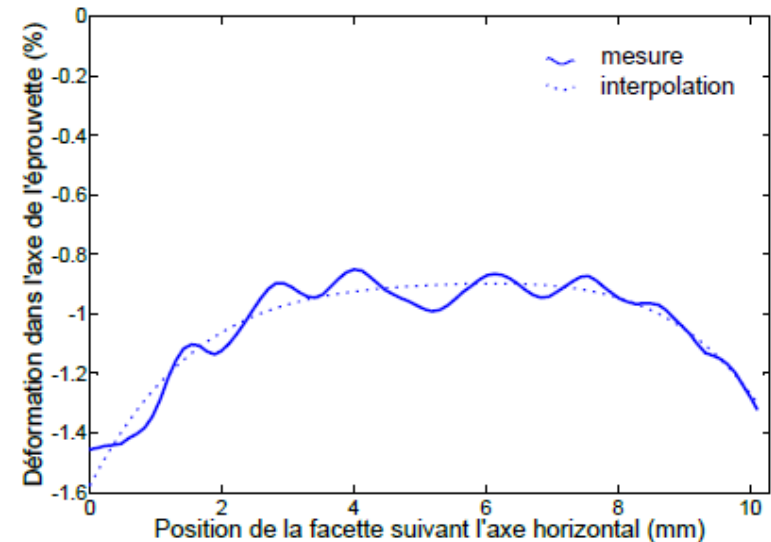
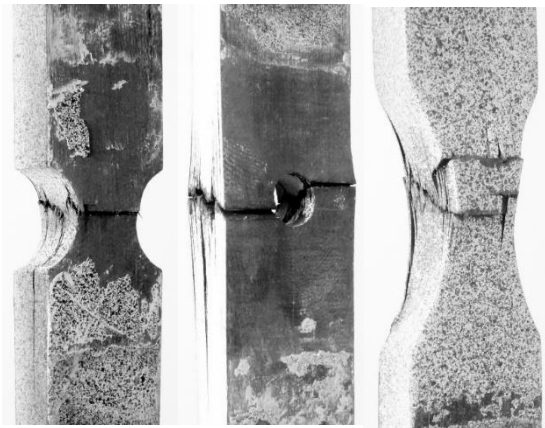
Matériaux composites : effet de d en compression

■ Essai de compression sur tubes pré-endommagés



Matériaux composites : effet de d en compression

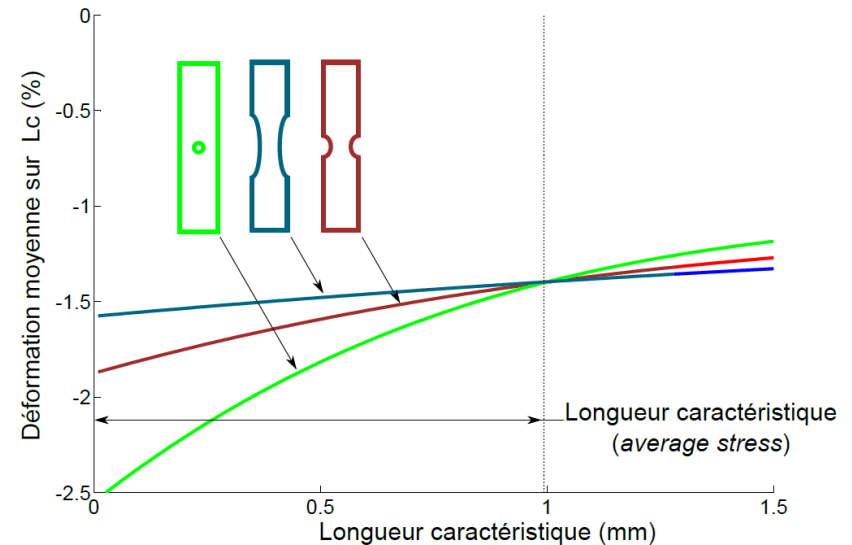
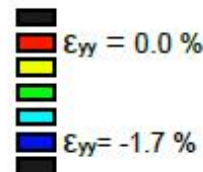
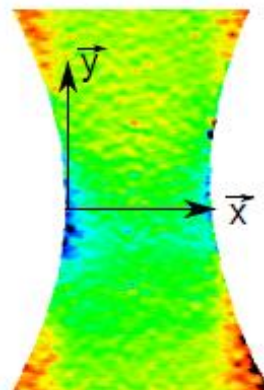
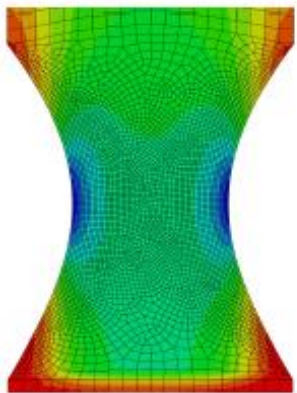
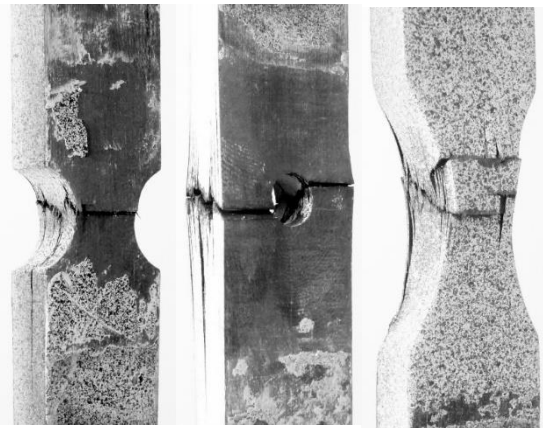
- Essai de compression sur barreaux avec concentration de contrainte: **cas non endommagé**



G. Eyer, O. Montagnier, J.-P. Charles, F. Mazerolle & C. Hochard, Influence de l'alignement des fibres sur la rupture des composites en compression sens fibre. soumis à Matériaux et techniques

Matériaux composites : effet de d en compression

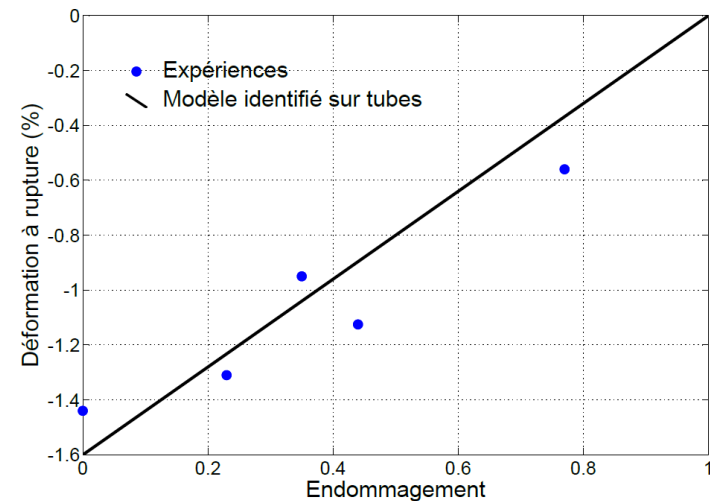
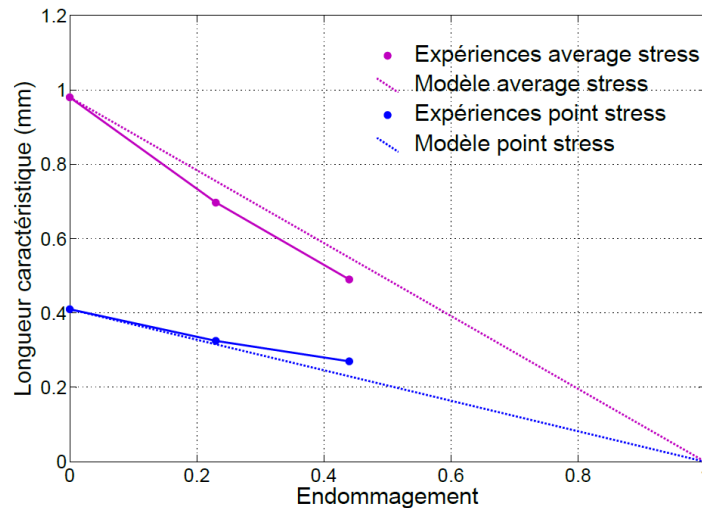
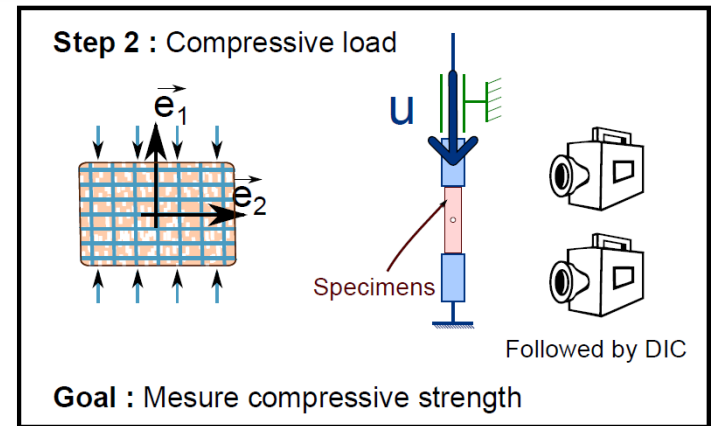
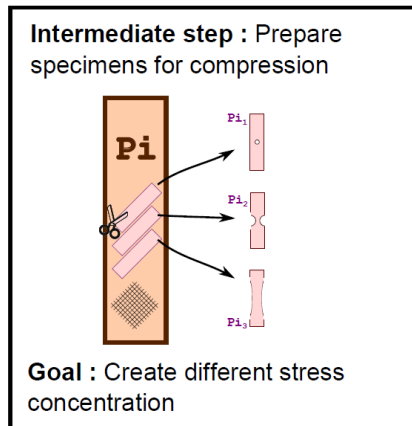
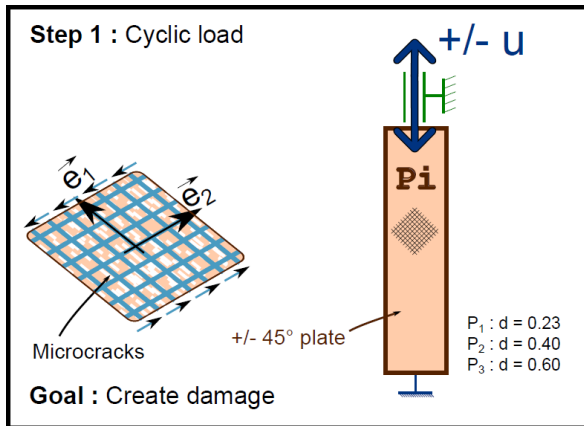
- Essai de compression sur barreaux avec concentration de contrainte: **cas non endommagé**



G. Eyer, O. Montagnier, J.-P. Charles, F. Mazerolle & C. Hochard, Influence de l'alignement des fibres sur la rupture des composites en compression sens fibre. soumis à Matériaux et techniques

Matériaux composites : effet de d en compression

■ Essai de compression sur barreaux avec concentration de contrainte: **cas endommagé**



- **Matériaux composites**
 - Mécanique de l'endommagement
 - Critère de rupture non local
 - Effet de l'endommagement en compression
- **Structures aéronautiques composites**
 - Epreuve technotype pale d'hélicoptère
 - Arbres de transmission (hélico, convertibles, ...)
 - Voilures composite application au cas des drones
- **Futur ?**

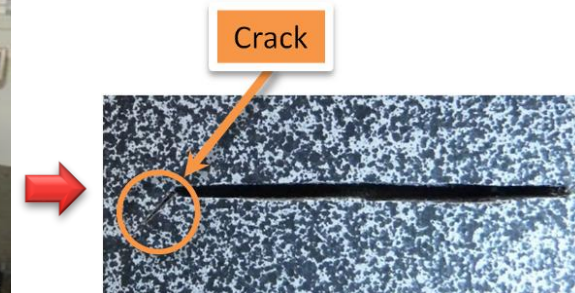
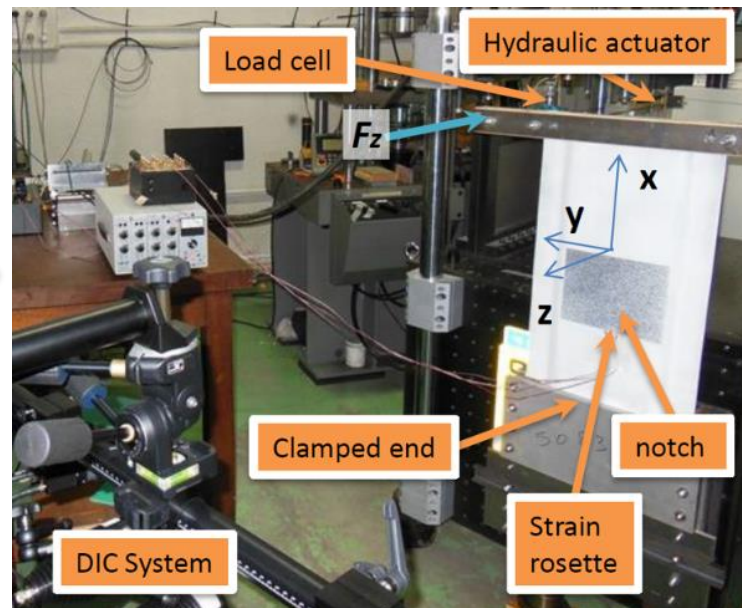
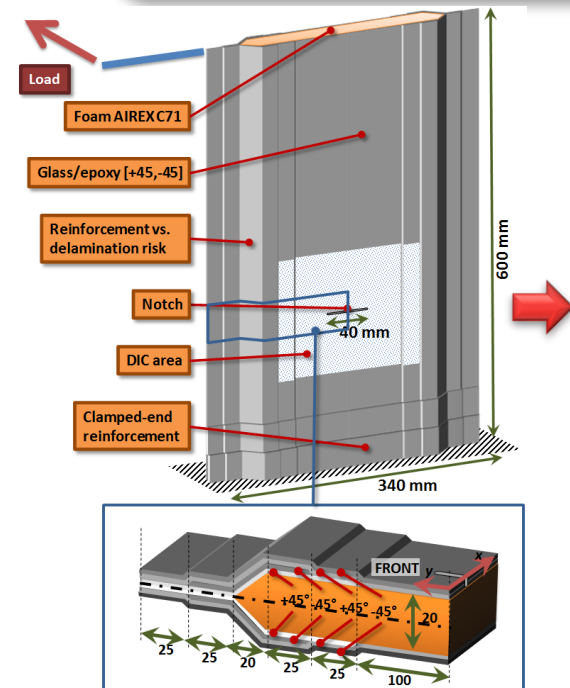
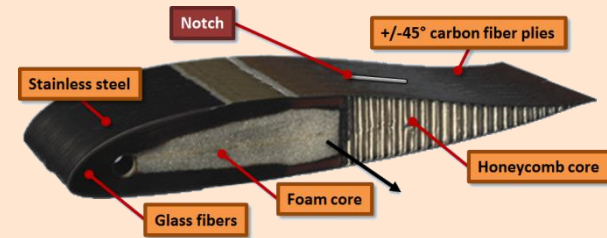
Structures aéronautiques: épreuve techno type pale

■ Épreuve techno

- Ressemble à une pale fissurée
- Plus simple à fabriquer

■ Objectif

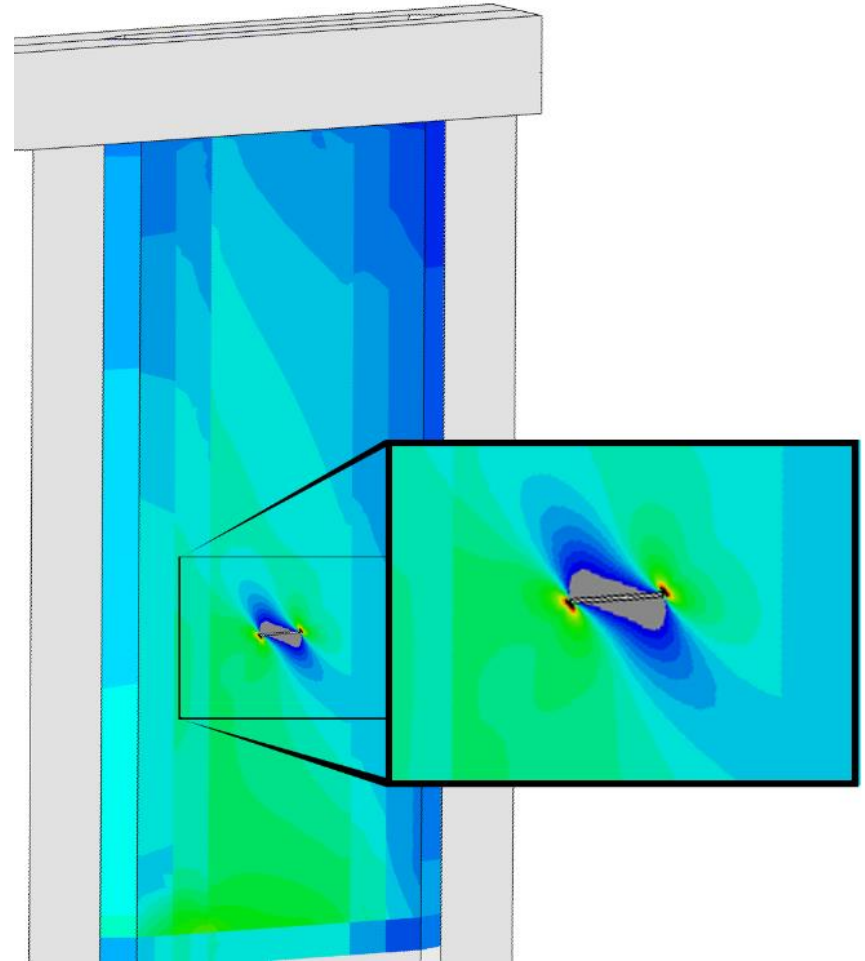
- Prédire l'initiation de la fissure dans le cas de concentrations de contrainte et d'un chargement complexe



Structures aéronautiques: épreuve techno type pale

■ Résultats

- Calcul uniquement dans la zone de mesure (DIC)
- Conditions limites = déplacements mesurés par la DIC

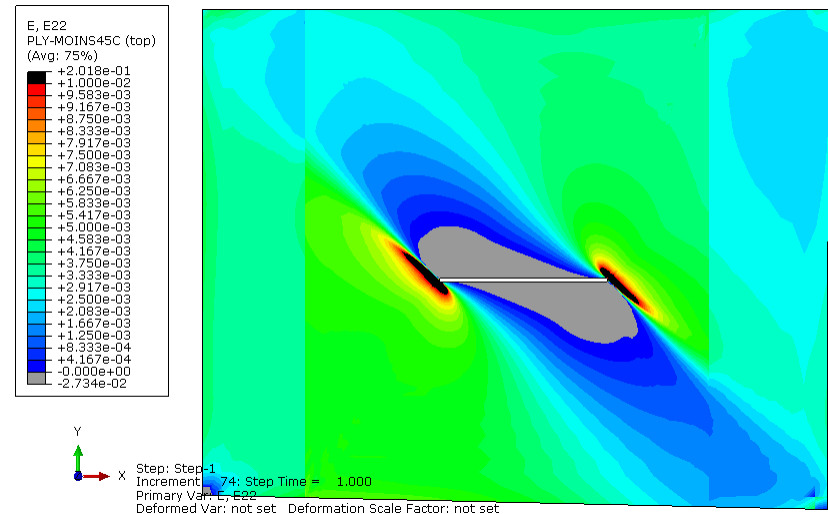
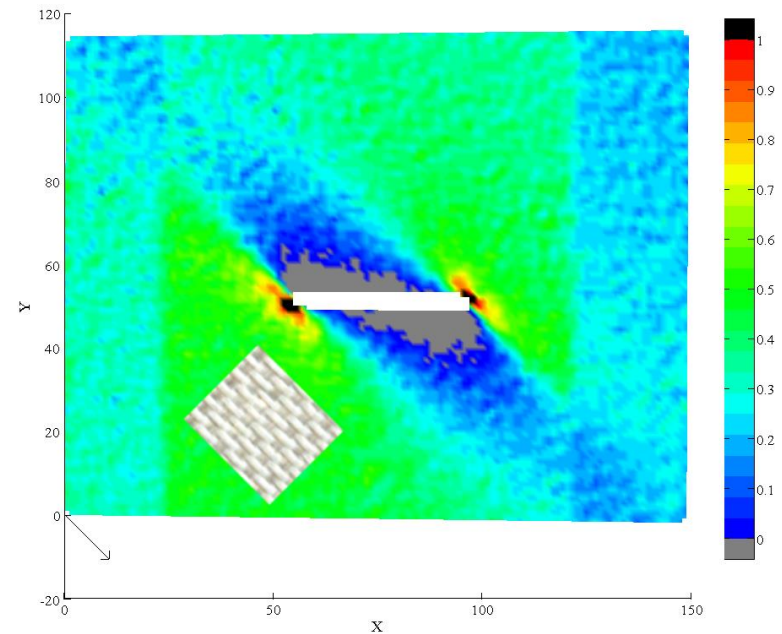


O. Montagnier, J.-P. Charles, G. Eyer, Ch. Hochard, N. Lahellec & F. Mazerolle, *Composite sandwich structure with a notch in bending/torsion: test and simulation up to rupture*, 20th International Conference on Composite Materials, Copenhagen, 2015.

Structures aéronautiques: éprouvette techno type pale

■ Résultats

- Calcul uniquement dans la zone de mesure (DIC)
- Conditions limites = déplacements mesurés par la DIC
- Déformations longitudinales dans le pli à 45°
 - Très bonne corrélation



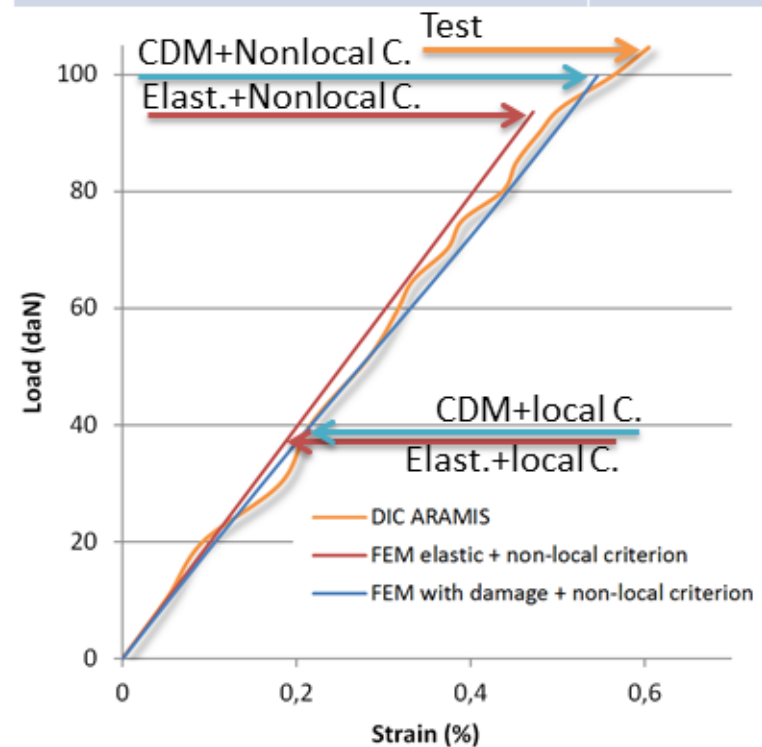
O. Montagnier, J.-P. Charles, G. Eyer, Ch. Hochard, N. Lahellec & F. Mazerolle, *Composite sandwich structure with a notch in bending/torsion: test and simulation up to rupture*, 20th International Conference on Composite Materials, Copenhagen, 2015.

Structures aéronautiques: épreuve type pale

■ Résultats

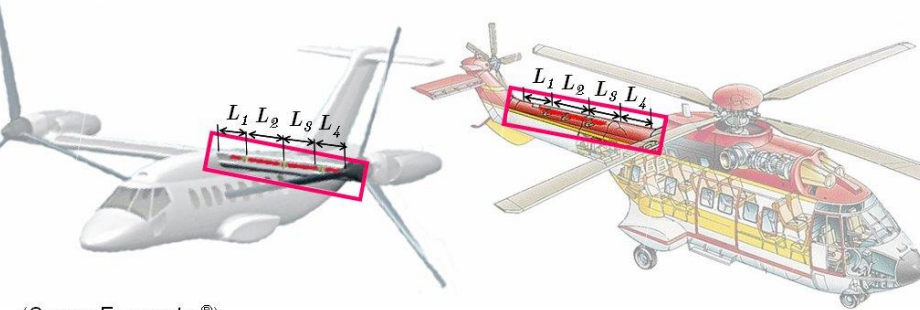
- Calcul uniquement dans la zone de mesure (DIC)
- Conditions limites = déplacements mesurés par la DIC
- Déformations longitudinales dans le pli à 45°
 - Très bonne corrélation
- Critère local inefficace

Force at failure		
Elastic	Local criteria	38 daN
	Nonlocal criteria	94 daN
Damage mechanics	Local criteria	39 daN
	Nonlocal criteria	100 daN
Experiment		104 daN



O. Montagnier, J.-P. Charles, G. Eyer, Ch. Hochard, N. Lahellec & F. Mazerolle, *Composite sandwich structure with a notch in bending/torsion: test and simulation up to rupture*, 20th International Conference on Composite Materials, Copenhagen, 2015.

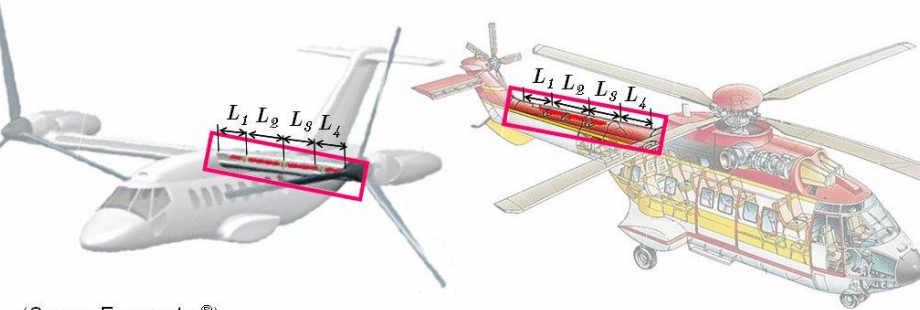
Structures aéronautiques: arbre de transmission composite



(Source Eurocopter®)

- Arbres classiques en aluminium:
 - Vitesse nominale < première vitesse critique = **souscritique**
 - Plusieurs arbres requis → maintenance et masse excessives
- Solution : arbres **composite** + vitesse **supercritique**

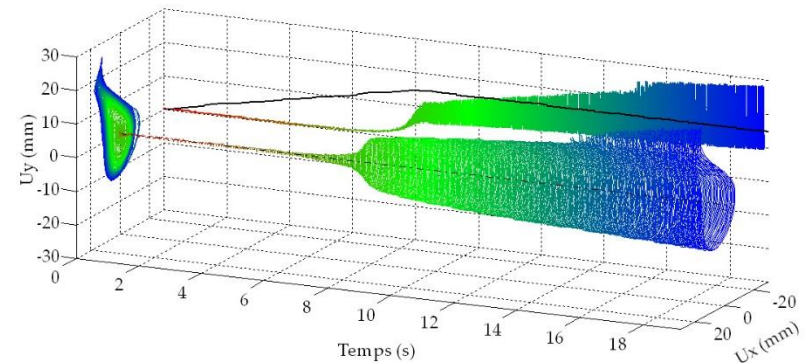
Structures aéronautiques: arbre de transmission composite



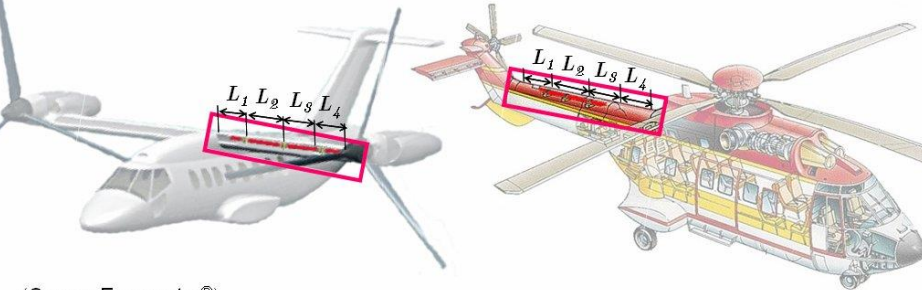
(Source Eurocopter®)

■ Plusieurs effets étudiés

- Instabilités par amortissement tournant
 - Expérimental
 - Modèles analytiques



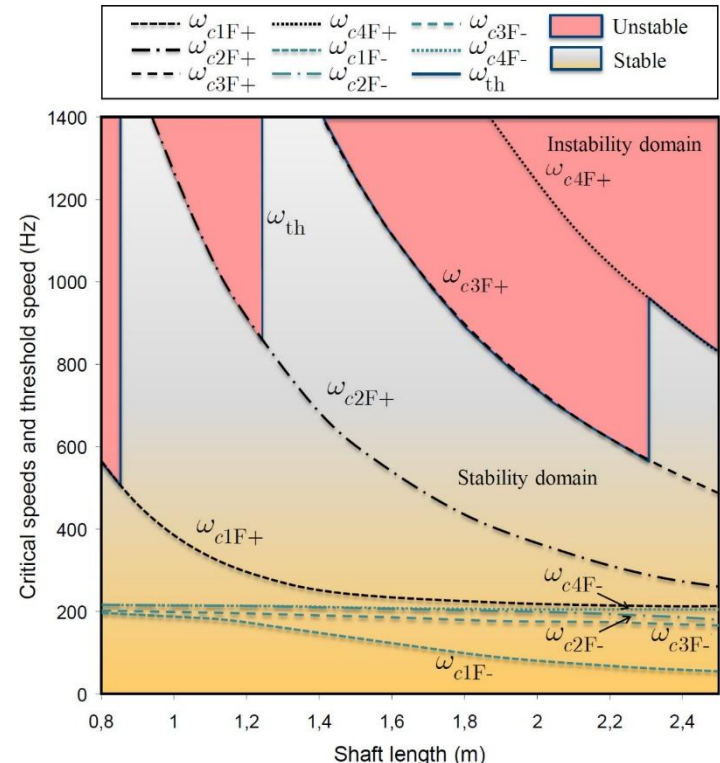
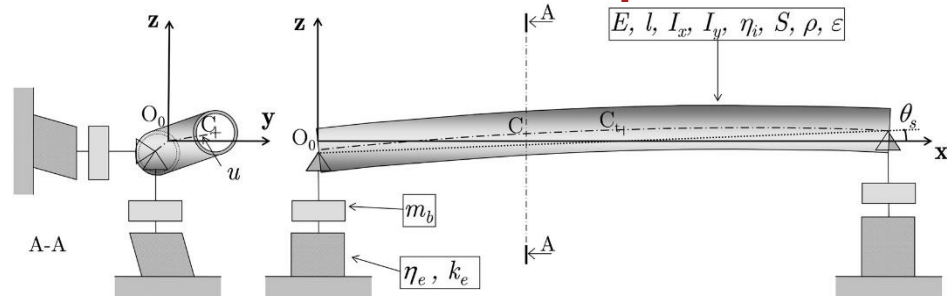
Structures aéronautiques: arbre de transmission composite



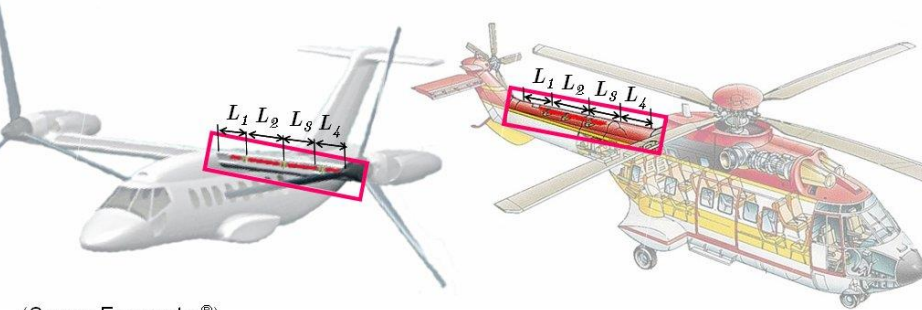
(Source Eurocopter®)

Plusieurs effets étudiés

- Instabilités par amortissement tournant
 - Expérimental
 - Modèles analytiques



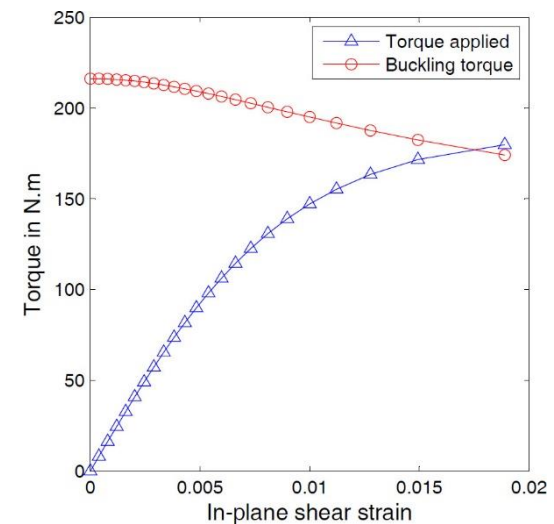
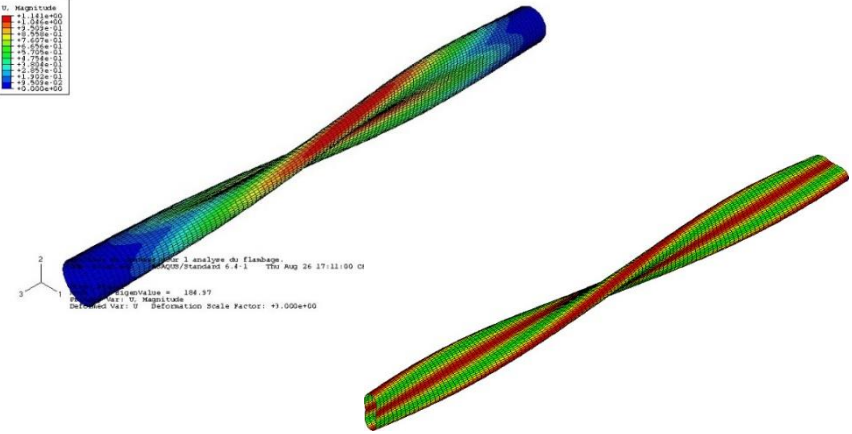
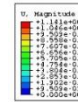
Structures aéronautiques: arbre de transmission composite



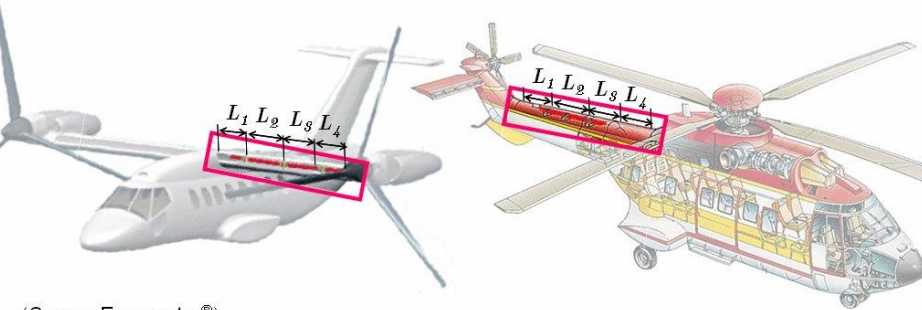
(Source Eurocopter®)

■ Plusieurs effets étudiés

- Instabilités par amortissement tournant
 - Expérimental
 - Modèles analytiques
- Flambage en torsion
 - Modèles quasi-analytiques
 - Effet de l'endommagement



Structures aéronautiques: arbre de transmission composite

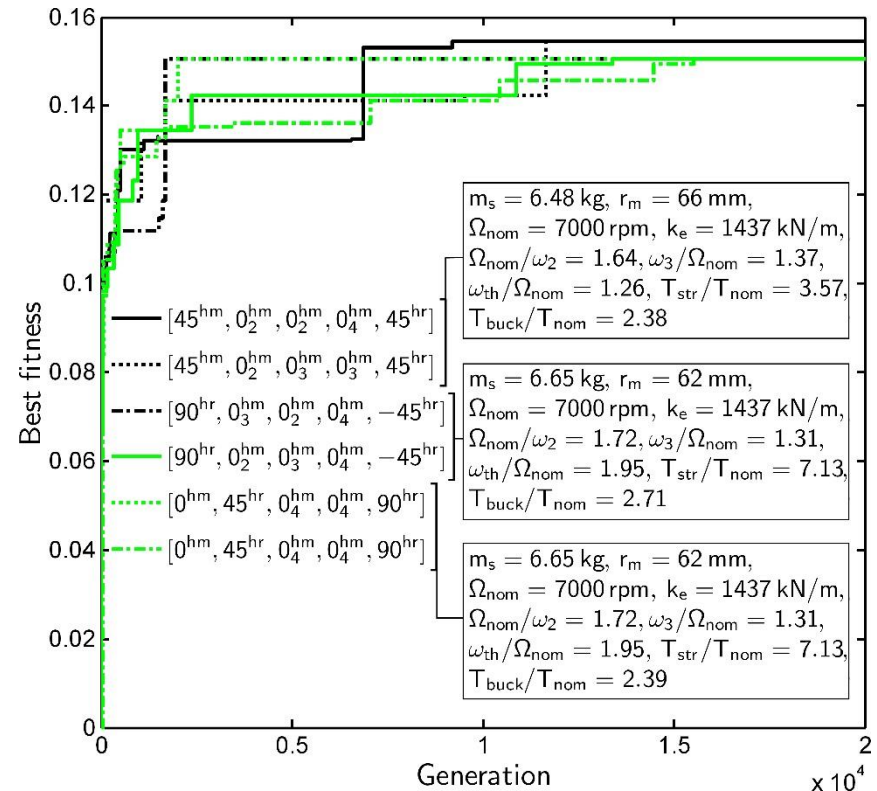


(Source Eurocopter®)

■ Plusieurs effets étudiés

- Instabilités par amortissement tournant
 - Expérimental
 - Modèles analytiques
- Flambage en torsion
 - Modèles quasi-analytiques
 - Effet de l'endommagement

■ Optimisation globale par algorithme génétique (AG)



O. Montagnier & Ch. Hochard, *Dynamics of a supercritical composite shaft mounted on viscoelastic supports*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 333 (2), 470-484 (2014)

O. Montagnier Ch. Hochard, *Effect of damage on the torsional buckling of carbon/epoxy drive shafts with a shell theory*, 15th ECCM, Venice, 2012.

O. Montagnier & Ch. Hochard, *Optimisation of hybrid high-modulus/high-strength carbon fibre reinforced plastic composite drive shafts*, Materials and Design, Vol. 46, 88-100 (2013)

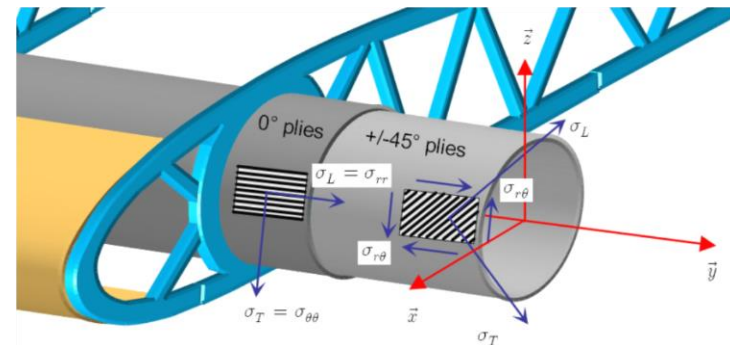
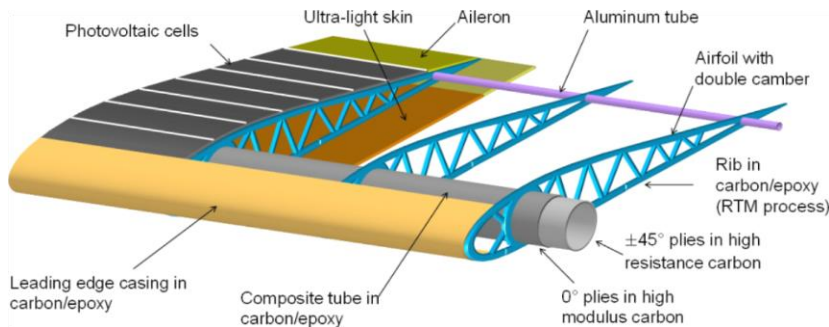
Structures aéronautiques: voilures composite (cas des drones)

■ Modèle de masse voilure

- Approche statistique : pas de données disponibles
- Proposition de modèles analytiques génériques

■ Cas 1 : drone HALE solaire

- Optimisation multi-disciplinaire (avec Lcl L. Bovet)



O Montagnier and L Bovet. *Optimisation of a solar-powered high altitude long endurance UAV*. In Proceedings of the 25th International Congress of the Aeronautical Sciences. 2010

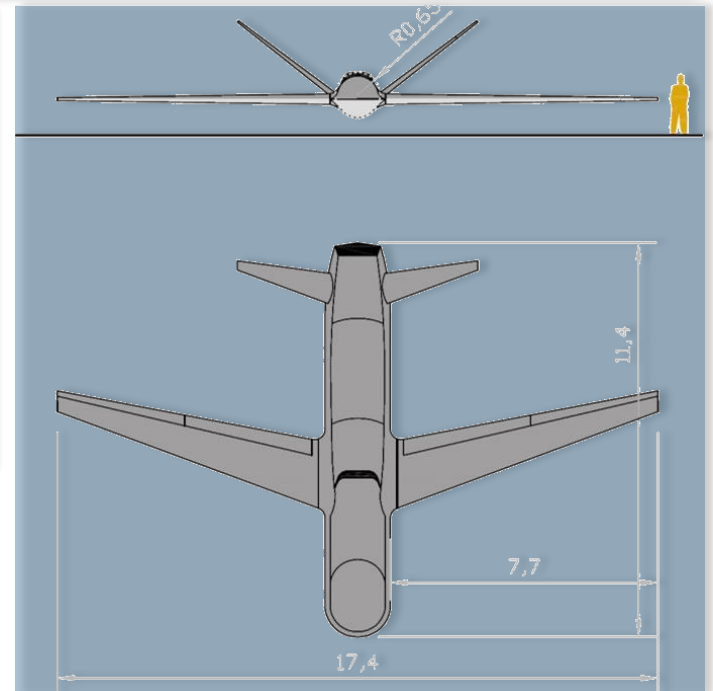
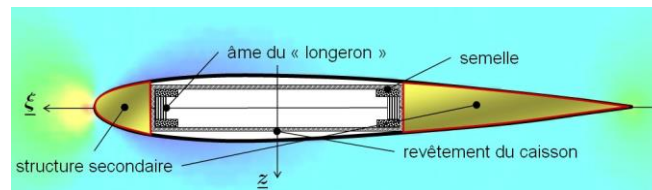
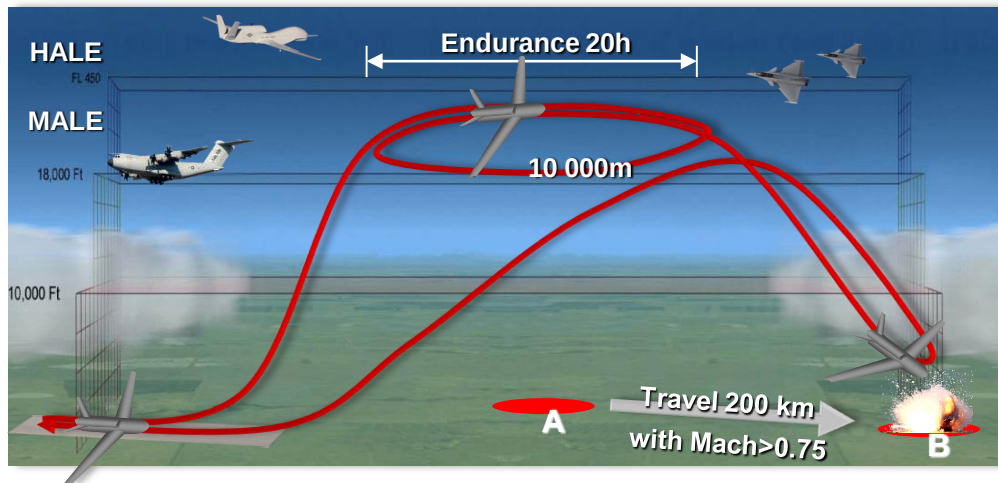
Structures aéronautiques: voilures composite (cas des drones)

■ Modèle de masse voilure

- Approche statistique : pas de données disponibles
- Proposition de modèles analytiques génériques

■ Cas 2 : drone Multi-rôle (pour l'EMAA)

- Optimisation multi-disciplinaire (avec S. Kolb et Lcl B. Viaud)



- **Matériaux composites**
 - Mécanique de l'endommagement
 - Critère de rupture non local
 - Effet de l'endommagement en compression
- **Structures aéronautiques composites**
 - Epreuve technotype pale d'hélicoptère
 - Arbres de transmission (hélico, convertibles, ...)
 - Voilures composite application au cas des drones
- **Futur ?**

■ Matériaux composites

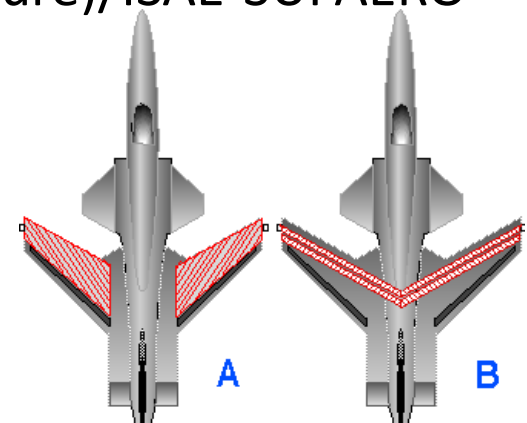
- Evolution de la modélisation ABAQUS (compression)
- Poursuite des travaux sur le critère non local (+ thermoplastiques)

■ Structure composites

- Evolution de l'XP au CReA-EA (machine de traction + machine d'essai arbres)

■ Aéroélasticité

- Thèse du Cne Bertrand Kirsch « *Apport de l'anisotropie des matériaux composites aux performances aéroélastiques des ailes à grand allongement de drones HALE* »
Collaboration CReA-EA (O. Montagnier, Th Faure)/ISAE-SUPAERO (E. Bénard)



Questions ?