



---

Institut Mines-Télécom

# Composites à fibres naturelles en condition d'utilisation sévères: comportement mécanique et réaction au feu

Laurent Ferry, Rodolphe Sonnier, Romain Léger, Stéphane Corn, Patrick Ienny  
C2MA, Ecole des Mines d'Alès  
6 avenue de Clavières 30319 Alès cedex



- Substitution des fibres traditionnelles par des fibres naturelles dans les composites
  - Propriétés mécaniques spécifiques élevées
  - Réduction des impacts environnementaux et sanitaires
  - Possibilité de donner un caractère ( finition) naturel



- Nécessité de prendre en compte les spécificités des renforts naturels lors d'exposition à des conditions sévères
  - En service: problématique de durabilité (vieillessement)
  - En situation accidentelle: problématique de réaction au feu

# DURABILITÉ DES BIOCOMPOSITES



# Durabilité des composites

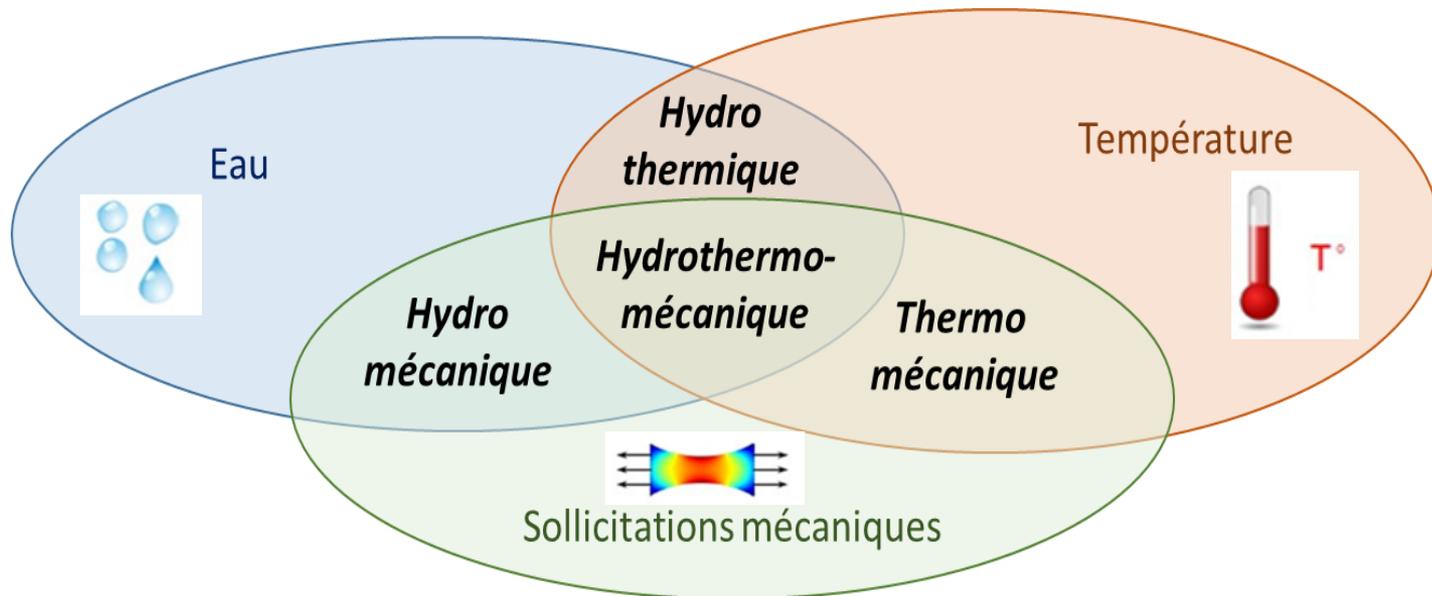


outremer  
YACHTING



Comportement en service de **pièces structurales** pour industries nautique, aéronautique et automobile

## Méthodologie pour l'étude du vieillissement en service des composites



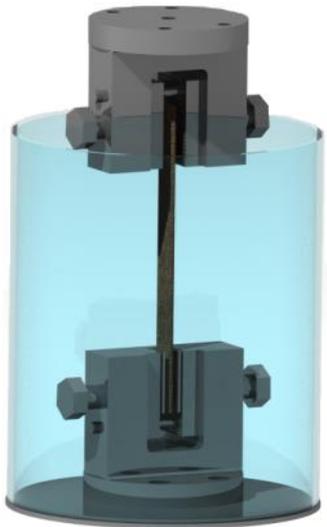
# Moyens expérimentaux (1)



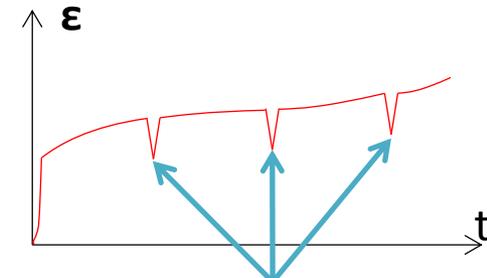
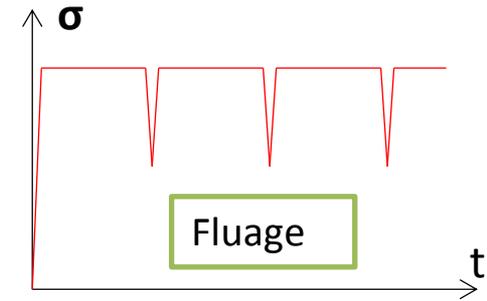
Thermo-hydraulique



Thermo-hydro-mécanique



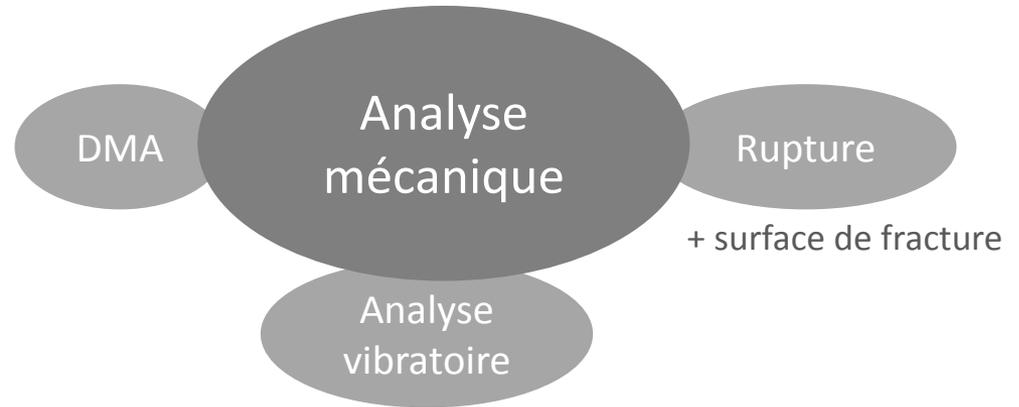
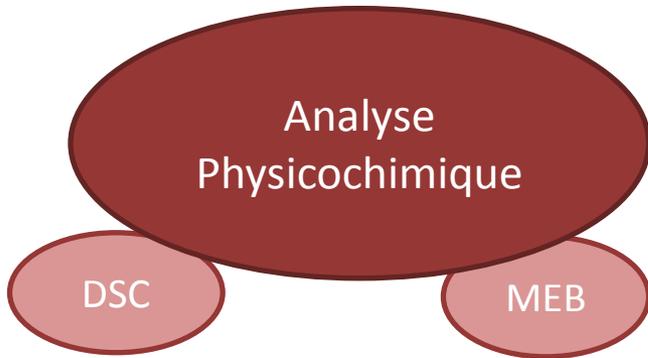
Thermo-mécanique



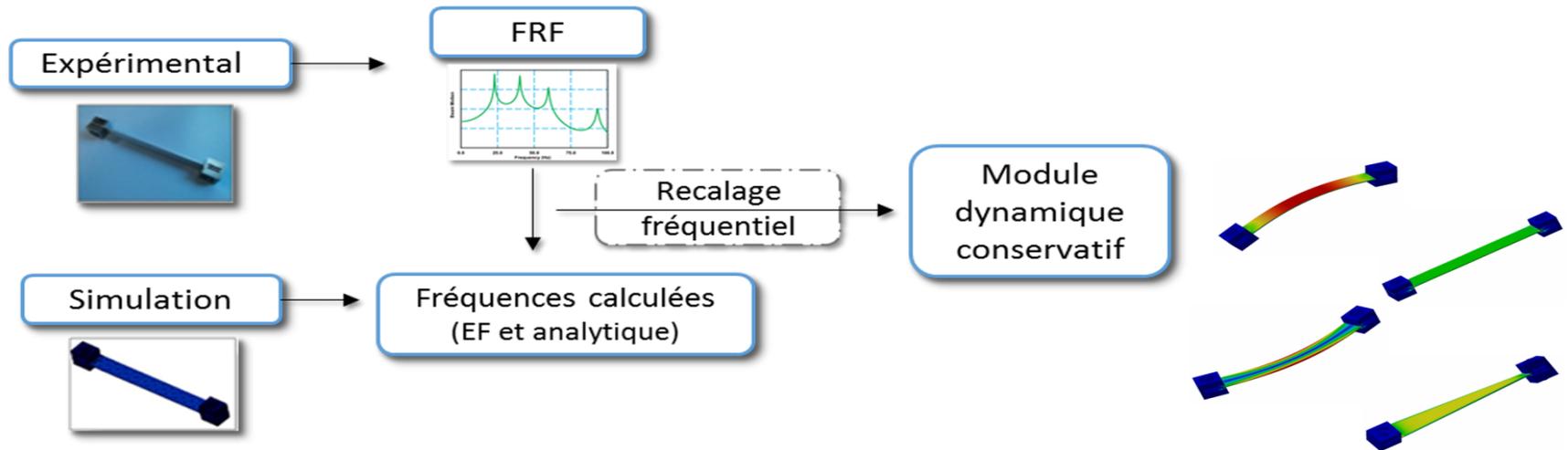
Module d'élasticité

Prise en masse  
Variation de volume  
...

# Moyens expérimentaux (2)

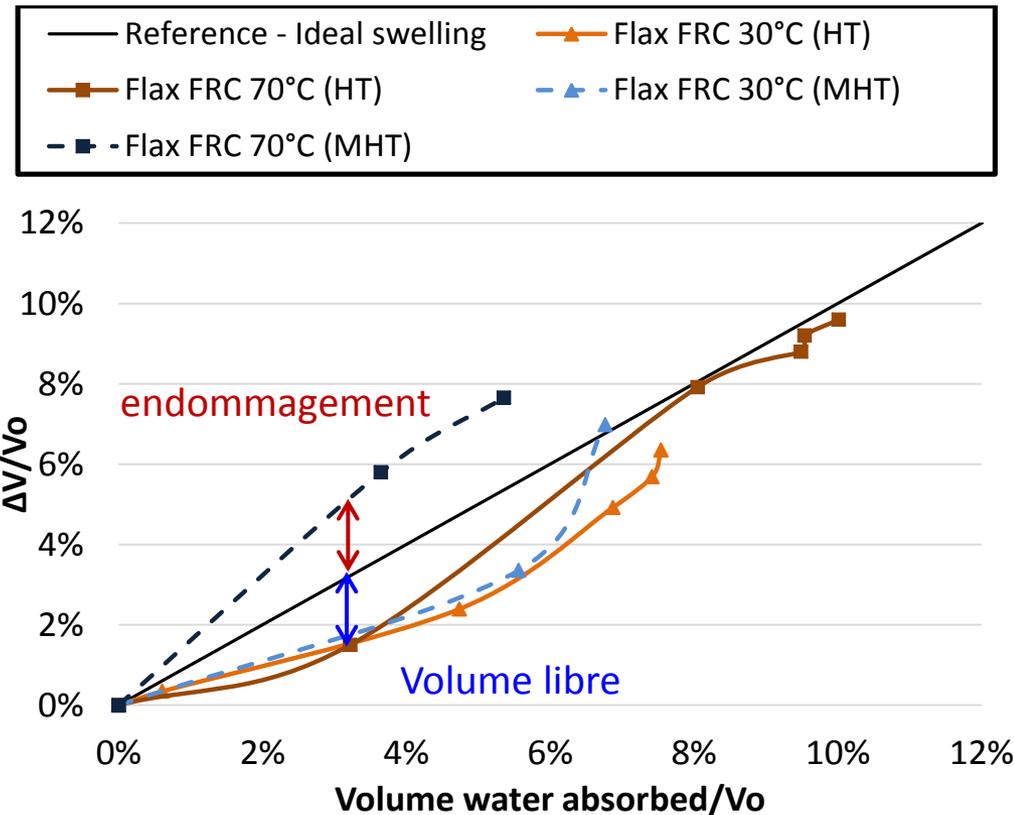
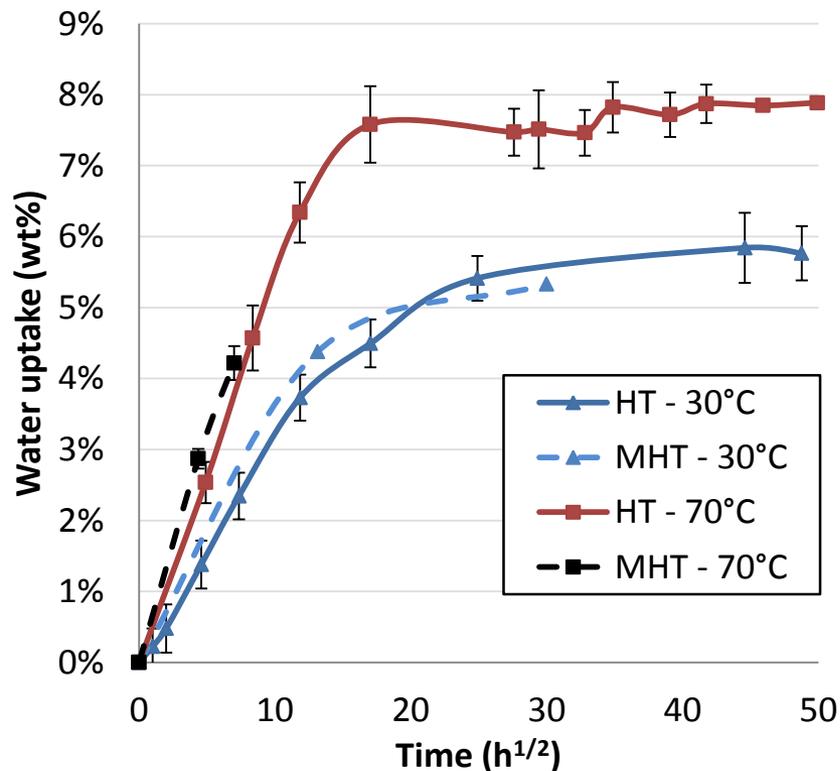


Suivi non destructif du comportement mécanique

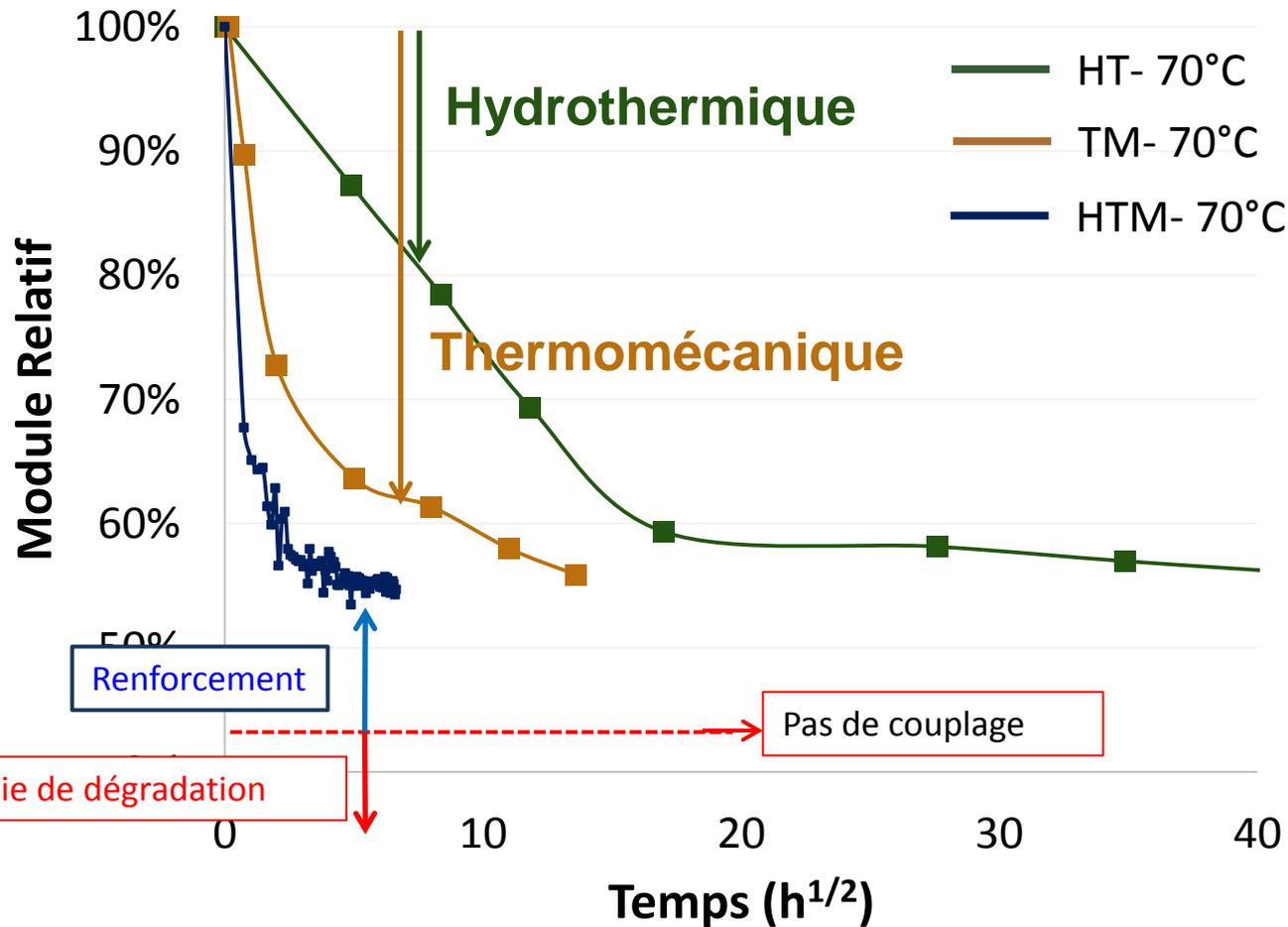


## ■ Vieillissement d'un composite UPR/Lin

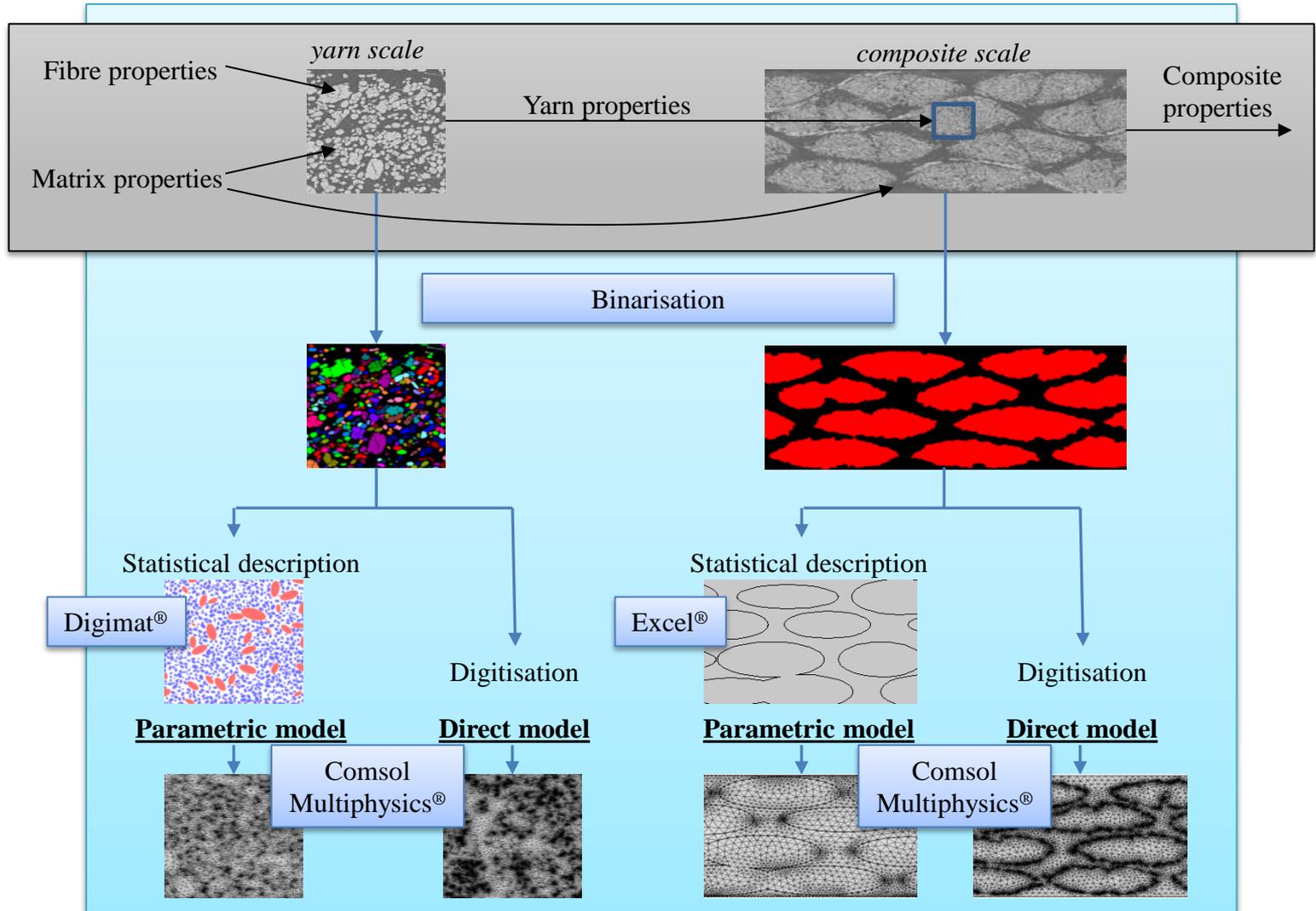
- Hydro-Thermique: HT
- Hydro-Thermo-Mécanique: HTM



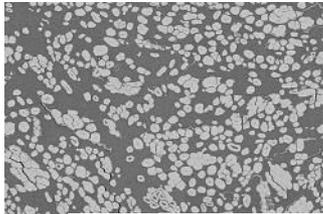
Influence des sollicitations mécaniques – Prise en masse et gonflement



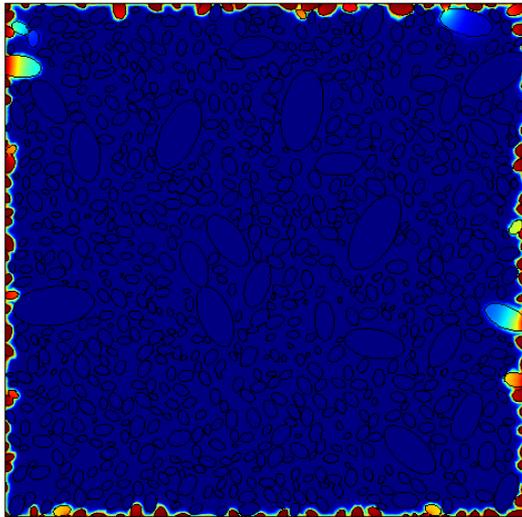
# Stratégie de Modélisation



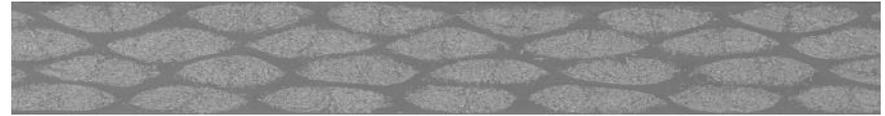
## Modèle paramétrique



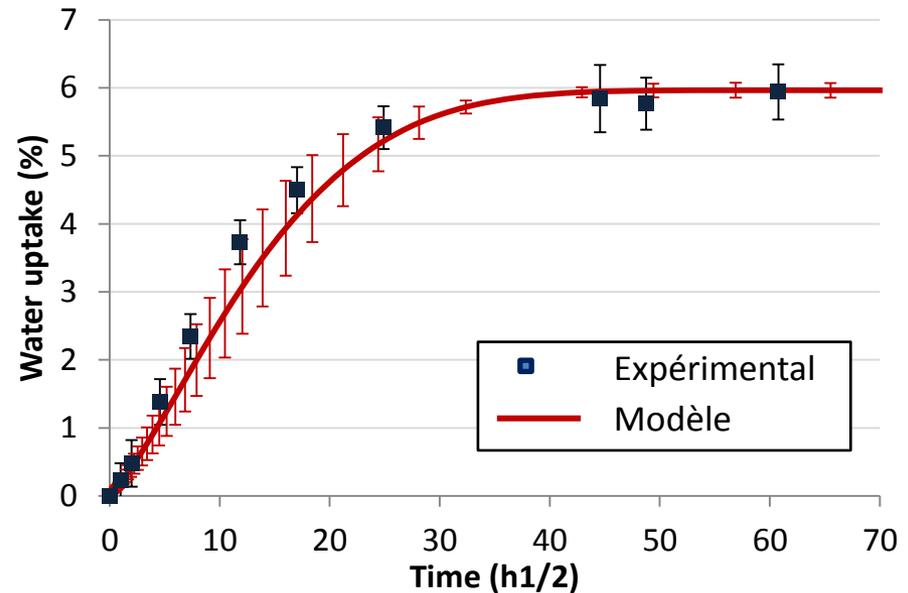
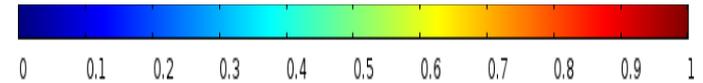
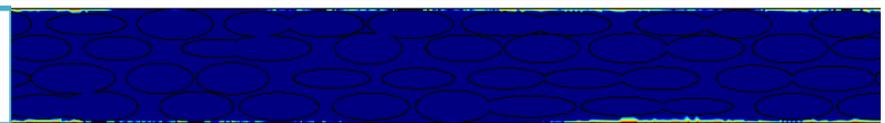
Échelle  
Mèche  
VE - 700  $\mu\text{m}^2$



Échelle  
composite



$$C = \frac{M_s}{M_{SAT}}$$



	D (m <sup>2</sup> /s)	Ms (%)
Polyester	8 x 10 <sup>-13</sup>	0,9%
Lin (100%rh)*	1 x 10 <sup>-10</sup>	14%

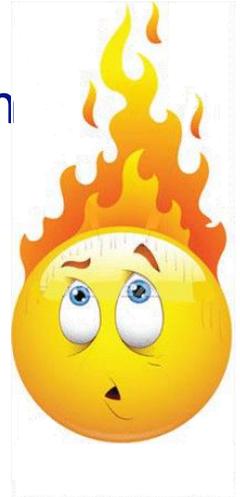
\*données issues de la littérature (Stamboulis et al, 2001)

# REACTION AU FEU DE BIOCOMPOSITES



## ■ Liés à la flamme

- Temps d'apparition de la flamme = temps d'ignition
- Vitesse de propagation de la flamme
- Hauteur des flammes
- Aptitude à s'éteindre (auto-extinguibilité)
- Dripping



## ■ Liés à la chaleur

- Chaleur totale dégagée
- Vitesse de libération de chaleur



## ■ Liés aux fumées

- Opacité des fumées
- Corrosivité des fumées

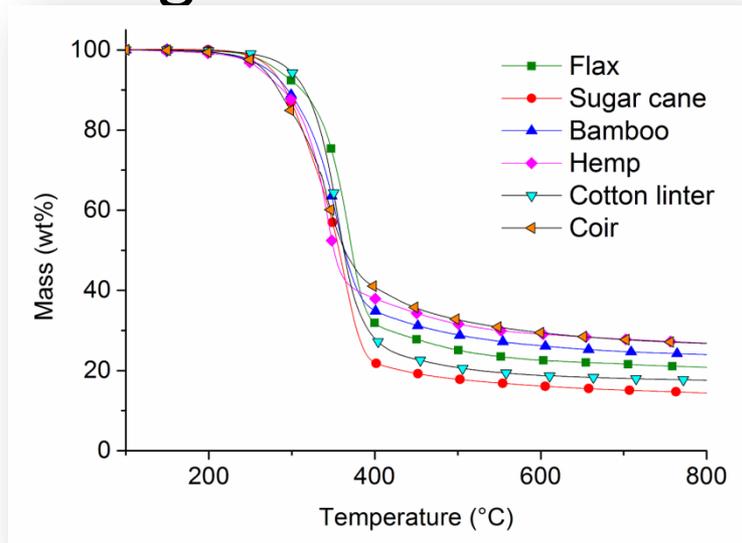


**Cf Poster Plateforme EXTINGUO**

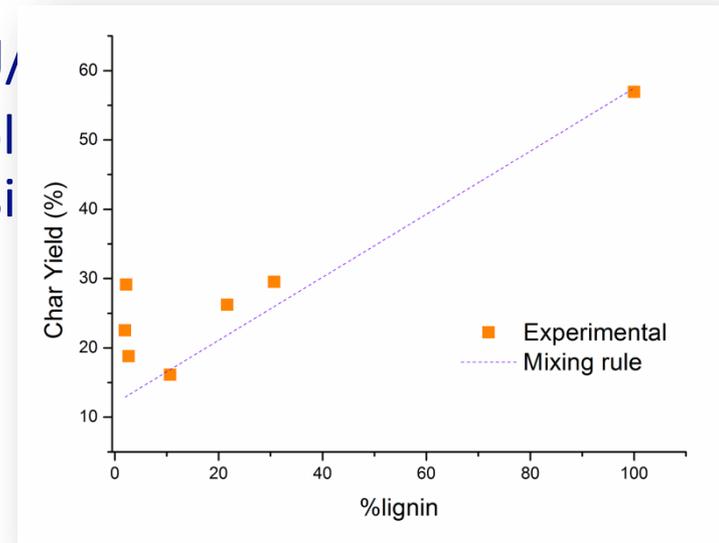
## ■ Pyrolyse

- Faible stabilité thermique des fibres naturelles
- Formation d'un résidu (char) à haute température
  - Le taux de char dépend du taux de lignine
  - Comportement particulier à faible taux de lignine
    - Promotion du char
    - Catalyse acide de la lignine qui modifie le chemin de dégradation de la cellulose et promeut le charbonnement

## ■ Energie de combustion

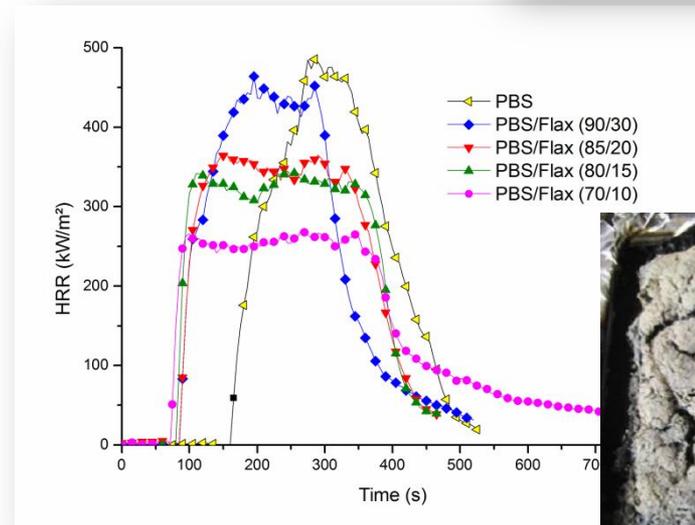
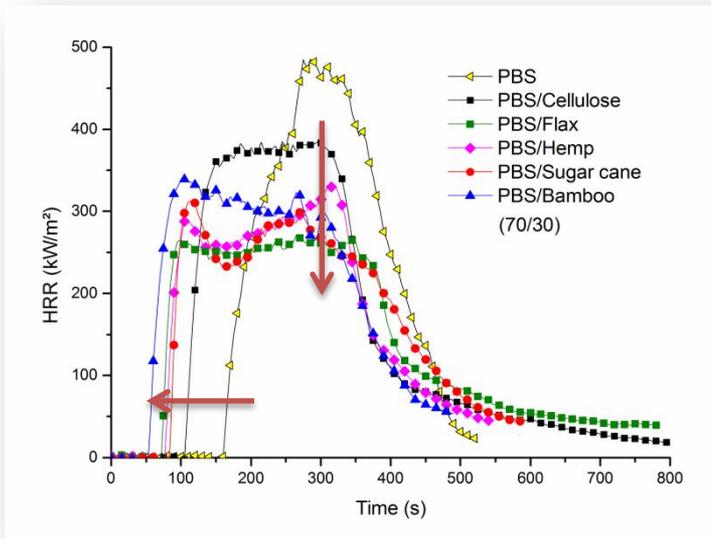
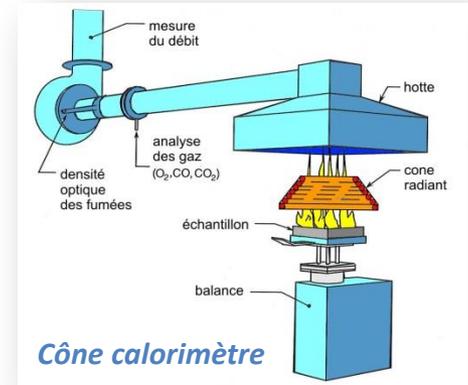
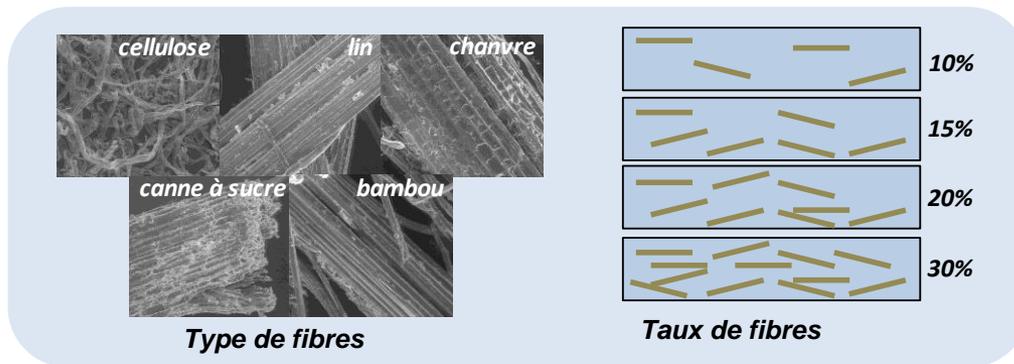


15kJ/  
st pl  
résid



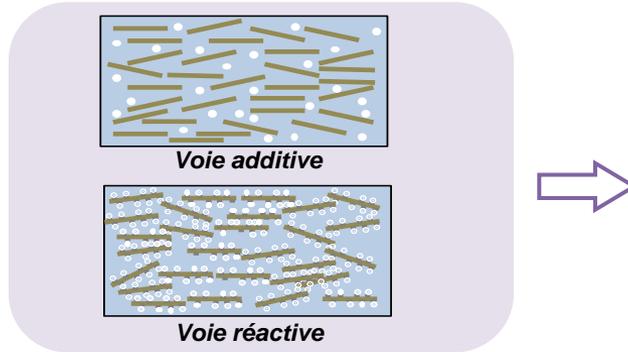
## ■ Effet de la nature et du type de fibres

### ➤ Composite polybutylène succinate/fibres naturelles

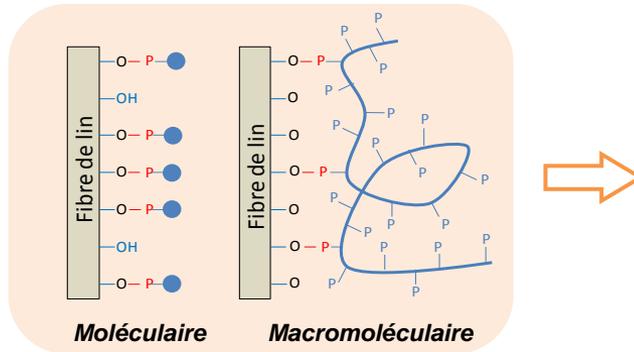


# Stratégies d'ignifugation

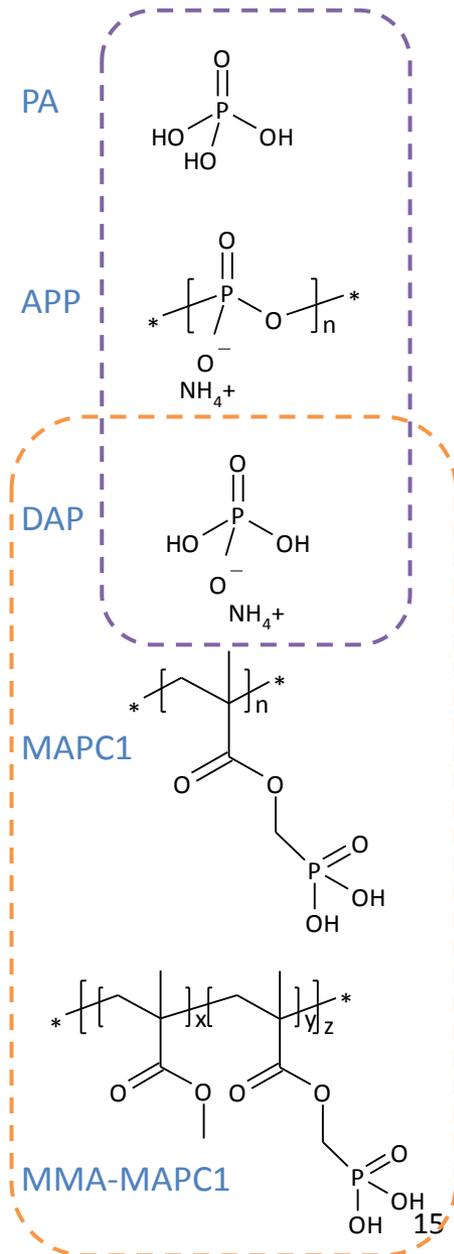
- Voie additive/voie réactive



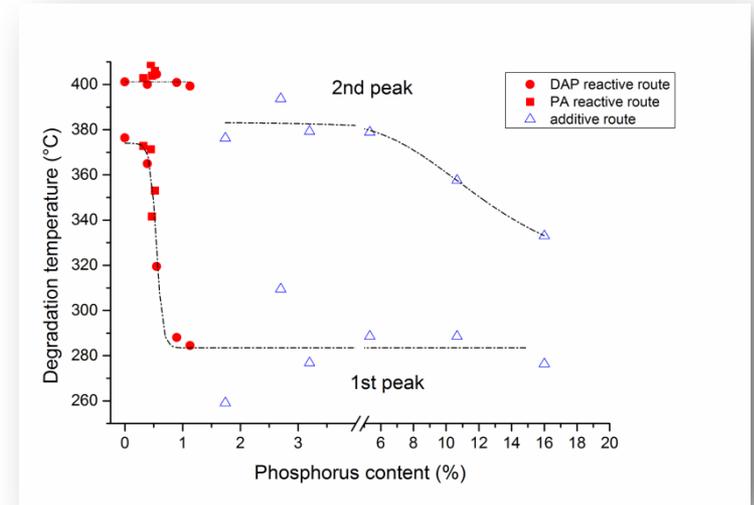
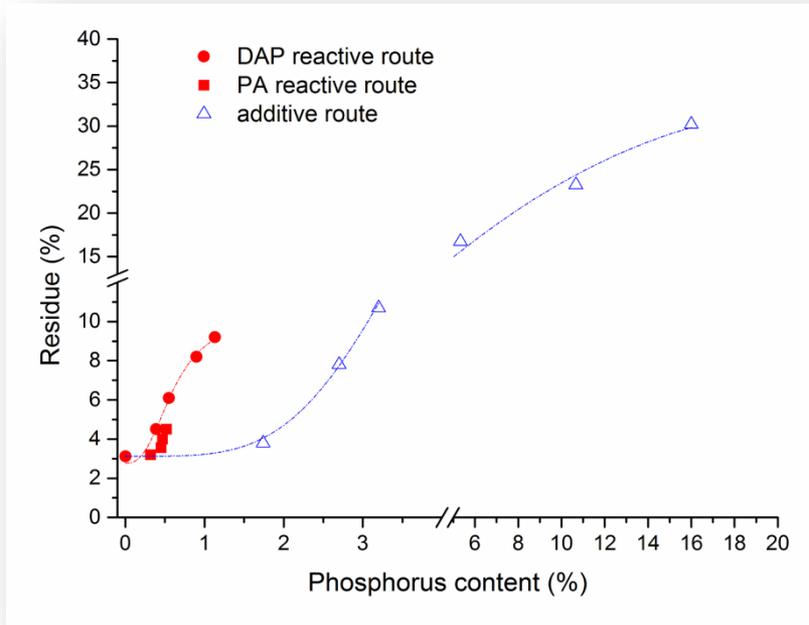
- Traitement moléculaire/macromoléculaire



PBS/Lin (70/30wt%)



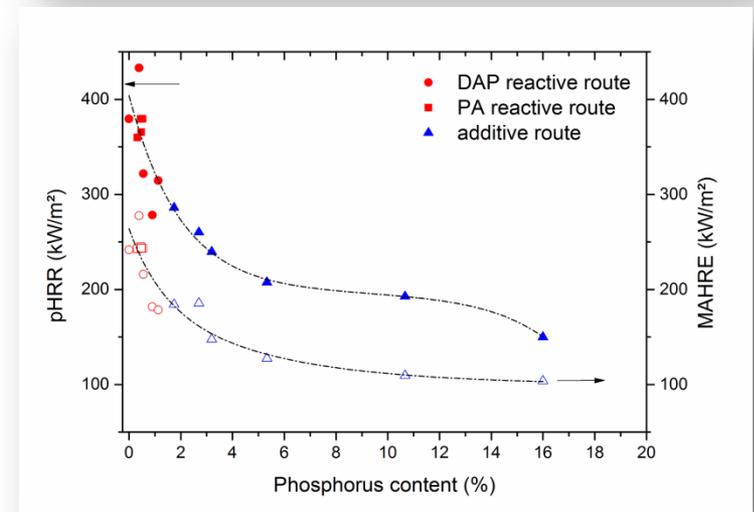
## ■ Approche additive versus approche réactive



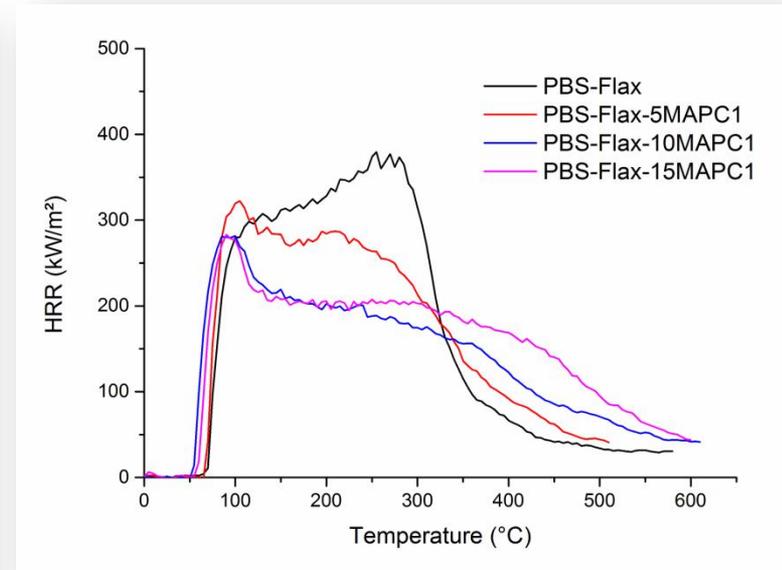
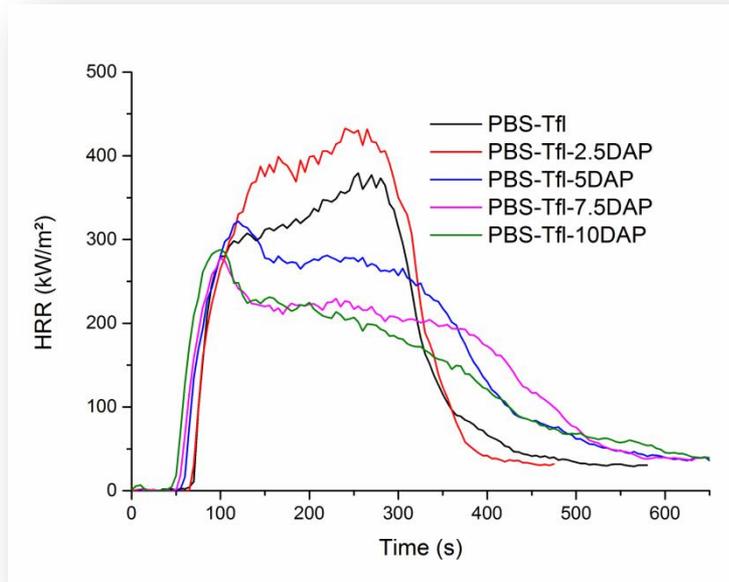
\* Taux de phosphore ramené à la quantité de fibres

### ➤ L'approche réactive est:

- Plus efficace à faible taux de phosphore
- Moins pénalisante pour la matrice



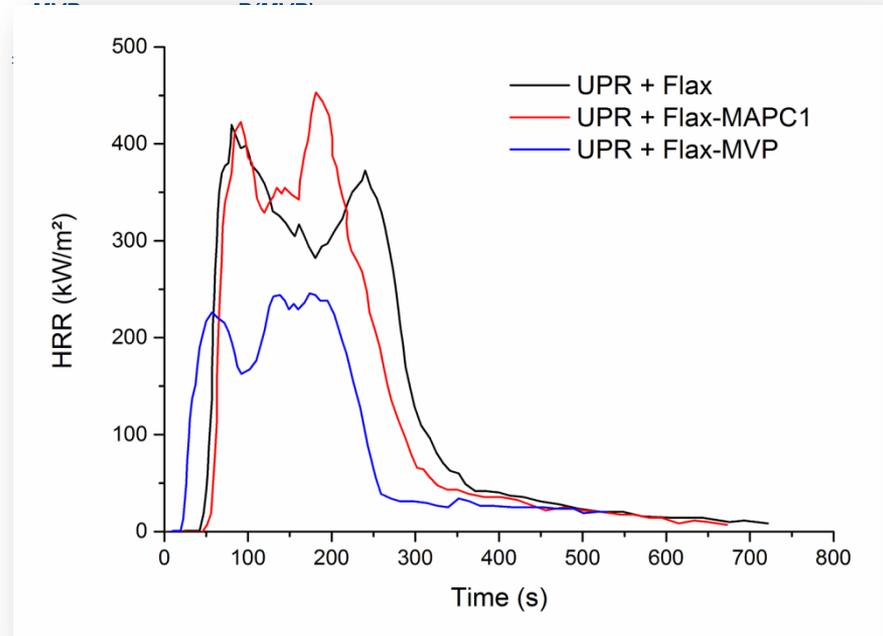
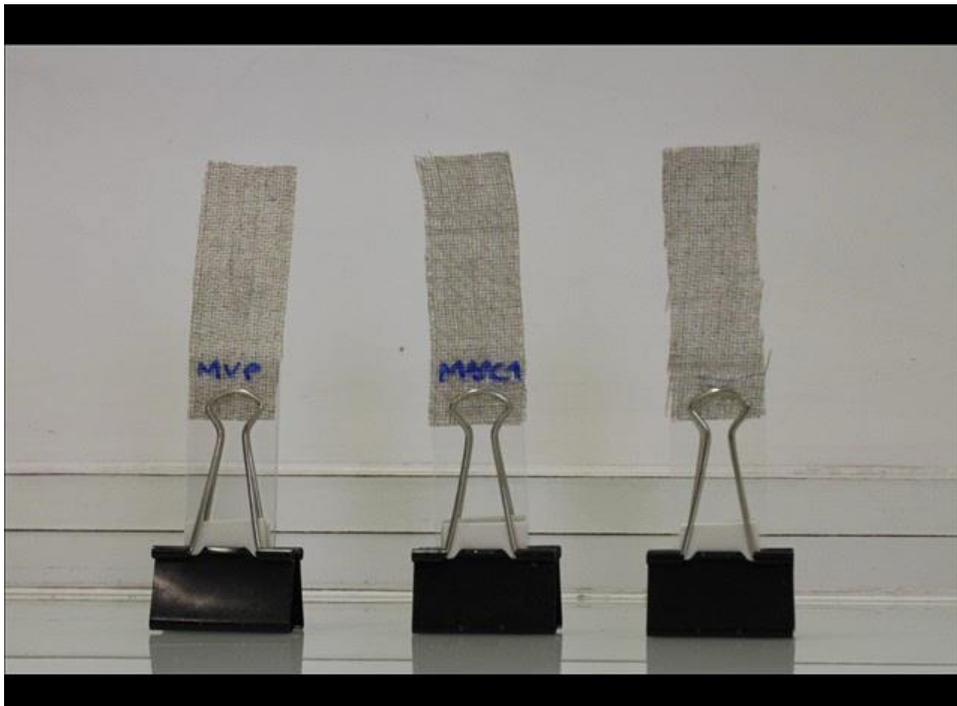
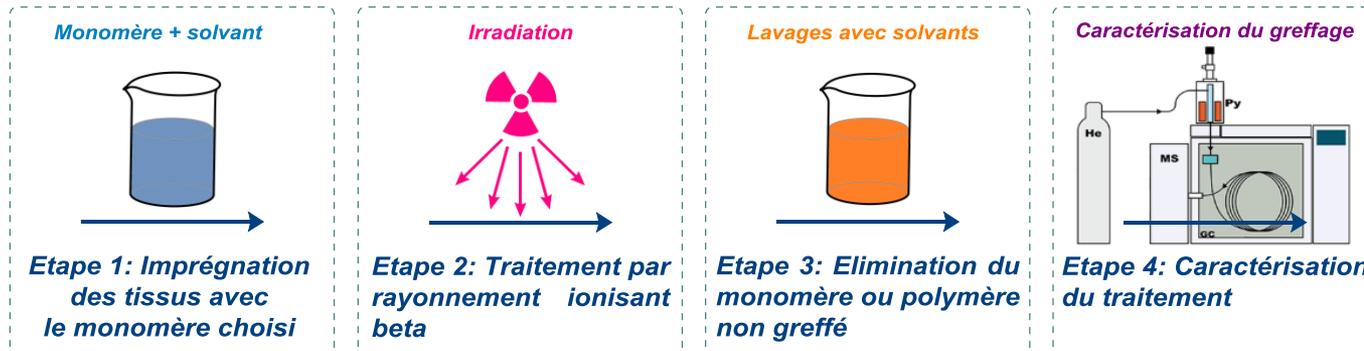
## ■ Greffage moléculaire versus macromoléculaire



- Efficacité comparable (pHRR, taux de résidu...)
- L'utilisation de composés macromoléculaires pourrait permettre de mieux maîtriser les interactions avec la matrice et ainsi préserver d'autres propriétés (mécaniques par exemple)

# Stratégies d'ingnifugation

## ■ Greffage par rayonnement ionisant ( $\gamma$ , e-beam)



- Durabilité des composites à fibres naturelles
  - Méthodologie expérimentale de suivi du vieillissement HTM
  - Mise en évidence d'effets de couplage et renforcement
  - Elaboration d'un modèle numérique multi-échelle
  - Vers une modélisation prédictive de la durabilité de biocomposites
  
- Réaction au feu des composites à fibres naturelles
  - Méthodologie de caractérisation et compréhension de la réaction au feu
  - Stratégies de protection (ignifugation)
  
  - Stratégies permettant des combinaisons de propriétés: mécaniques/feu
  - Etude des effets couplés vieillissement-tenu au feu

# MERCI DE VOTRE ATTENTION



- G.Dorez, L. Ferry, R. Sonnier, A. Taguet, J.M. Lopez-Cuesta, Effect of cellulose, hemicellulose and lignin on pyrolysis and combustion of natural fibers, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107, 323-331, 2014
- G.Dorez, A. Taguet, L. Ferry, J.M. Lopez-Cuesta, Thermal and fire behavior of natural fibers/PBS biocomposites, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 87-95, 2013
- G.Dorez, A. Taguet, L. Ferry, J.M. Lopez-Cuesta, Phosphorous compounds as flame retardants for Polybutylene Succinate/Flax biocomposite: additive versus reactive route, *Polymer Degradation and Stability*, 102, 152-159, 2014
- G.Dorez, B. Otazaghine, A. Taguet, L. Ferry, J.M. Lopez-Cuesta, Improvement of the fire behavior of PBS/flax biocomposites by fiber surface modification with phosphorous compounds: molecular versus macromolecular strategy, *Polymer International*, 63, 1665-1673, 2014
- R. Sonnier, B. Otazaghine, A. Viretto, G. Apolinario, P. Ienny, Improving the flame retardancy of flax fabrics by radiation grafting of phosphorus compounds, *European Polymer Journal*, 68, 313-325, 2015