

MATERIAUX INNOVANTS ET PROCÉDES ASSOCIÉS

Matériaux polymères et composites - Matériaux fonctionnels

Les 6e Rencontres technologiques

27 et 28 septembre 2006, ISITV - La Valette-du-Var

FILIERE
MATERIAUX
INNOVATION
ECO-CONCEPTION



Conférences techniques 28 septembre 2006



Les fibres composites d'origine naturelle. Hervé BINDI, CARMA Joël LÉVEQUE, ATOUTVEILLE Alain PARISSÉ, COMPOSITEC

Résumé

L'utilisation de matériaux composites renforcés de fibres d'origine renouvelables se développe dans de nombreux secteurs, dont notamment celui de l'automobile avec des matrices thermoplastiques.

Pour le renforcement de polymères, les fibres végétales présentent des propriétés mécaniques spécifiques importantes (au moins pour certaines d'entre elles) et de nombreux atouts si on s'intéresse aux impacts environnementaux. Il s'agit de ressources renouvelables, naturellement biodégradables, neutres quant aux émissions de CO₂ dans l'atmosphère et ne demandant que peu d'énergie pour être produites.

La première partie de l'exposé présentée par la société ATOUTVEILLE rappelle les définitions et les différentes classifications des fibres naturelles, ainsi que leurs propriétés générales, leurs avantages mais aussi leurs limites. En conclusion, la société ATOUTVEILLE propose, grâce à son expertise sur le domaine, un tour d'horizon des opportunités et des perspectives futures par rapport à l'utilisation de ces matériaux de renfort.

Le CARMA, engagé clairement dans la démarche d'éco-conception, s'est fixé pour objectif de faire un point sur les différentes catégories de matériaux de ressources renouvelables et biodégradables.

Dans le domaine des matériaux composites, le CARMA a souhaité amorcer la réflexion sur l'état de l'art dans le domaine des renforts d'origine renouvelable et biodégradable.

La deuxième partie de cette présentation synthétise les essais menés sur des composites, renforcés de non-tissés de lin et de chanvre disponibles actuellement sur le marché, et mis en œuvre par stratification au contact et par infusion de résine sous membrane souple.

Les limites actuelles des matériaux obtenus et les voies d'amélioration possibles sont présentées dans l'exposé.

La présentation sera conclue par une synthèse des résultats obtenus par COMPOSITEC sur des composites thermosensibles renforcés de fibres naturelles obtenus par RTM et BMC.

Avec le soutien de



Caractérisation de matériaux composites renforcés de fibres d'origine renouvelable

Les 6^e Rencontres Technologiques, le 28 sept. 2006



> Sommaire

Sommaire

- ✓ Objectifs de l'étude menée
- ✓ Présentation des différentes fibres végétales
- ✓ Recherche de fournisseurs
- ✓ Caractérisation des composites réalisés
- ✓ Conclusions

Les 6^e Rencontres Technologiques, le 28 sept. 2006



Les objectifs

- ✓ Recenser les produits disponibles sur le marché
- ✓ Evaluer leur aptitude à la mise en oeuvre
- ✓ Comparer avec des renforts classiques par rapport à leurs performances mécaniques
- ✓ Envisager des applications potentielles dans l'industrie



Les fibres végétales

- ✓ Faible coût
- ✓ Biodégradabilité
- ✓ Ressource renouvelable
- ✓ Demande peu d'énergie pour être produite
- ✓ Bonne isolation thermique et électrique
- ✓ Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)



chanvre



jute



sisal



coton



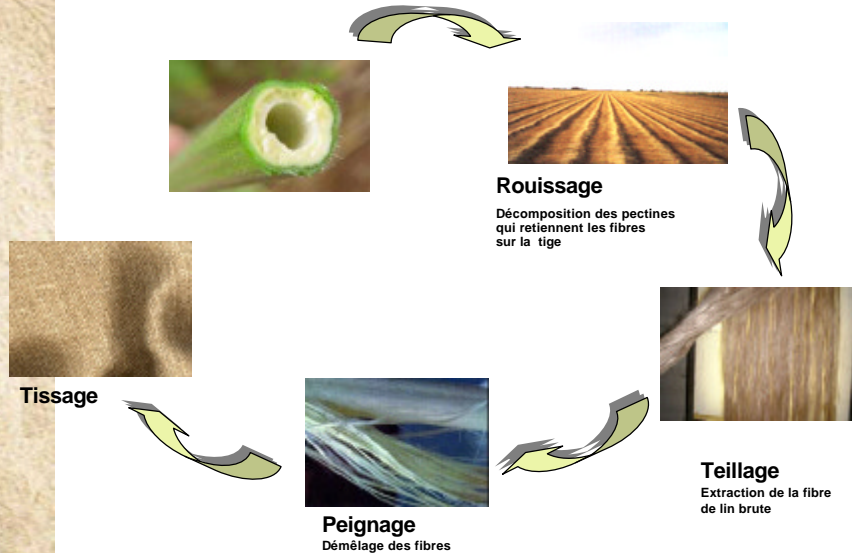
coco



lin



Transformation des fibres végétales



Recherche de fournisseurs

- ✓ Bases données spécifiques aux fournisseurs de fibres naturelles
www.n-fibrebase.net
- ✓ Consultation de laboratoires travaillant sur les matériaux biodégradables
- ✓ Enquête auprès des centres techniques partenaires du CARMA
- ✓ JEC Composites Show à Paris
- ✓ Collaboration avec Atoutveille



↻ Peu de fournisseurs industriels de renforts pour les composites thermodurcissables ⇒ non tissés essentiellement

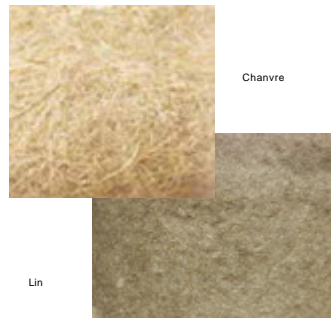


Les renforts utilisés

- ✓ Non tissés de chanvre 400 / 600 / 800 g/m²
- ✓ Non tissés de lin 600 g/m²

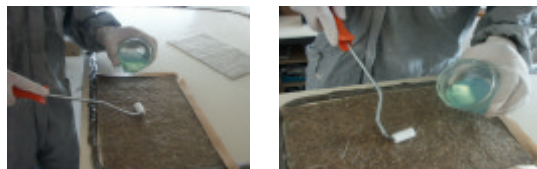
En comparaison avec :

- ✓ Mat de verre 450 g/m²
- ✓ Rovimat 450 g/m²
- ✓ Tissu équilibré 250 g/m²



Réalisation des composites

- **Moulage au contact**
Résine polyester à faible taux de styrène (DCPD)
⇒ Méthode de mise en œuvre principalement utilisée par la filière régionale



- ⚠ **Mauvaise mouillabilité des renforts**
Taux de renfort assez faible

> Caractérisation des composites réalisés

➤ Infusion

Résine polyester à faible taux de styrène (DCPD)

⇒ Taux de renfort plus important
Homogénéité du composite

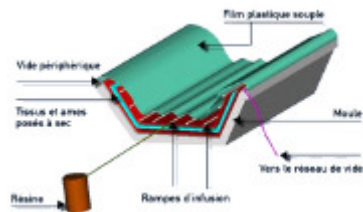
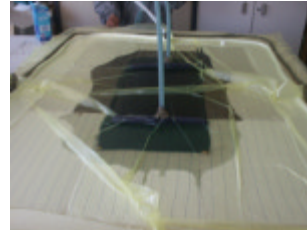


Schéma de principe de l'infusion



⇒ Perméabilité moins importante que le verre
Perméabilité du lin > chanvre



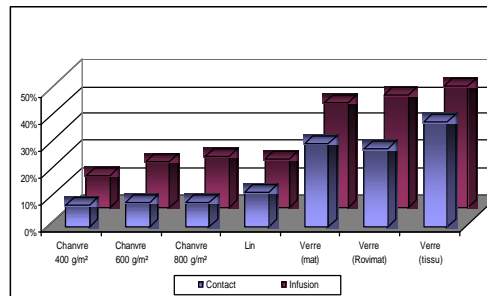
> Caractérisation des composites réalisés

✓ Taux de renfort

$$f_{vf} = \frac{V_f}{V_c} = \frac{m_f}{\rho_f h S} = \frac{m_{vf}}{r_f h}$$

Taux de renfort volumique (%)							
	Chanvre 400 g/m ² (mat)	Chanvre 600 g/m ² (mat)	Chanvre 800 g/m ² (mat)	Lin (mat)	Verre (mat)	Verre (Rovimat)	Verre (tissu)
Contact	8	9	9	13	29	31	39
Infusion	12	17	19	18	39	42	45

⇒ Taux de renfort relativement peu important avec les fibres végétales

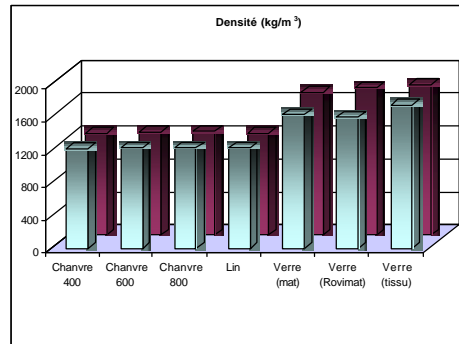


Caractérisation des composites réalisés

✓ Mesures de densité

	Densité						
	Chanvre 400 g/m ²	Chanvre 600 g/m ²	Chanvre 800 g/m ²	Lin	Verre (mat)	Verre (Rovimat)	Verre (tissu)
Contact	1,22	1,23	1,23	1,23	1,63	1,61	1,750
Infusion	1,23	1,25	1,25	1,24	1,74	1,79	1,82

⇒ Densité inférieure de l'ordre de 25 à 30 %



✓ Flexion trois points
Mesure de module

Norme : ISO 14125

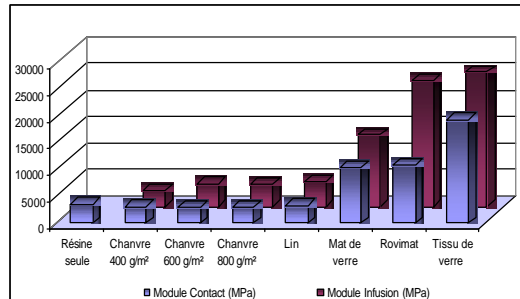


	Moyenne module d'Young (MPa)						
	Chanvre 400 g/m ²	Chanvre 600 g/m ²	Chanvre 800 g/m ²	Lin	Verre (mat)	Verre (Rovimat)	Verre (tissu)
Contact	3108	2935	3017	3329	10536	11031	19555
Infusion	3051	4321	4242	4804	13573	23833	25444

⇒ Au contact : modules équivalents à celui de la résine

En infusion : modules légèrement supérieurs à celui de la résine

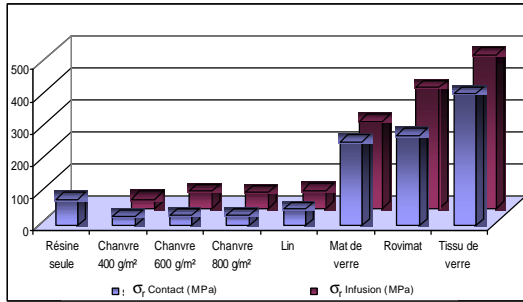
<< composites verre / polyester



✓ Flexion trois points
Mesure de la contrainte à la rupture

	sr (MPa)						
	Chanvre 400 g/m ² (mat)	Chanvre 600 g/m ² (mat)	Chanvre 800 g/m ² (mat)	Lin (mat)	Verre (mat)	Verre (Rovimat)	Verre (tissu)
Contact	29	32	29	51	261	282	408
Infusion	29	51	50	57	270	375	477

⇒ s_r faible
 s_r composites < s_r résine seule
<< composites verre / polyester



Synthèse des résultats

	Densité		Module (MPa)		E/ d (GPa)	
	Contact	Infusion	Contact	Infusion	Contact	Infusion
Chanvre 400 g/m ²	1,22	1,23	3 108	3 051	2,5	2,5
Chanvre 600 g/m ²	1,23	1,25	2 935	4 321	2,4	3,5
Chanvre 800 g/m ²	1,23	1,25	3 017	4 242	2,5	3,4
Lin	1,23	1,24	3 329	4 804	2,7	3,9
Verre (mat)	1,63	1,74	10 536	13 573	6,5	7,8
Verre (Rovimat)	1,61	1,79	11 031	23 833	6,9	13,3
Verre (tissu)	1,75	1,82	19 555	25 444	11,2	14,0



Conclusions

✓ **Quelques avantages des fibres naturelles par rapport aux fibres synthétiques :**

- Densité des composites
- Faible coût
- Biodégradabilité
- Ressource renouvelable

✓ **Applications limitées de ces fibres dans le domaine du composite (pièces non structurelles)**

- Mise en place de filière de production et de distribution pour répondre aux besoins de l'industrie
- Augmentation des connaissances sur ces matériaux (performances, gestion, maîtrise de la biodégradabilité, identifications de ces structures complexes...)
- Développement de préparation de surface des fibres (ensimage)
- Développement de technologies industrielles pour transformer ces fibres végétales
- Valider le choix de ces fibres dans le cadre d'une démarche d'éco-conception

Les fibres composites d'origine naturelle

Joël LEVEQUE
AtoutVeille

Préambule

Présentation AtoutVeille

Prestataire de services de veille technologique dans le
domaine des matériaux polymères et composites :

- ☞ tant au niveau des matières (résines TP et TD, fibres naturelles et synthétiques, additifs, colorants, etc.),
- ☞ que des procédés et équipements de fabrication (1^{ère} transformation, finition, décoration, recyclage, etc.)
- ☞ ou de l'outillage (moulistes, techniques de prototypage rapide).

SARL au capital de 7622,45 € créée en mai 2000 par Joël
LEVEQUE, ingénieur INPG

Offre de services AtoutVeille

- ☞ Programmes de veille mono et multiclients
- ☞ Sourcing de fournisseurs, de sous-traitants ou de laboratoires d'essais
- ☞ Etudes techniques :
 - ↳ recherches bibliographiques
 - ↳ états de l'art (avec prospective technologique, marché et/ou réglementaire)
 - ↳ études de faisabilité / opportunités de développement
 - ↳ aide au choix de matériaux
- ☞ Formation/sensibilisation à la veille technologique

1. Des matériaux ... aux éco-matériaux
2. Opportunités pour les fibres naturelles
3. Différentes catégories de fibres naturelles
4. Composites renforcés de fibres naturelles
5. Perspectives futures

Des matériaux ... (cf. Fuad-Luke)

- ☞ **Matériaux issus de la biosphère : provenant des éléments vivants de la planète.**
 - ↳ Issus de plantes, d'animaux et de micro-organismes.
 - ↳ Renouvelables et valorisables naturellement.
- ☞ **Matériaux issus de la lithosphère : provenant de la strate géologique de l'écorce terrestre.**
 - ↳ Matériaux abondants (sable, grave, pierre et argile).
 - ↳ Mais également, matériaux dont les ressources sont limitées (comme les combustibles fossiles, l'or ou les métaux et pierres précieuses).
- ☞ **Matériaux issus de la technosphère : généralement non renouvelables et non valorisables naturellement.**
 - ↳ Les quantités d'énergie pour les produire tendent à être supérieures à celles des matériaux issus de la biosphère.
 - ↳ Les matériaux issus de la biosphère et de la lithosphère sont souvent transformés pour créer des matériaux issus de la technosphère.

... aux éco-matériaux

- ☞ **Eco-matériaux : ont un impact minimal sur l'environnement mais offrent des performances maximales pour la fonction requise.**
 - ↳ Les éco-matériaux peuvent être facilement réintroduits dans des cycles de valorisation.
 - ↳ Les éco-matériaux issus de la biosphère sont recyclés par la nature tandis que les éco-matériaux issus de la technosphère sont recyclés par des procédés technologiques.
- ☞ **Matériaux issus des ressources renouvelables : matériaux techniques produits à partir de substances issues de tissus vivants.**
 - ↳ On parle souvent de **biomatériaux** mais ce terme renvoie aussi à une autre définition (matériaux médicaux compatibles avec les tissus vivants).
 - ↳ Incluent des matériaux courants comme le cuir ou le bois.
 - ↳ Par analogie :
 - Fibres naturelles et biofibres.
 - Composites issus de ressources naturelles et biocomposites.
 - Plastiques issus de ressources naturelles et bioplastiques.

1. Des matériaux ... aux éco-matériaux
2. Opportunités pour les fibres naturelles
3. Différentes catégories de fibres naturelles
4. Composites renforcés de fibres naturelles
5. Perspectives futures

2 – Opportunités pour les fibres naturelles

Pourquoi un tel intérêt pour les fibres naturelles ?

- ☞ Les fibres naturelles et les matériaux composites ont une histoire qui date de plusieurs milliers d'années.
 - ↳ L'argile renforcée avec de la paille dans l'ancienne Egypte.
 - ↳ Les produits à base de bois utilisés sous différentes formes depuis des milliers d'années.
- ☞ De plus,
 - ↳ Dans le monde entier, les fibres naturelles abondent dans la nature sous différentes formes.
 - ↳ Elles sont utilisées comme renfort dans l'argile pour réaliser des matériaux de construction ou dans les produits textiles sous forme tissée.
- ☞ Cependant,
 - ↳ Les fibres de verre représentent le matériau de renfort le plus utilisé dans les composites depuis les 50 dernières années.
 - ↳ Les composites renforcés de fibres de carbone ou de fibres d'aramide sont de plus en plus utilisés.

Et pourquoi maintenant ?

- ☞ **Nécessité de réduire les émissions de CO₂ pour réduire l'effet de serre.**
 - ↪ Agenda 21
 - ↪ Stratégie de Lisbonne
 - ↪ Protocole de Kyoto
- ☞ **Nouvelles réglementations sur le traitement des déchets**
 - ↪ Interdiction de mise en décharge.
 - ↪ Taxes sur l'incinération des déchets (en Suède par exemple).
 - ↪ Directives DEEE ou VHU.
- ↪ **Nécessité de promouvoir le développement durable.**

Comment promouvoir le développement durable ?

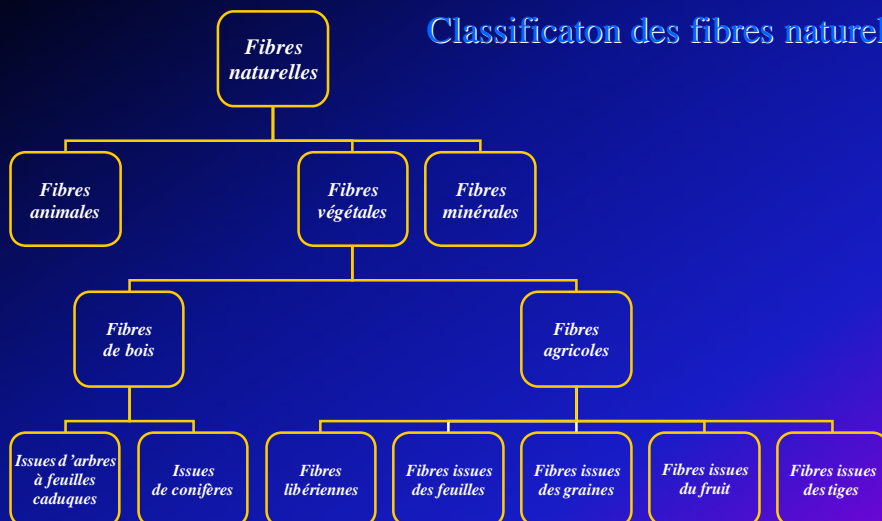
- ☞ **En favorisant l'éco-conception**
 - ↪ Réduction à la source.
 - ↪ Analyse du cycle de vie des produits (LCA).
 - ↪ Prévoir le recyclage dès la conception.
- ☞ **En favorisant la valorisation des matériaux issus de la technosphère**
 - ↪ Procédés pour traiter les produits en fin de vie.
 - ↪ Développement de matériaux recyclables en circuit fermé
- ☞ **En favorisant l'utilisation de matériaux issus de la biosphère**
 - ↪ Plastiques issus de ressources naturelles
 - ↪ Fibres naturelles
 - ↪ Composites issus de ressources naturelles

Eco-matériaux

1. Des matériaux ... aux éco-matériaux
2. Opportunités pour les fibres naturelles
3. Différentes catégories de fibres naturelles
4. Composites renforcés de fibres naturelles
5. Perspectives futures

3 – Différentes catégories de fibres naturelles

Classificaton des fibres naturelles



Principales catégories de fibres agricoles

- ☞ **Fibres libériennes (extraites de la partie extérieure de la tige)**
 - ↳ Lin, chanvre, jute, kénaf, ramie
- ☞ **Fibres extraites des feuilles**
 - ↳ Fibres de sisal, de bananier ou de palmier
- ☞ **Fibres extraites de poils séminaux des graines**
 - ↳ Fibres de coton ou de kapok
- ☞ **Fibres extraites de l'enveloppe du fruit**
 - ↳ Fibres de coco
- ☞ **Fibres extraites des tiges ou des troncs (paille de blé, de riz, d'orge ou d'autres cultures telles que le bambou)**

Propriétés des fibres agricoles

Propriétés	Verre-E	Lin	Jute	Chanvre	Coton	Ramie	Coco	Sisal
Densité	2,54-2,57	1,40-1,54	1,44-1,46	1,07-1,48	1,5-1,6	1,50-1,56	1,15-1,25	1,33-1,45
Résistance à la traction (MPa)	3200-3400	600-2000	400-800	390-900	287-597	400-1000	130-230	350-700
Module de traction (GPa)	72-73	12-85	10-30	35-70	5,5-12,6	44-128	4-6	9-38
Module spécifique	28	25-45	7-20	45	8	30	5	30
Allongement (%)	4,6-4,8	1-4	1,5-1,8	1,6	3-10	1,2-3,8	15-40	2-7
Longueur des fibres (mm)	- -	4-77	2-5	5-55	10-40	40-250	0,3-1	0,8-8

Données provenant d'Olesen & al et de Baley

1. Des matériaux ... aux écomatériaux
2. Opportunités pour les fibres naturelles
3. Différentes catégories de fibres naturelles
4. **Composites renforcés de fibres naturelles**
5. Perspectives futures

4 – Composites renforcés de fibres naturelles

Les fibres naturelles comme renfort des composites

☞ Avantages

- ☞ Coût plus faible
- ☞ Excellent module spécifique
- ☞ Biodégradables
- ☞ Renouvelables
- ☞ Bonne isolation thermique et acoustique
- ☞ Abrasion réduite de l'outillage
- ☞ Pas émissions de CO₂
- ☞ Faible besoin en énergie pour la production
- ☞ Pas de déchet après incinération

☞ Inconvénients

- ☞ Large gamme de prix
- ☞ Faible stabilité dimensionnelle
- ☞ Biodégradables
- ☞ Absorption de l'eau
- ☞ Faible résistance thermique
- ☞ Qualité variable
- ☞ Faible adhésion avec les polymères
- ☞ Niveau de connaissance insatisfaisant

Avantages des composites renforcés de fibres naturelles

(données provenant de Joshi & al.)

- ☞ **Impacts environnementaux plus faibles lors de la production des fibres naturelles**
 - ↳ Besoin en énergie plus faible : 9,55 MJ/kg pour des mats de fibre de lin contre 54,7 MJ/kg pour des mats de fibres de verre.
 - ↳ Emissions plus faibles (CO₂, CO, SOx, NOx, DCO, DBO).
- ☞ **Quantité de fibres plus élevée pour des performances équivalentes**
- ☞ **Réduction du poids des structures composites**
 - ↳ 1,2-1,5 g/cm³ pour des fibres naturelles contre 2,5-2,8 g/cm³ pour des fibres de verre.
 - ↳ Améliore l'efficacité énergétique et réduit les émissions.
- ☞ **Crédits de carbone et d'énergie lors de l'incinération des fibres naturelles**
 - ↳ Crédit d'énergie pour l'incinération de fibres de roseau chinois : ~ 14 MJ/kg
 - ↳ Les émissions de CO₂ durant l'incinération sont contrebalancées par la absorption de carbone durant la croissance de la plante.

2 inconvénients principaux (données provenant de Joshi & al.)

- ☞ **Utilisation d'engrais dans la production de fibres agricoles**
 - ↳ Emissions de nitrate et de phosphate supérieures :
 - Nitrates : 24481 mg/kg pour des fibres de roseau chinois contre 14 mg/kg pour des fibres de verre
 - Phosphates : 233,6 mg/kg pour des fibres de roseau chinois contre 43,06 mg/kg pour des fibres de verre
 - ↳ Augmentation de l'eutrophication dans les plans d'eau (enrichissement des eaux naturelles avec des éléments nutritifs qui aboutit à une prolifération de la flore)
- ☞ **Les composites renforcés de fibres naturelles pourraient avoir une durée de vie plus faible comparés aux composites renforcés de fibres de verre.**

Avec quels procédés ?

- ☞ **Avec des résines thermodurcissables**
 - ☞ Moulage au contact : ramie / polyester
 - ☞ SMC : lin / polyester
 - ☞ Enroulement filamentaire : jute/ polyester
 - ☞ Compression : coton / polyester
 - ☞ Pultrusion : jute / vinylester
 - ☞ RTM : chanvre / résine phénolique ; kénaf / polyester
- ☞ **Avec des résines thermoplastiques**
 - ☞ Injection : chanvre / ABS
 - ☞ Pultrusion : lin / PP
 - ☞ GMT : lin / PE
 - ☞ Compression : kénaf / résine acrylique
- ☞ **Avec des résines issues de ressources naturelles**
 - ☞ PLA / kénaf

Pour quelles applications ?

- ☞ **Produits de construction**
 - ☞ planchers
 - ☞ profilés de portes, de fenêtres
 - ☞ clôtures
 - ☞ bardage
 - ☞ garde-corps
 - ☞ panneaux décoratifs
- ☞ **Automobile**
 - ☞ panneaux intérieurs
 - ☞ garnitures de toit
 - ☞ panneaux de sièges
 - ☞ tablettes arrières
 - ☞ caches de la roue de secours
 - ☞ planchers de camions
- ☞ **Infrastructure**
 - ☞ trottoirs
 - ☞ digues
 - ☞ signalisations routières
 - ☞ isolants phoniques
- ☞ **Divers**
 - ☞ palettes
 - ☞ tables de pique-nique
 - ☞ équipements de jeux publics

1. Des matériaux ... aux écomatériaux
2. Opportunités pour les fibres naturelles
3. Différentes catégories de fibres naturelles
4. Composites renforcés de fibres naturelles
5. **Perspectives futures**

5 – Perspectives futures

Principaux défis à relever

- ☞ Organiser la filière et la production amont
- ☞ Bâtir une meilleure connaissance de ces matériaux
- ☞ Mieux faire connaître ces matériaux aux utilisateurs finaux
- ☞ Développer des polymères adaptés à ces fibres
- ☞ Améliorer les procédés de mise en œuvre et les équipements pour mouler ces fibres
- ☞ Valider le choix de ces fibres dans le cadre d'une démarche d'éco-conception

Quelques références bibliographiques

- Perspectives on the performance of natural plant fibres
P. O. Olesen & D. V. Plackett – Natural fibres performance forum, 1999
- Natural fiber reinforcement materials
Scott W. Beckwitt – Composites Fabrication, november/december 2003
- The Eco-Design Handbook
Alastair Fuad-Luke - Thames & Hudson, 2004
- Are natural fiber composites environmentally superior to glass reinforced composites
S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty & S. Arora - Composites : Part A, 2004
- Use of natural fibres in composites in the German automotive production to 1996 till 2003
Michael Karus – Nova Institut, september 2004
- Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites
Christophe Baley – Techniques de l'Ingénieur, 2005
- RP-186 Plastic and wood/natural fiber composites
BCC, april 2005

Merci de votre attention

Contact :

Joël Lévêque

Tel. : +33 (0)5 56 0 21 93

E-mail : info@atoutveille.com