

# Les composites polymères : MSE340-2023

## Introduction-**Conclusions**

pierre-etienne.bourban@epfl.ch

veronique.michaud@epfl.ch

Institut des matériaux (IMX)  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL),  
CH-1015 Lausanne

# Matériaux, procédés, propriétés

CALENDRIER	MSE 340 COMPOSITES		BC01	
	TP composites	Cours composites		
	lu 8-12h	lu 14-16h		
lundi, 18 septembre 2023	férié	férié		
lundi, 25 septembre 2023	Organisation	Cours	Intro aux composites	PEB/VM
lundi, 2 octobre 2023	TP	Cours	Constituants des composites	VM/PEB
lundi, 9 octobre 2023		Cours	Bases théoriques de la mise en œuvre des composites	VM
lundi, 16 octobre 2023	TP	Cours	Procédés de mise en œuvre des composites	VM
lundi, 23 octobre 2023		Cours	Procédés de mise en œuvre des composites	VM
lundi, 30 octobre 2023	TP	Cours	Intro à la mécanique des composites	PEB
lundi, 6 novembre 2023		Cours	Micromécanique	PEB
lundi, 13 novembre 2023	TP	Cours	Micro-macromécanique d'un pli	PEB
lundi, 20 novembre 2023		Cours	Macromécanique des stratifiés	PEB
lundi, 27 novembre 2023	TP	Cours	Exercices Esacomp	PEB
lundi, 4 décembre 2023		Cours	Résistance, endommagement et critères de ruptures	PEB
lundi, 11 décembre 2023	TP			
lundi, 18 décembre 2023				

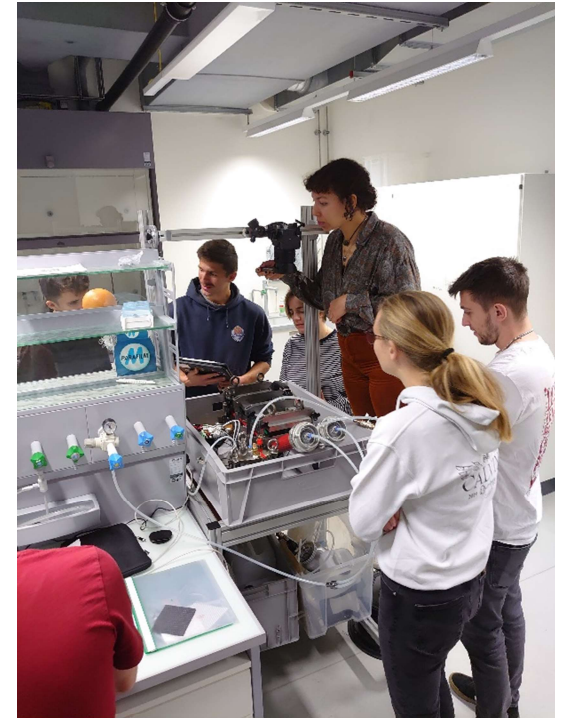
EVALUATION: 1/3 rapports des TP, 2/3 examen

## Learning outcomes

A la fin de ce cours l'étudiant doit être capable de:

- Appliquer les méthodes de calculs pour déterminer les propriétés mécaniques des matériaux anisotropes
- Dimensionner des structures en composites (simples)
- Proposer des matériaux en choisissant leur composition et les procédés de fabrication, pour une application donnée
- Comparer les matériaux composites entre eux
- Discuter les tests de caractérisation des composites
- Distinguer les avantages et limitations des procédés.
- Dialoguer avec des professionnels d'autres disciplines.
- Utiliser les outils informatiques courants ainsi que ceux spécifiques à leur discipline.

# TP



# Constituants

## Renforts

### B: Flexibilité

Flexion d'une poutre cylindrique:

E module, I moment d'inertie  
 $I = \pi d^4 / 64$

R rayon de courbure  
 et M moment de flexion

$$R = EI / M = E \pi d^4 / 64 M$$

Donc R est proportionnel à  $d^4$ .

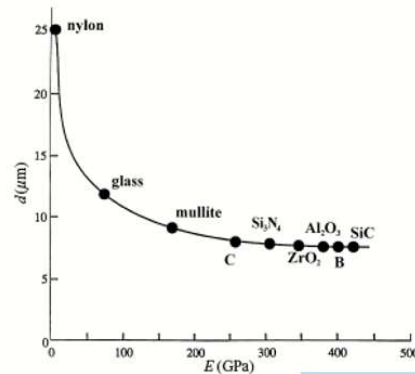


Figure 1  
 Diameter of various fibers with a flexi of a 25  $\mu\text{m}$  diameter nylon fiber. Given diameter, it is possible to produce, in: flexible fiber from a polymer, a metal,

## Les matrices polymères

### Thermodurcis

- Avantages**
- + Résines liquides à T ambiante
  - + Facilité de mise en oeuvre (EP, UP)
  - + Durcissement entre 5 et 180C (EP)
  - + Prix raisonnable
  - + Grande variété de formulation possibles
  - + Bonne adhésion aux fibres
  - + Amorphe

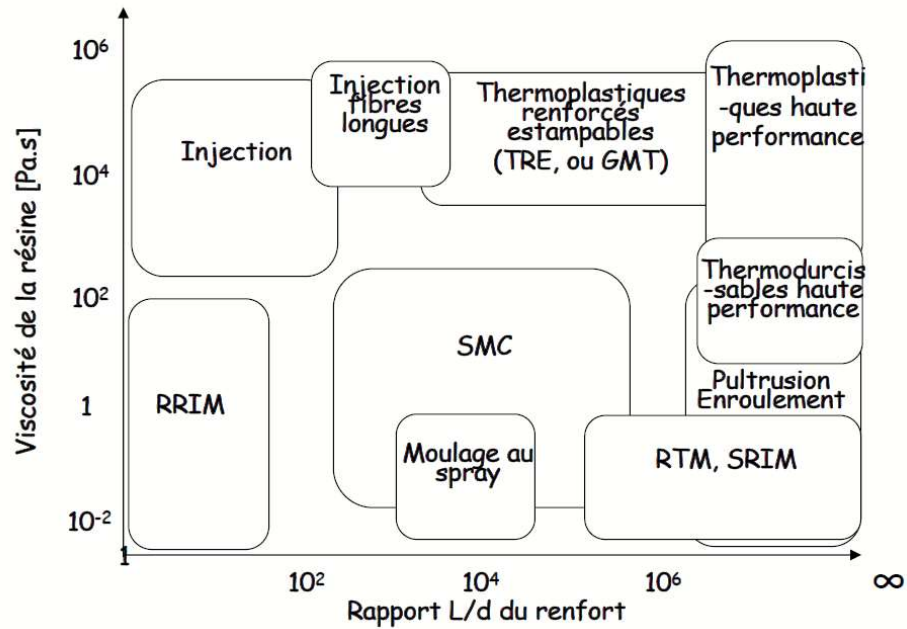
- Inconvénients**
- Volatilité, toxicité, allergies
  - Résistance à l'humidité
  - Résistance aux chocs
  - Contrôle de la réaction chimique

### Thermoplastiques

- Avantages**
- + Mise en oeuvre rapide, par élévation de T
  - + Procédés de mise en oeuvre des thermoplastiques utilisable avec les fibres courtes
  - + Bonne résistance à l'humidité
  - + Recyclage aisé

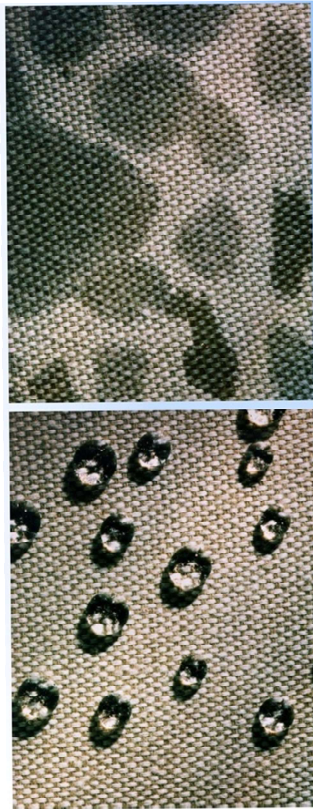
- Inconvénients**
- Souvent peu résistantes à la T
  - Retrait au moulage (matrices s-c)
  - Mauvaise résistance chimique
  - Adhésion aux fibres souvent problématique
  - Propriétés mécaniques faibles, fluage

# Mise en oeuvre



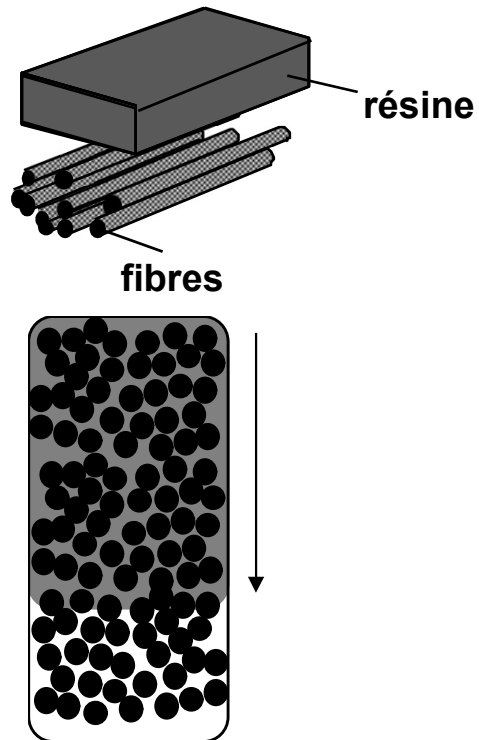


# Les phénomènes



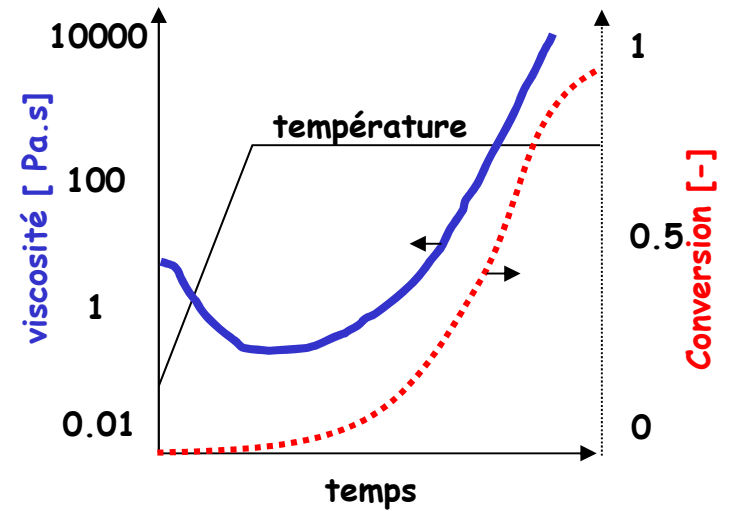
Mouillabilité  
Tensions de surface

...



Imprégnation  
Perméabilité

....



Transformation de la matrice

## ? mise en oeuvre

Quel polymère et quelles fibres pour un pare-chocs de voiture ?

Décrivez la mise en œuvre par SMC ?

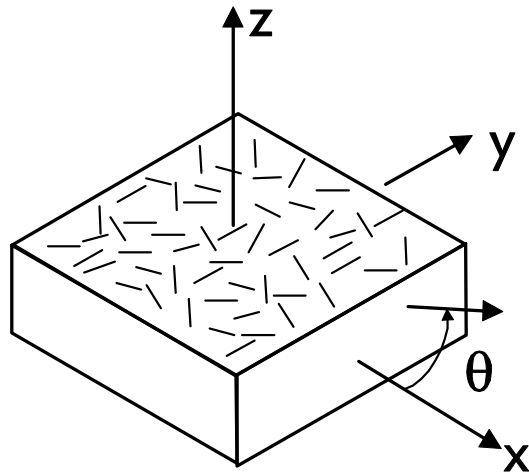
Citez 3 résines thermodurcissables ?

Comment pouvons nous déterminer la perméabilité ?

...

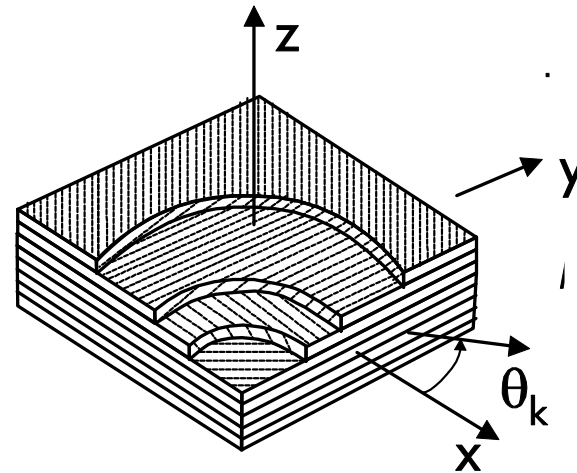
# Mécanique des composites : propriétés

Composites à fibres courtes



$$E_I = E_f V_f \left[ 1 - \frac{\tanh(\beta \ell / 2)}{\beta \ell / 2} \right] + E_m V_m$$

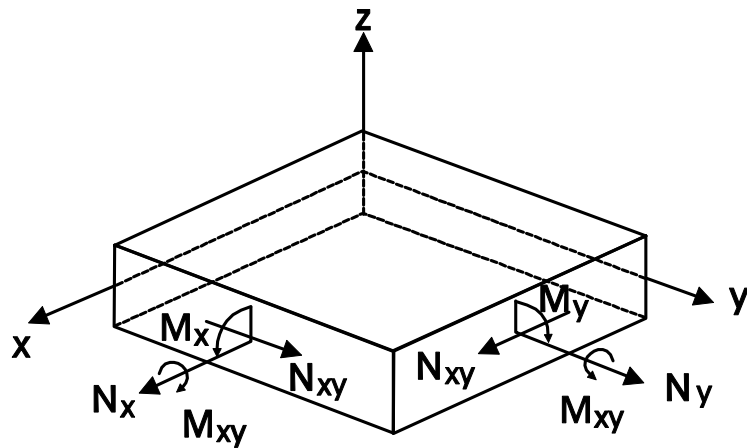
Stratifiés



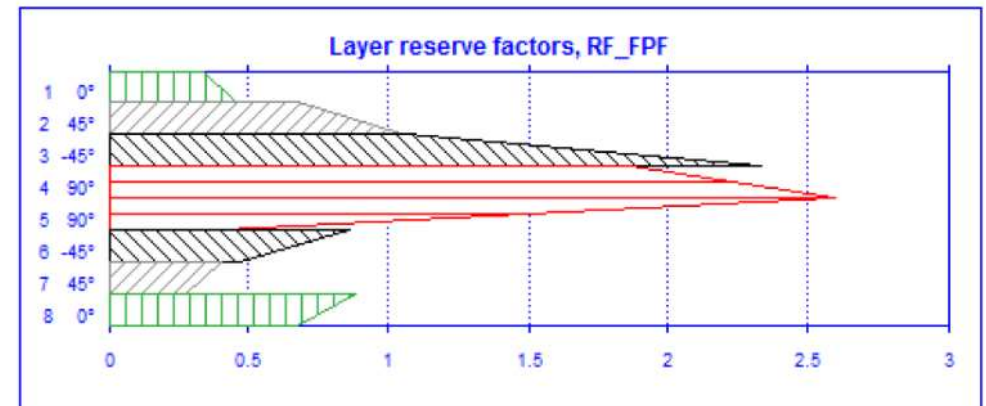
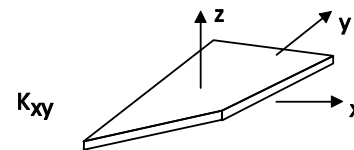
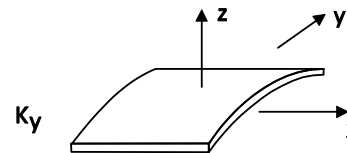
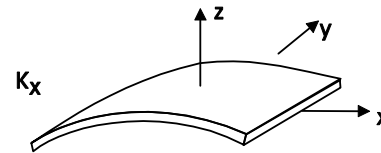
$$E_x = \frac{A_{11} A_{22} - A_{12}^2}{h A_{22}}$$



# Résistance des matériaux composites



$$\begin{bmatrix} N \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon^0 \\ \kappa \end{bmatrix}$$



# ? propriétés des anisotropes

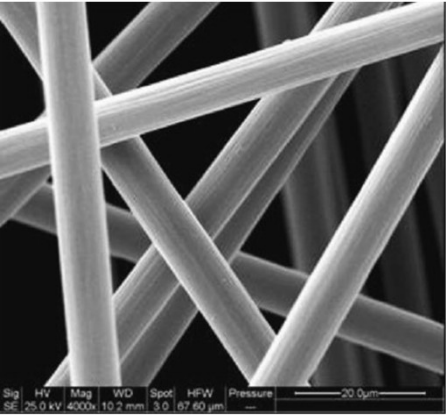
Comment calculer le module transverse  
d'un composite unidirectionnel ?

Comment se déforme un stratifié  
sous l'effet d'un moment de flexion ?

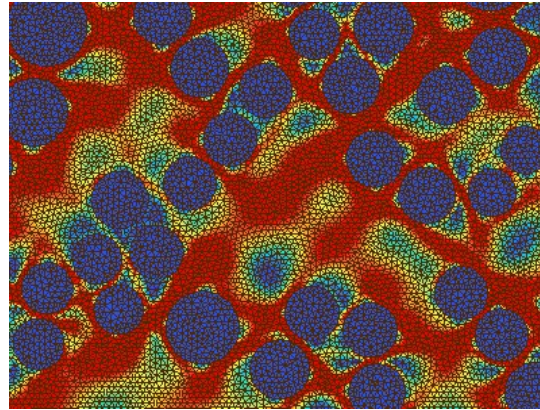
Pourquoi les contraintes sont différentes  
dans chaque pli d'un stratifié ?

Comment diminuer un Reserve Factor ?

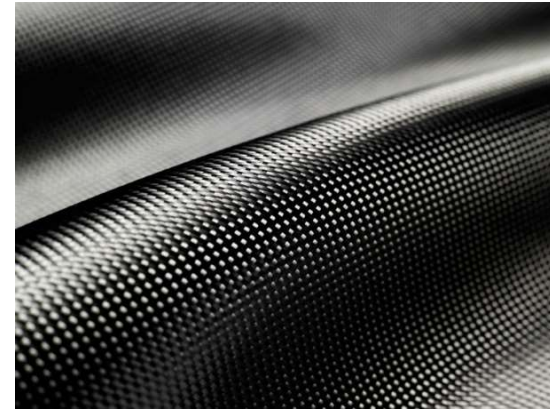
# www.....composites.....



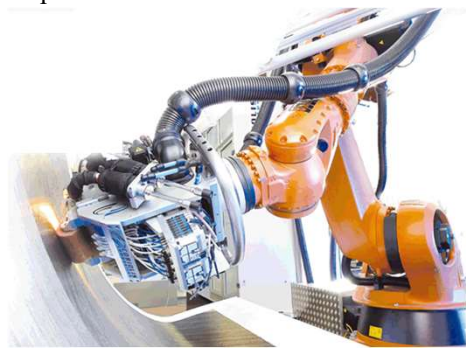
[www.reinforcedplastics.com](http://www.reinforcedplastics.com)



[www.onera.fr](http://www.onera.fr)



[blog.motorlegend.com](http://blog.motorlegend.com)



[www.coriolis-composites.com](http://www.coriolis-composites.com)



Boeing



BMW i8 automobile.challenges



[www.decision.ch](http://www.decision.ch)



Samsonite [zedomax.com](http://zedomax.com)



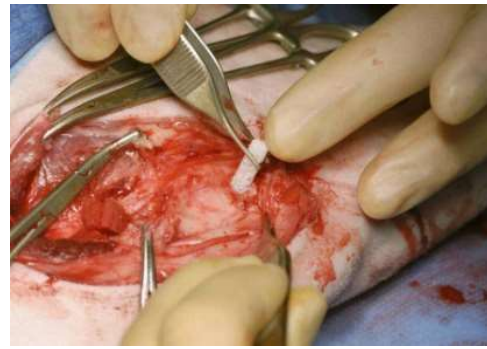
Hublot



[www.evolo.us](http://www.evolo.us)



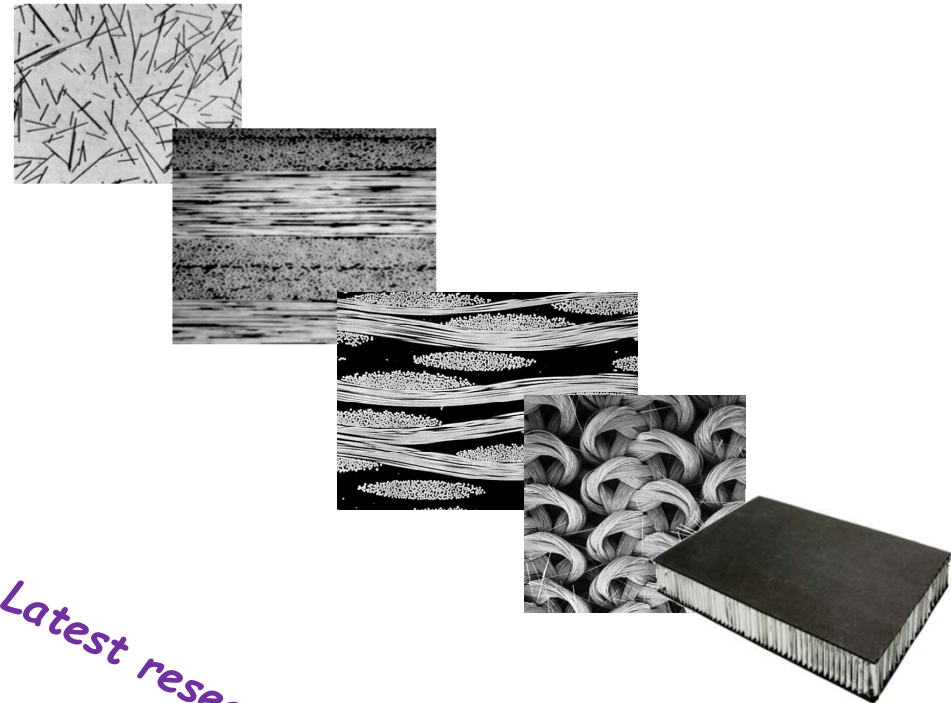
# Composite materials?



*Your composite product...*

# Ready for the future...

- Introduction aux composites
- Constituants
- Théorie et procédés de mise en œuvre
- Micromécanique, Macromécanique
- Illustrations de choix de matériaux, de mise en œuvre, de conception...
- Quelques principes de recyclage
- Exercices
- Bases pour le cours MSE 440 de Master
  - Sandwich structures and textiles composites
  - Structural design and joining with composites
  - Towards sustainable composites
  - Biocomposites for biomed, sport...
  - Cost modelling-a tool for sustainable innovation
  - Smart composites
  - Nanocomposites

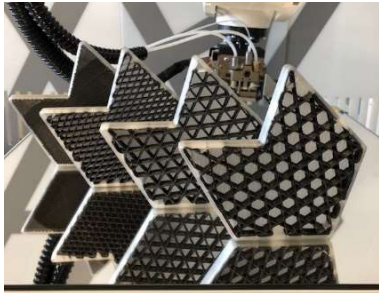


*Latest research, innovation and...  
...your composite products*



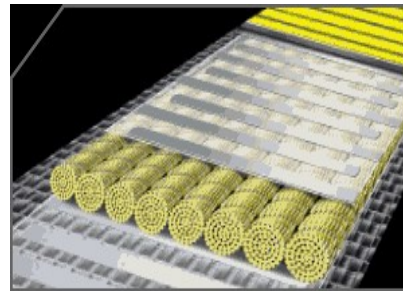
# R&D&A

## 3D printing



Anisoprint

## Functional composites

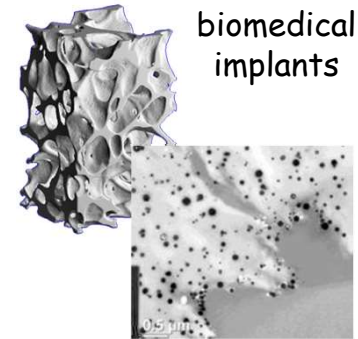


## Biocomposites

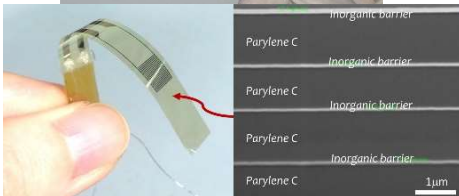
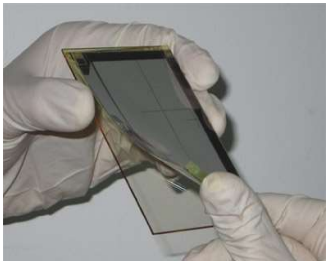


<https://www.bcomp.ch/>

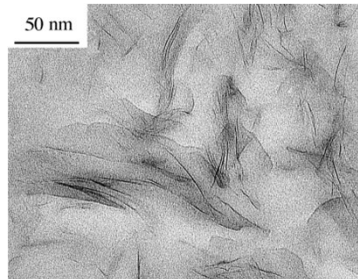
## Resorbable biomedical implants



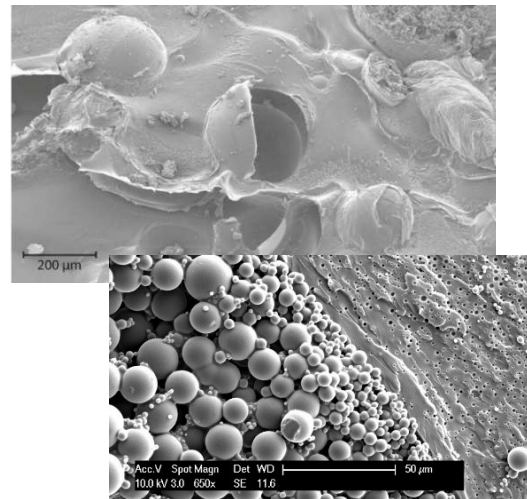
## Thin films and micro devices



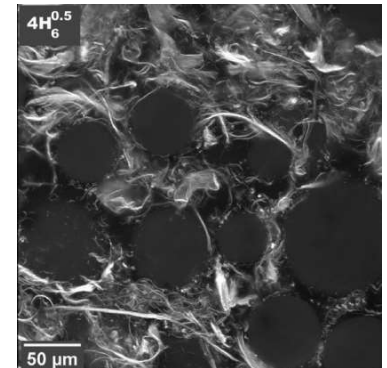
## Nanocomposites



## Self-healing composites



## Hydrogel composites





# Your composite product...

Durable smartphone case made of recycled composites



Composites Technology

Driver gloves for Formula 1

The temperature elevation for a heat flux of 10,000 W/m<sup>2</sup> during 30s was recorded. The result obtained on our glove is shown in Figures 3c and 3d and is compared to the initial Formula 1 glove in Figures 3a and 3b below.

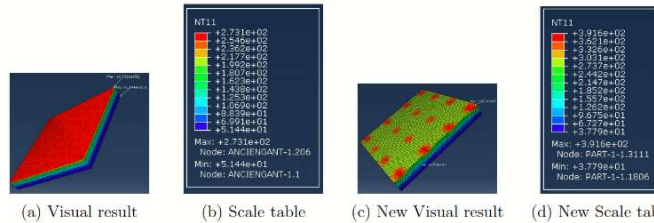


Figure 3: Results of the Abaqus simulation for a reference fabric and for the new product

Composite photovoltaic blinds

Composite technologies- MSE-440-Team 5



Ecofriendly shelters

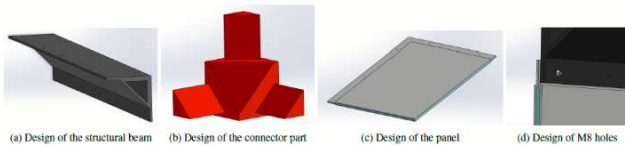
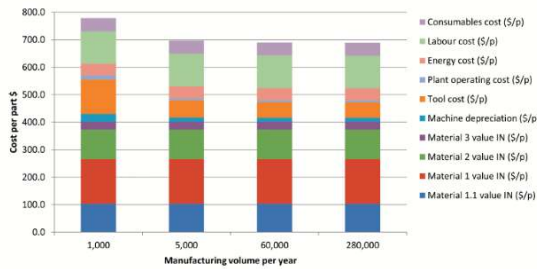


Figure 1: Design of main elements of the house



Piezochromatic composite in hydrogen pressure vessels

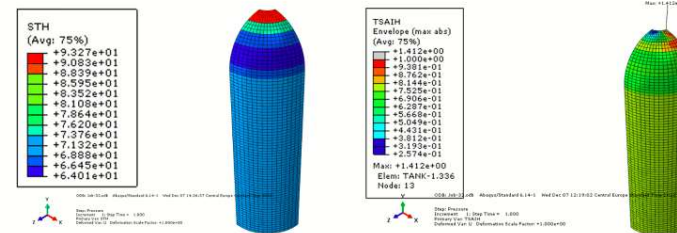


Figure 5. Final thicknesses of fibers on the pressure vessel [mm]. Figure 6. Tsai Hill Failure criterion for envelope and weakest ply.

Composite Greenhouse



Figure 5: 3D views of the greenhouse structure design

Ergonomic air tank



Fig. 1. Pressurized ergonomic portable compressed air tank

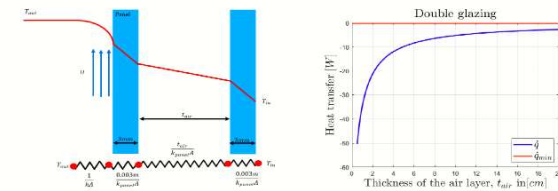
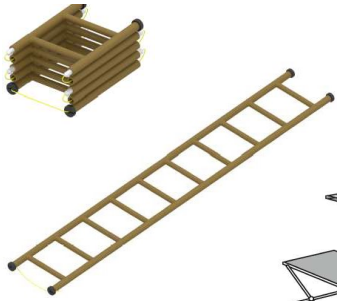


Figure 1: Sketch of the double glazing case. There is only convection outside and conduction inside the panel and in the air trapped between the two panels. Between these panels, convection is neglected because the system is airtight. Figure 2: Heat transfer in function of the thickness of the air layer between the two panels. The red line represent the minimum heat transfer.

# Your composite product...

## Composite ladder



## Camping kit

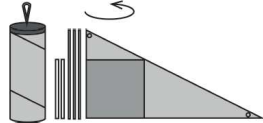


Figure 1: Sketch kit folded

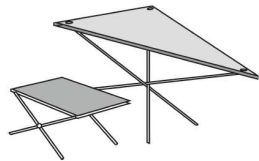
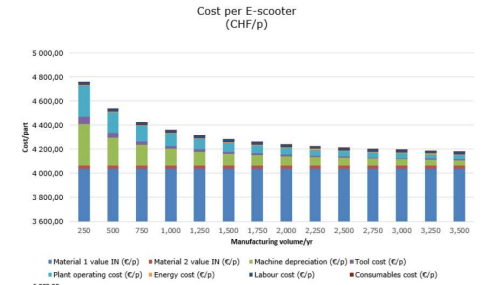
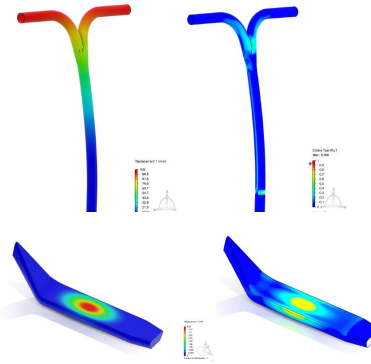
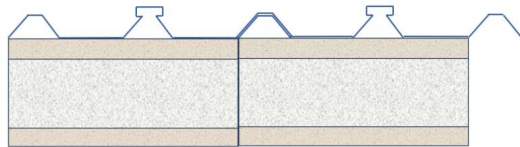
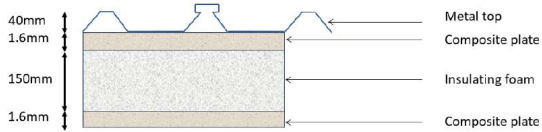


Figure 2: Sketch kit unfolded

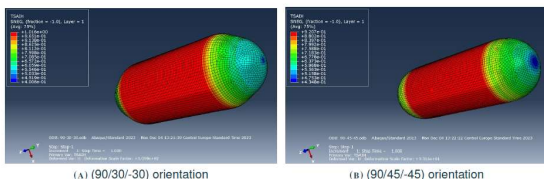
## Rental Electric Scooter - Flax fibers deck & steering pole



## Roof panels



## Oxygen cylinders



## Biodegradable flower pots

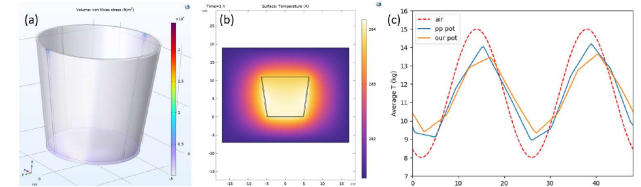
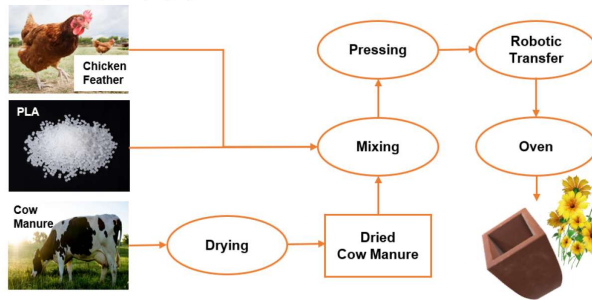
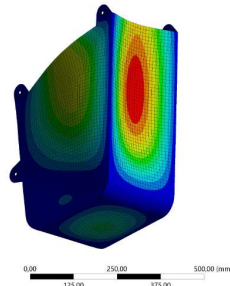


Figure 1. (a) The loading test on flower pots. (b) Time-dependent thermal simulation setup. (c) Temperature variance in the center of the pot during 2 days. The red dash line is the reference air temperature in the environment where the flower pot is put.

## Battery tray for electric motorcycle



## Composite longboard

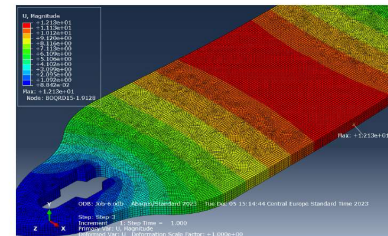
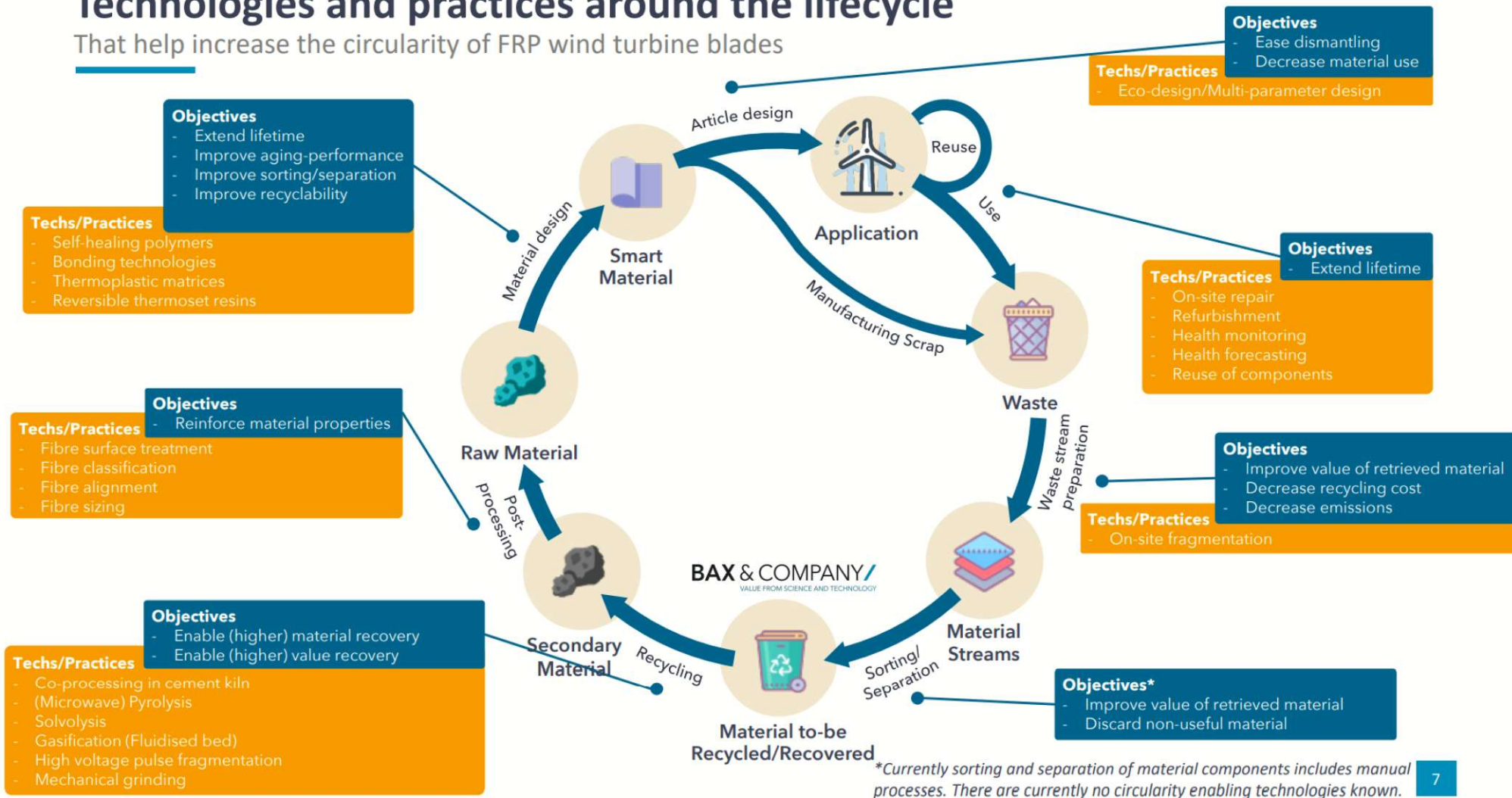


Figure 3: Deflection of the board under load

# Technologies and practices around the lifecycle

That help increase the circularity of FRP wind turbine blades



# Examen

- MSE 340 Composites: 1/3 TP + 2/3 examen
- Oral le 17 et 18 Janvier
- 5 min de préparation et 15 minutes de réponses
- 3 questions: Constituants/Mise en œuvre/Mécanique
  
- Liste de passage (Moodle, fichier partagé...)
  
- <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vMpbdes4FIINZgwfZNScfrZTd3DPYVLIwxQKzwLknu0/edit#gid=0>
  
- Révision : le résumé, les exos, les questions à X, Y, Z