



Etat de l'art sur les éco-composites

Fabienne Touchard

fabienne.touchard@ensma.fr

avec Laurence Chocinski,

C. Bonnafous, D. de Vasconcellos, A. Perrier, R. Barbière, D. Mellier, Q. Drouhet, A. Lafitte

Institut P' • UPR CNRS 3346
Département Physique et Mécanique des Matériaux
ENSMA • Téléport 2
1, avenue Clément Ader • BP 40109
F86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex



Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique



Laboratoire



sur la Technopole du Futuroscope

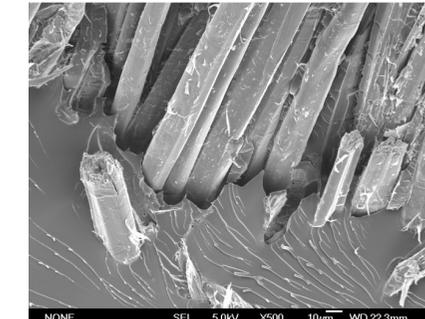
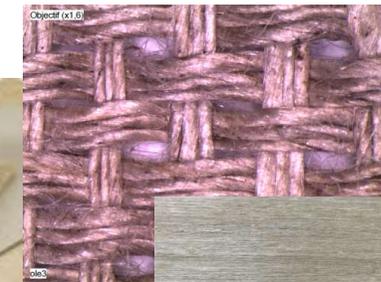
Laboratoire de recherche : Institut PPRIME
UPR CNRS 3346

(habilité ZRR : "confidentiel recherche")



Sommaire

- Contexte
- Définition
- Choix du renfort
- Choix de la matrice
- Exemples d'applications
 - Automobile
 - Aéronautique
 - Nautisme
 - Sports et Loisirs
 - Éolien



Contexte : Composites à renforts verre et carbone

Matériaux composites : légers et performants

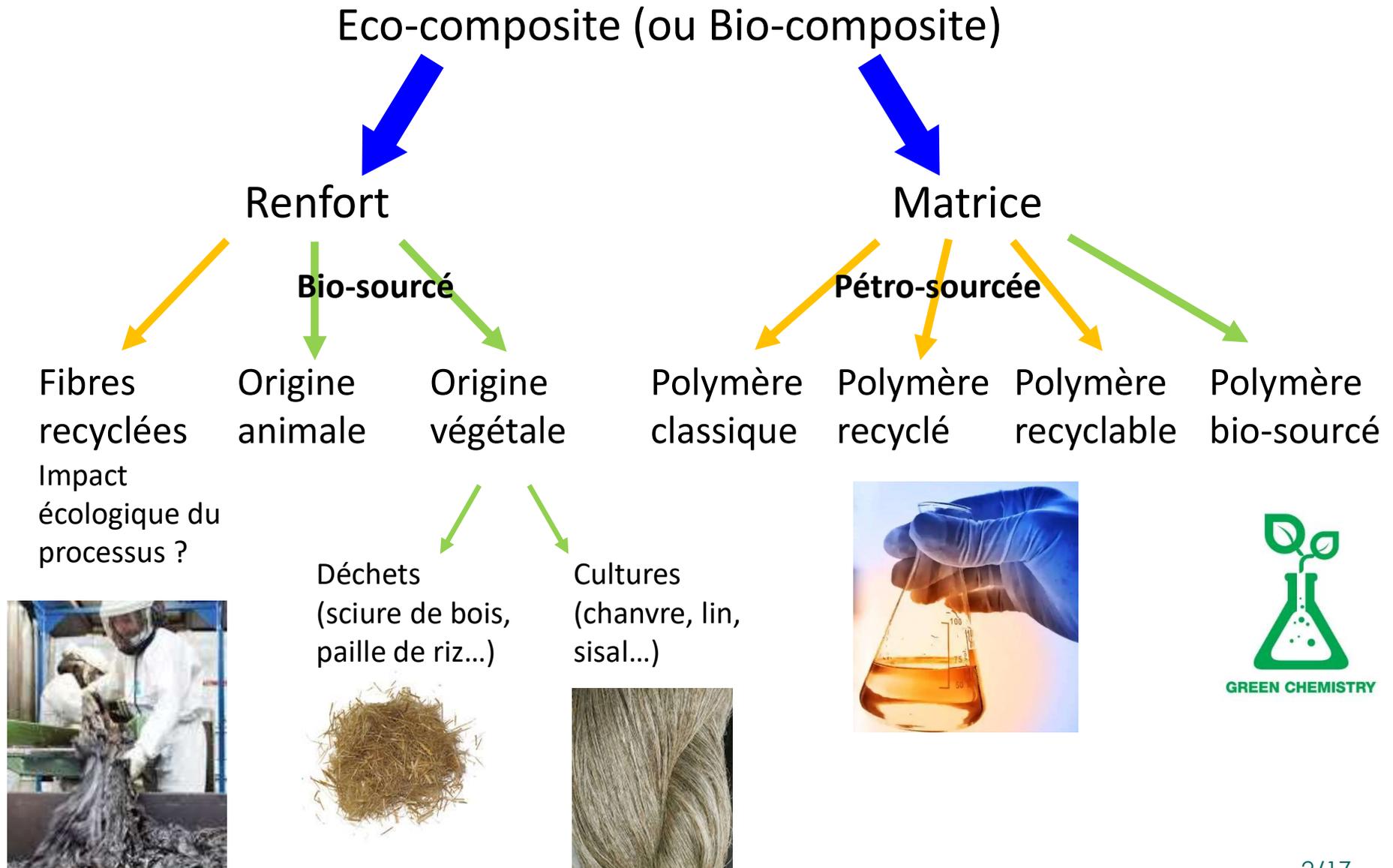
→ { **Marché mondial du composite** : volume fabriqué de 11,4 millions de tonnes
Taux de croissance annuel moyen : 7,6% sur 2020-2027
Fibres de verre : 88% du marché
Matrices thermodures : 72% du marché

Comment les recycler ?



→ **Nécessité d'une réflexion en amont :**
utiliser des éco-composites

Définition : qu'est-ce qu'un éco-composite ?

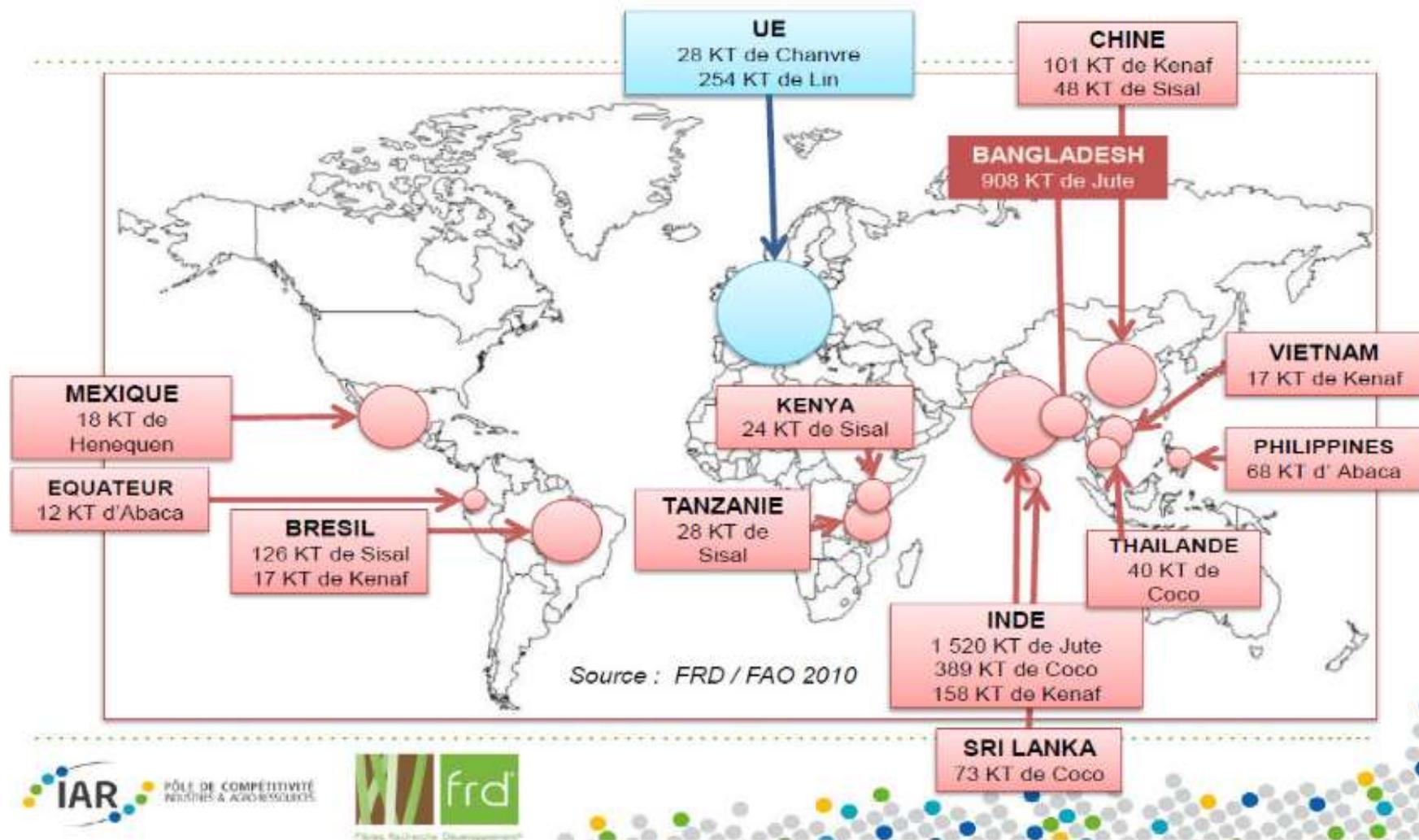


Choix du renfort

Choix du renfort : origine ?

Gisement mondial de fibres végétales

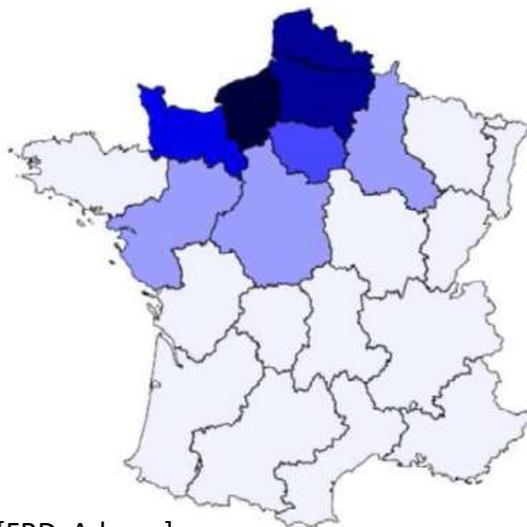
Hors coton et bois



Choix du renfort : origine locale

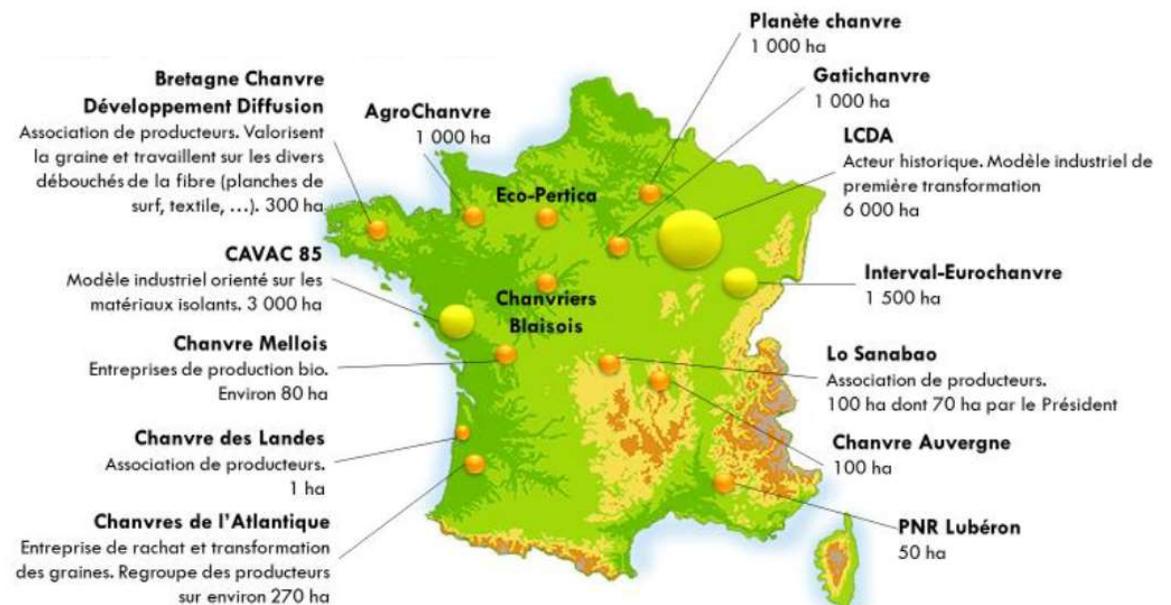
France {
→ Chanvre : Leader du marché européen.
→ Lin : Première productrice mondiale.

Surfaces des cultures de lin :



[FRD, Ademe]

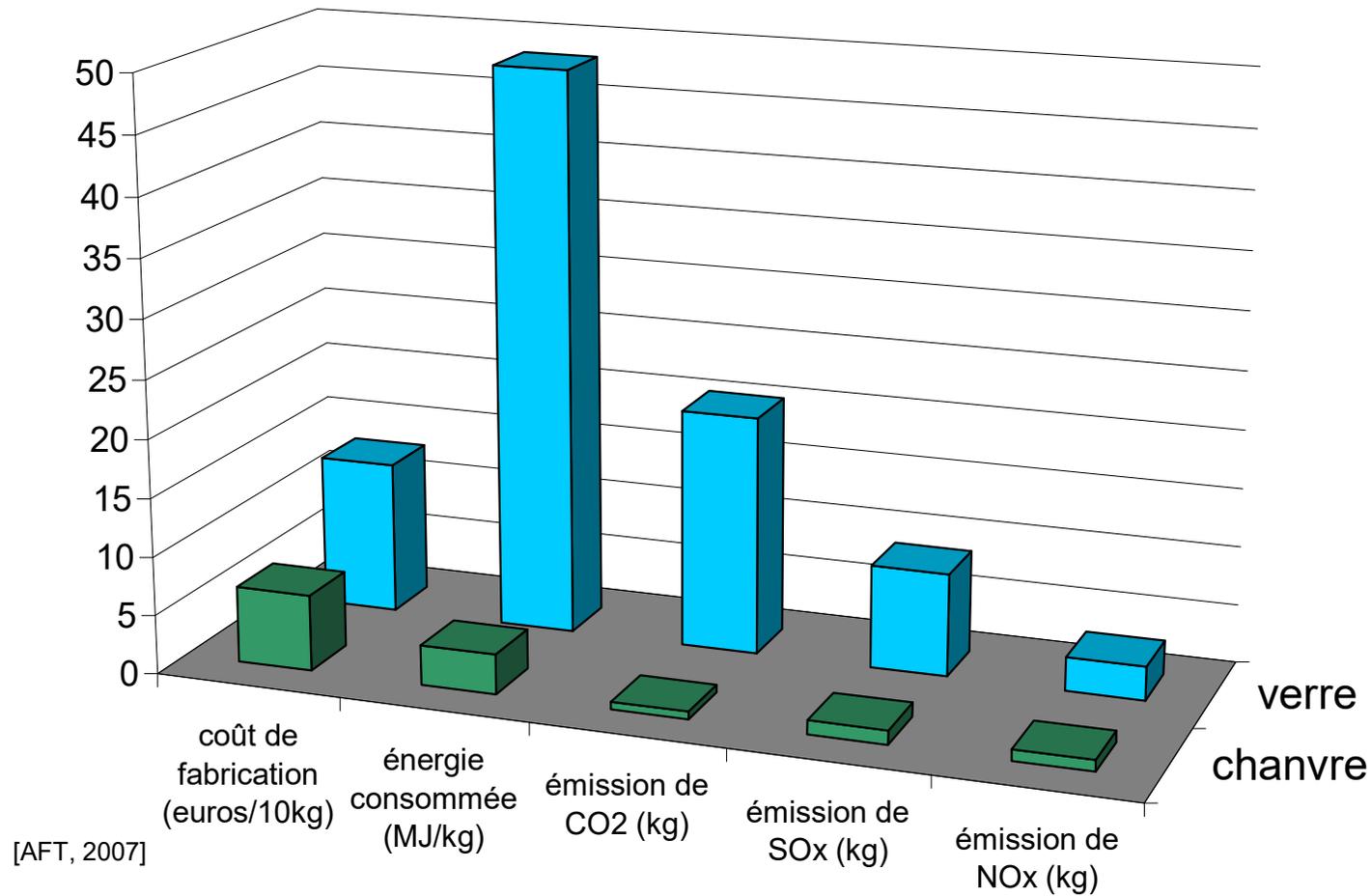
Production agricole de chanvre :



[Karibati, 2019]

Historique : corderie royale de Rochefort spécialisée dans le chanvre.

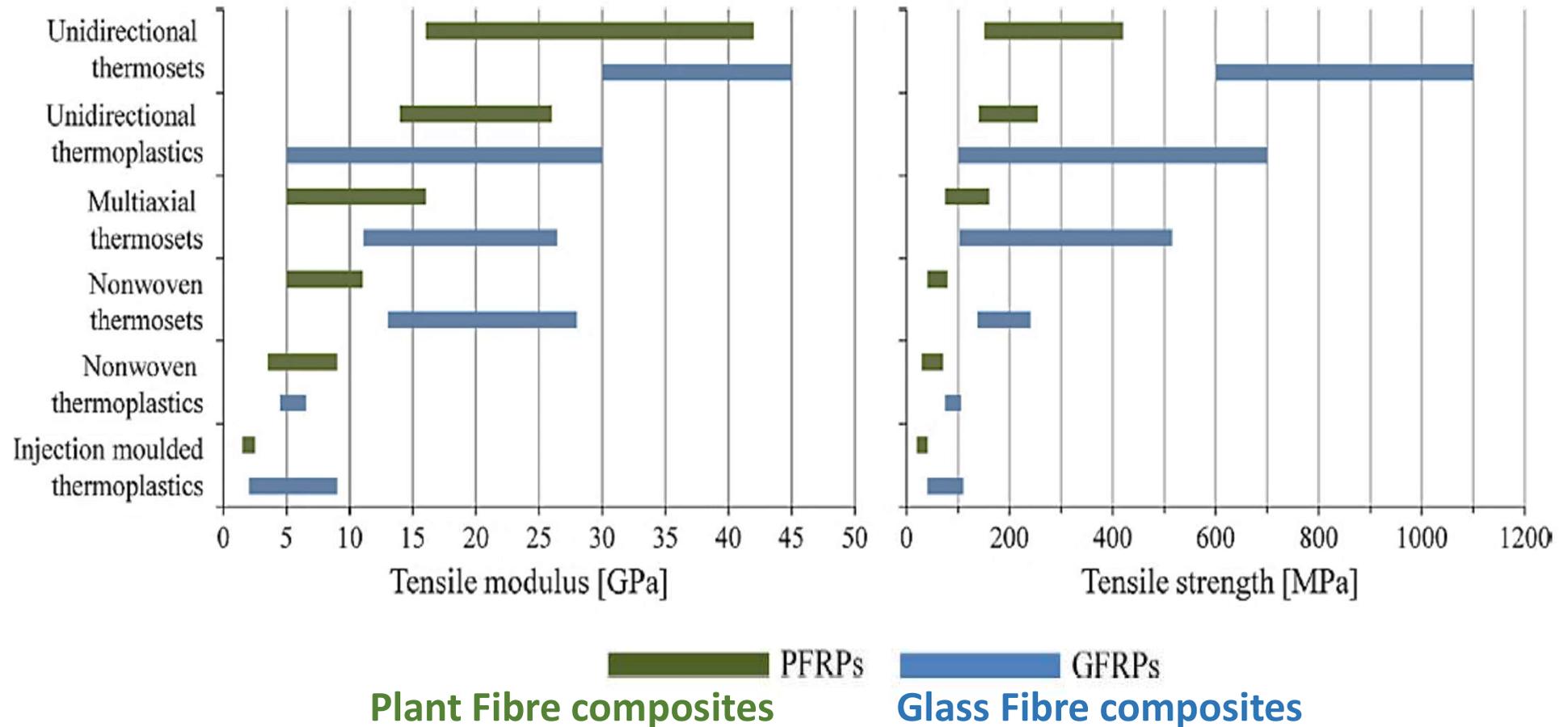
Choix du renfort : impact environnemental



La production du chanvre est 10 fois plus écologique.

Choix du renfort : propriétés mécaniques

[Shah D. U., Materials & Design, 16 (2014), pp. 21-31]



➔ Rigidité des éco-composites équivalente aux composites à fibres de verre, contrainte à rupture en traction inférieure.

Choix du renfort : comparaison

	verre	carbone	lin	chanvre
Origine	Synthétiques, Non renouvelables 		Bio-sourcées, Annuelles, Locales  Ni pesticides, Ni herbicides.	

Choix du renfort : comparaison

	verre	carbone	lin	chanvre
Origine	Synthétiques,	Non renouvelables 	Bio-sourcées, Annuelles, Locales	 Ni pesticides, Ni herbicides.
Manipulation	Abrasives Allergisantes	  doigts et poumons	Non abrasives,	 Non nocives

Choix du renfort : comparaison

	verre	carbone	lin	chanvre
Origine	Synthétiques, Non renouvelables	Non renouvelables	Bio-sourcées, Annuelles, Locales	Annuelles, Locales Ni pesticides, Ni herbicides.
Manipulation	Abrasives Allergisantes	doigts et poumons	Non abrasives, Non nocives	
Procédés de mise en œuvre	<p>Mêmes procédés :</p> <p>Fibres courtes : extrusion, injection (température limitée pour fib.végétales)</p> <p>Fibres moyennes (feutre) → Moulage, infusion, autoclave...</p> <p>Fibres continues (tissu, nappe) → Moulage, infusion, autoclave...</p>			

Choix du renfort : comparaison

		verre	carbone	lin	chanvre
Origine		Synthétiques, Non renouvelables		Bio-sourcées, Annuelles, Locales	
				Ni pesticides, Ni herbicides.	
Manipulation		Abrasives Allergisantes	  doigts et poumons	Non abrasives, Non nocives	
Procédés de mise en œuvre		Mêmes procédés :			
		Fibres courtes : extrusion, injection (température limitée pour fib.végétales)		Moulage, infusion, autoclave...	
Propriétés	Légèreté :	--	-	++	++
	Rigidité :	+	++	+	+
	Contrainte à rupture en traction :	+	++	-	-

Choix du renfort : comparaison

	verre	carbone	lin	chanvre	
Origine	Synthétiques, Non renouvelables 		Bio-sourcées, Annuelles, Locales 	Ni pesticides, Ni herbicides.	
Manipulation	Abrasives Allergisantes	  doigts et poumons	Non abrasives, Non nocives 		
Procédés de mise en œuvre	Mêmes procédés : Fibres courtes : extrusion, injection (température limitée pour fib.végétales) Fibres moyennes (feutre) → Moulage, infusion, autoclave... Fibres continues (tissu, nappe) →				
Propriétés	Légèreté :	--	-	++	++
	Rigidité :	+	++	+	+
	Contrainte à rupture en traction :	+	++	-	-
Fin de vie		 Difficilement recyclables, non biodégradables	 Recyclables, biodégradables		

Choix de la matrice

Choix de la matrice : comparaison

	Thermodurs	Thermoplastiques
Ressource renouvelable ?	Epoxy, polyester  Greenpoxy 	PP, PE  PA11, PLA 
Procédés de mise en œuvre	Moulage, infusion, stratification...	Extrusion, injection, thermocompression...
Température de mise en œuvre		
Propriétés mécaniques		
Recyclabilité		

Choix de la matrice : comparaison

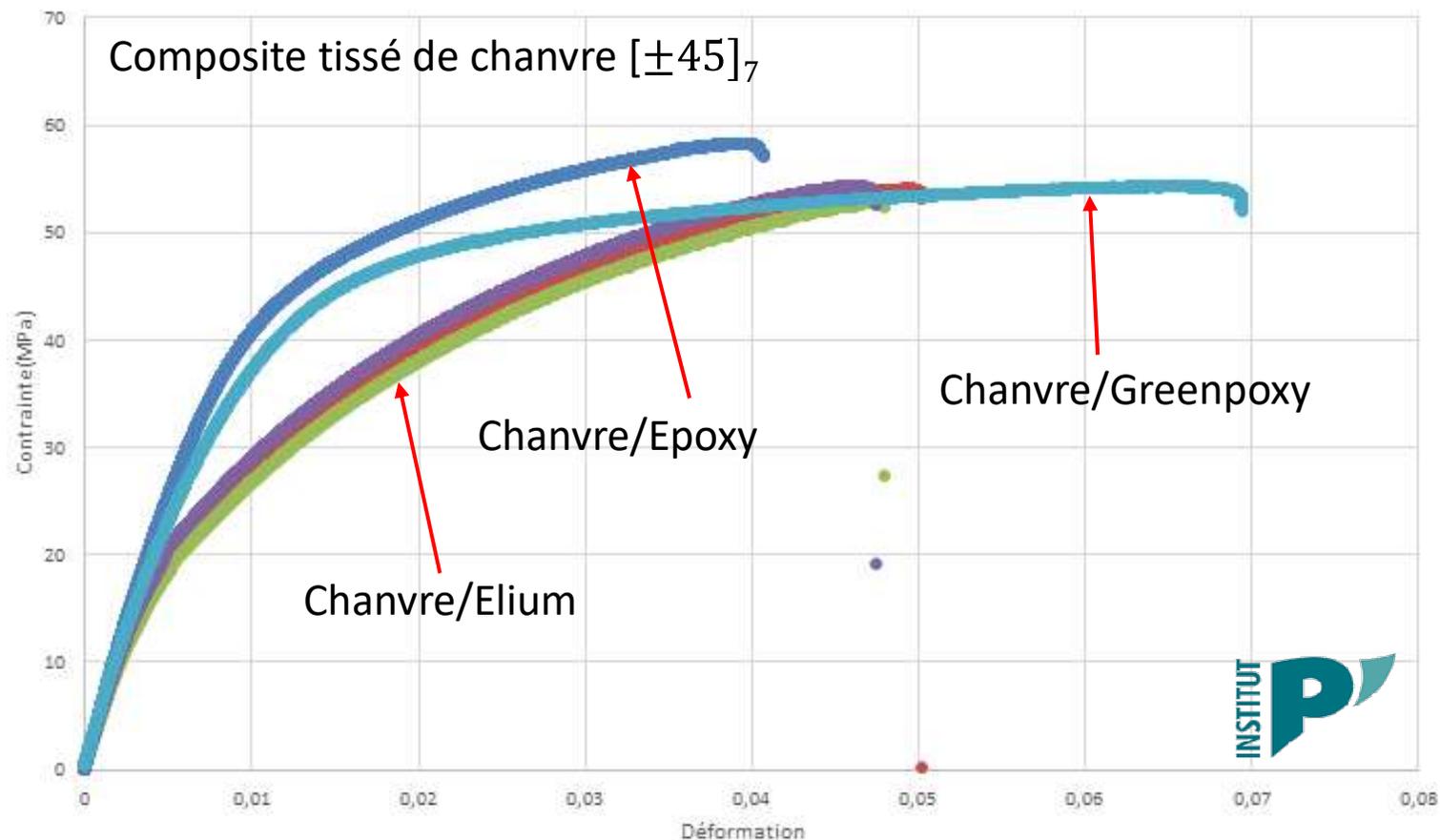
	Thermodurs	Thermoplastiques
Ressource renouvelable ?	Epoxy, polyester  Greenpoxy 	PP, PE Elium  PA11, PLA 
Procédés de mise en œuvre	Moulage, infusion, stratification... Elium	Extrusion, injection, thermocompression... Elium
Température de mise en œuvre	 Elium	
Propriétés mécaniques	 Elium	
Recyclabilité		 Elium (par dépolymérisation)

Choix de la matrice : comparaison

Epoxy (Epolam) : thermodure pétro-sourcée, non recyclable

Greenpoxy : thermodure 56% bio-sourcée, non recyclable

Elium : nouvelle résine thermoplastique d'Arkéma, pétro-sourcée, recyclable



➔ Comparaison en traction d'éco-composites élaborés avec trois résines différentes et un même tissu de chanvre.

Exemples d'applications

Applications : automobile

1941 : Henry Ford construit la « hemp car » (voiture en chanvre)



Carrosserie et carburant : chanvre

Applications : automobile



**2016 : Peugeot 308, panneau de portière en chanvre/PP
(fibres courtes)**



Applications : automobile



2016 : Peugeot 3008 et Citroën C4 Picasso plancher du coffre en fibres continues lin/Acrodur (BASF)



Applications : automobile



**2018 : voiture de course EPCS V2.3 Tesla P100DL,
carrosserie avec fibres de lin.**



(Source: Bcomp by Jaime de Diego)

Applications : aéronautique

1941 : fuselage du Spitfire en « Gordon aerolite »,
lin/résine phénolique.



<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk>

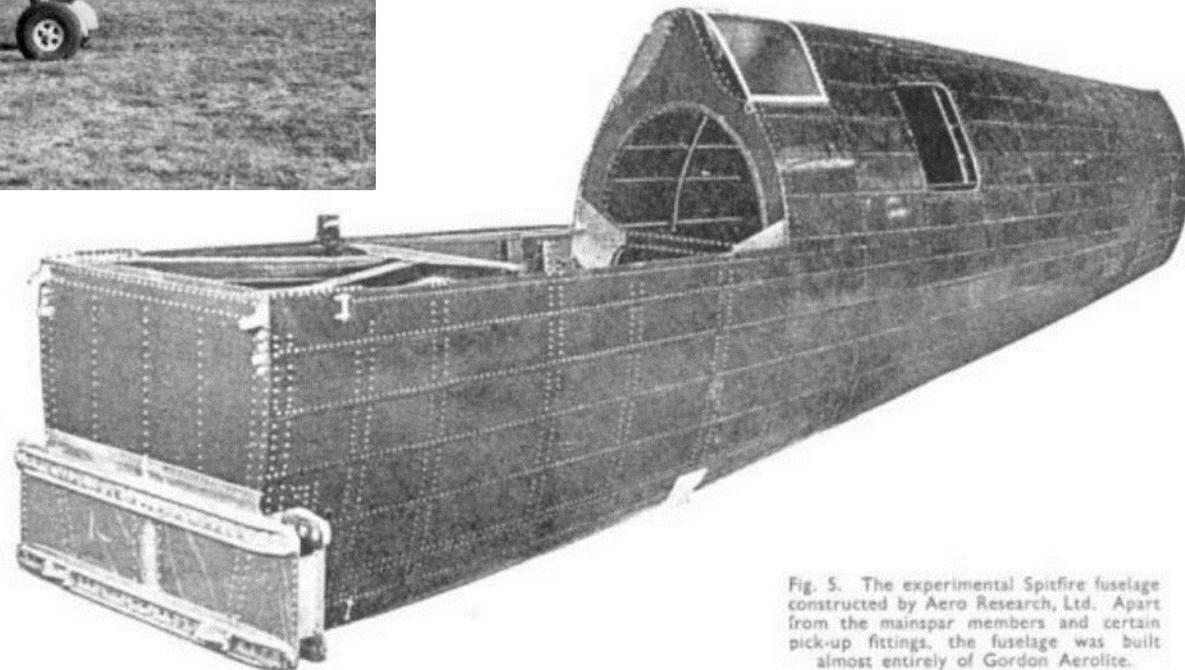


Fig. 5. The experimental Spitfire fuselage constructed by Aero Research, Ltd. Apart from the mainspar members and certain pick-up fittings, the fuselage was built almost entirely of Gordon Aerolite.

Applications : aéronautique

1941



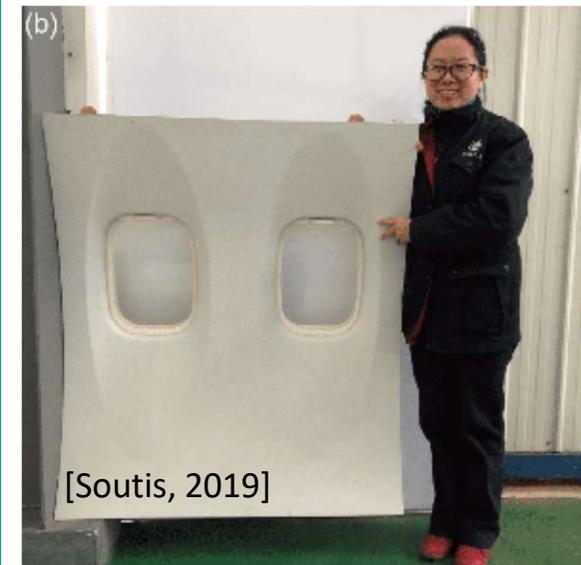
2016-2019 : projet européen Eco-Compass.

Germany (Coordinator), Greece, United Kingdom, Spain, Portugal, France.

Fibres naturelles dans des structures secondaires.



Exemple : panneau intérieur en fibres de ramie et époxy biosourcée.



Applications : nautisme



**1492-1535 :
Christophe Colomb et
Jacques Cartier
traversent l'Atlantique
avec des voiles
et des cordages
de chanvre.**

Applications : nautisme

1492-1535

chanvre



2011: le Mini 6,50 de Thibault Reinhart
en lin/araldite



[Voiles et Voiliers, janvier 2012]



Applications : nautisme

1492-1535

chanvre



2011

lin



2013: le Gwalaz de Roland Jourdain est le premier trimaran en biocomposites : fibres de lin, liège, balsa et résine "végétale".



[Voiles et Voiliers, août 2013]

Applications : nautisme

1492-1535

chanvre



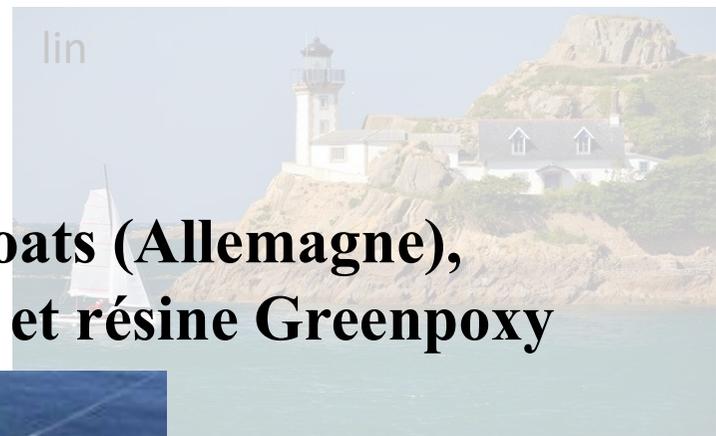
2011

lin



2013

lin



**2019 : le Bente 24 Green de GreenBoats (Allemagne),
en sandwich de fibres de lin et de liège, et résine Greenpoxy**

[Boatindustry, 2019]



Applications : nautisme

1492-1535

chanvre



2011

lin



2013

lin



2020 : le Virgin Mojito par IDB marine, bateau de série en sandwich lin et balsa.

2019



[Voiles et Voiliers, avril 2020]

Applications : sports et loisirs

2009: le canoë de Mad River (USA) en fibres de chanvre.



2011 : Kayak de Plasmor, en lin et amidon de maïs.



2010 : le stand-up paddle de Kairos en fibres de lin.

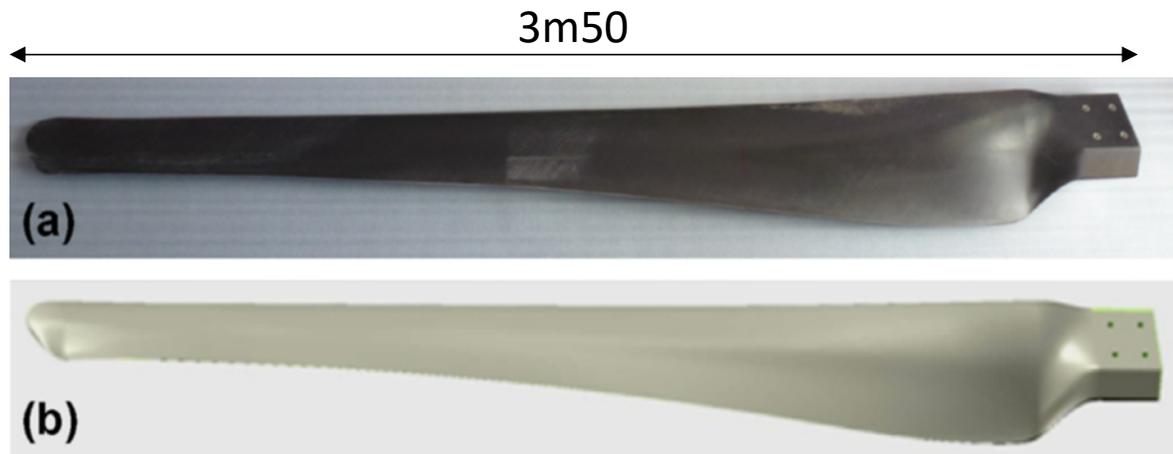


2020 : surf de Notox, en lin, liège et bioépoxy.



Applications : éolien

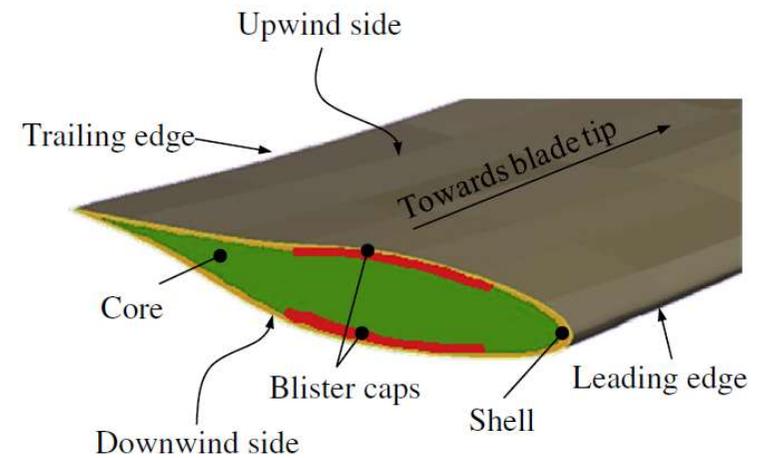
2013 : éolienne de 3m50 en fibres continues lin/polyester.



Pale en lin

Pale en verre

[Shah, 2013]



Applications : éolien

2013



2014 : éolienne sur le toit de l'université de Stuttgart en fibres continues lin/époxy (tissu et UD).





Des questions ?

Fabienne Touchard

fabienne.touchard@ensma.fr

avec Laurence Chocinski,

C. Bonnafous, D. de Vasconcellos, A. Perrier, R. Barbière, D. Mellier, Q. Drouhet, A. Lafitte

Institut P' • UPR CNRS 3346
Département Physique et Mécanique des Matériaux
ENSMA • Téléport 2
1, avenue Clément Ader • BP 40109
F86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

