



IMT Mines Alès
École Mines-Télécom



ECOMAT2018

Saint-NAZAIRE
10-12 Octobre2018

ETUDE COMPARATIVE DE COMPOSITES BIO-SOURCÉS POUR APPLICATION MARINE : PROJET ECOTRANSAT

R.Léger¹, G.Melon², S.Corn¹, P.lenny¹

¹ C2MA, IMT Mines Ales, Univ Montpellier, Ales, France

² EcoTransat, Déferlante Océane, Sète, France

C2MA

Materials Research Center - IMT Mines Alès



CONTEXTE DE L'ETUDE : PROJET ECOTRANSAT

Les ambitions :

- ▶ Des voiliers éco-conçus, taillés pour la vitesse,
- ▶ Un Transatlantique en 2020 et un Tour d'Europe en 2021 pour un test grandeur nature,
- ▶ La création d'un chantier naval dédié à l'éco-conception,
- ▶ Faire de l'Occitanie un pôle du composite biosourcé, en lien avec la recherche et avec le secteur économique du nautisme,
- ▶ Créer une entreprise sociale (coopérative) participant au développement de l'emploi et l'insertion par l'activité.

Les acteurs :

LES PARRAINS

Kito de Pavant
skipper de course au large



Jérôme Poncet
navigateur des mers du Sud

L'ÉQUIPE



Gilles Melon : 38 ans, initiateur du projet, constructeur de bateau.
2 ans de navigation à la voile en passant le Cap Horn, plus de 35000 milles au compteur.
Membre de l'équipe technique de Kito de Pavant pour la préparation du Vendée Globe.
Activité professionnelle : Artisan construction et maintenance marine.



Valérie Cabanne : 51 ans, diplôme d'agent de développement international, chef de mission humanitaire en Afrique pendant plus de 10 ans, licence de sociologie, diplôme d'état d'éducatrice spécialisée.
Activité professionnelle : Coordinatrice de projets.



Pierre Julien Vandenburg : 35 ans Graphiste de formation, diverses navigations dont un tour d'Europe à bord d'un arpège, reconverti à la maintenance navale et travaillant désormais en voilerie.

eco  transat

CONTEXTE DE L'ETUDE : PROJET ECOTRANSAT

Le calendrier :

Démarrage

1. Financement 1^{er} proto : 25 K€ fonds propre/ 32 K€ crowdfunding/ 15 K€ fondation « Un monde pour tous »
2. Construction du prototype Sterne 25 en contre-plaqué →
3. Caractérisation des matériaux AFT ECOLE DES MINES
4. Installation de capteurs et jauges de déformation
5. Mise en place de la stratégie de recherche de sponsoring, de communication, rencontre sponsors et mécènes

Phase de lancement

1. Création de la SCIC Ecotransat 2^e trimestre 2018
2. 1^{er} résultats AFT
3. Recherche de financements via sponsors et mécènes, images en mer des prototypes, navigations à bord du Sterne 25
4. Démarrage de la thèse Duracomp (matériaux recyclables)
5. Construction des prototypes Sterne 25 en fibres : LIN, BASALTE, BAMBOU, CHANVRE, JUTE

Longueur : 7,60 m
 Largeur : 3,10 m
 Tirant d'eau : 2,00 m
 Poids : 1400 kg
 (différent selon matériau)
 Voilure au près : 48 m²
 Hauteur du mât : 10.40 m
 Voilure au portant : 108 m²

Globe.
6 premiers bateaux identiques participeront aux courses Ecotransat, chacun avec un matériau innovant, biosourcé, et/ou recyclable.

6 bateaux avec des matériaux différents :

Bambou
Lin
Basalte
Jute
Chanvre
Bois

Le Sterne 25



CONTEXTE DE L'ETUDE : PROJET ECOTRANSAT

Le calendrier :

Démarrage

1. Financement 1^{er} proto : 25 K€ fonds propre/ 32 K€ crowdfunding/ 15 K€ fondation « Un monde pour tous »
2. Construction du prototype Sterne 25 en contre-plaqué
3. **Caractérisation des matériaux AFT ÉCOLE DES MINES**
4. **Installation de capteurs et jauges de déformation**
5. Mise en place de la stratégie de recherche de sponsoring, de communication, rencontre sponsors et mécènes

Phase de lancement

1. Création de la SCIC Ecotransat 2^e trimestre 2018
2. 1^{er} résultats AFT
3. Recherche de financements via sponsors et mécènes, images en mer des prototypes, navigations à bord du Sterne 25
4. **Démarrage de la thèse Duracomp (matériaux recyclables)**
5. Construction des prototypes Sterne 25 en fibres : LIN, BASALTE, BAMBOU, CHANVRE, JUTE

Tests en laboratoire : Durabilité / Impact

- Verre
 - Basalte
 - Lin
 - Jute
 - Chanvre
 - Bambou
- + greenpoxy / Infusion

Instrumentation :

- Jauges de déformation
- Capteurs innovants (Silmach, Sensor)

2017

2018

2019



Haithem BEL HAJ FREJ (2018-2020)
 - Tenue en service de composites recyclables pour application nautique



MATERIAUX

Mise en forme :

► Constituants :



- Résine : Sicomin SR InfuGreen 810 + durcisseur SD 8822 (100/31)
 - Densité 1,16 g/cm³
- Renforts :
 - Configuration
 - Nature
 - Masse surfacique / densité

Nature	Fournisseur	Tissage	Masse surfacique (g/m ²)	Densité (g/cm ³)
Verre	Ahlstrom	biax +45/-45	600	2.60
Chanvre	FRD	Toile	190	1.57
Jute	Gold of Bengal	Sergé 2/2	400	1.50
Lin	FRD	biax +45/-45	350	1.56
Basalte	Basaltex	biax +45/-45	460	2.74
Bambou	Cobratex	« Sergé » 2/2	380	1.10
Basalte	Basaltex	Toile	220	2.74

Verre

Chanvre

Jute

Lin

Basalte Biax

Bambou

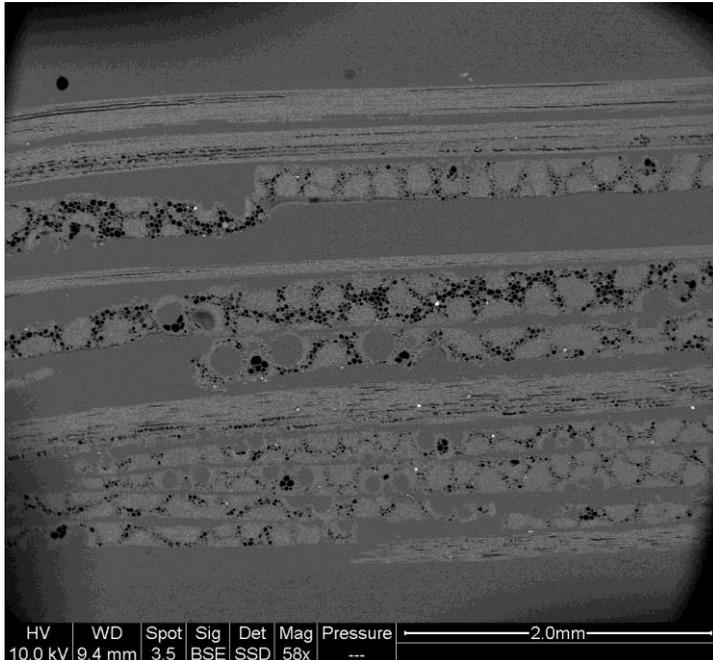
Basalte toile



MATERIAUX

Mise en forme :

- Infusion : 2 campagnes



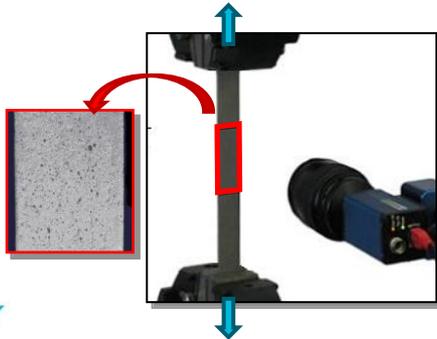
Référence plaque	Nb plis	Masse plaque (g)	Masse fibre (g) (grammage en g/m ²)	Epaisseur (mm)	Taux massique de renfort (%)	Taux volumique de renfort / porosités (%)
Verre 1	4	450	326 (2400)	1.93	72	57 / 2
Chanvre 1	8	379	159 (1510)	2.96	42	34 / 3
Jute 1	4	444	168 (1600)	3.63	38	30 / 3
Lin 1	4	359	152 (1450)	3.00	42	32 / 1
Basalte biax 1	4	251	191 (1820)	1.33	76	55 / 2
Bambou 1	4	311	160 (1520)	3.03	51	51 / 11
Basalte toile 1	8	257	186 (1770)	1.34	72	55 / 5

Référence plaque	Nb plis	Masse plaque (g)	Masse fibre (g) (grammage en g/m ²)	Epaisseur (mm)	Taux massique de renfort (%)	Taux volumique de renfort / porosités (%)
Chanvre 2	8	575	237 (1510)	3.04	41	34 / 2
Jute 2	4	722	250 (1600)	3.85	35	29 / 2
Lin 2	4	588	245 (1450)	3.05	42	30 / 2
Basalte biax 2	4	433	285 (1820)	1.60	66	45 / 3
Bambou 2	4	449	205 (1520)	3.00	46	46 / 10
Basalte toile 2	8	381	276 (1770)	1.34	72	55 / 5

METHODES

Comportement initial (campagne 1) :

- ▶ Traction simple (à 23°C)
 - Suivi de déformations par CIN
 - E_1 : module normalisé (0.05-0.25%)
 - E_2 : module stabilisé (0.3-0.5%)
 - ν : Coef. de Poisson
 - σ_m : contrainte à rupture
 - ε_m : déformation à rupture



Durabilité (campagne 2) :

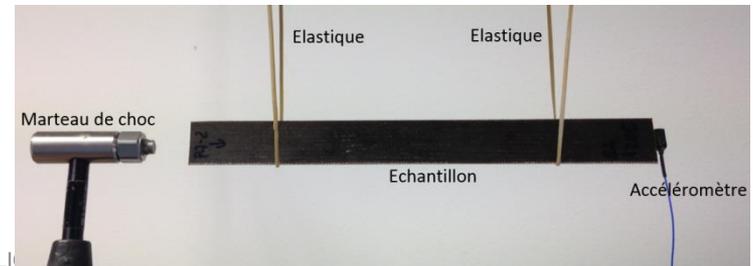
- ▶ Vieillissement (eau à 70°C)
 - Suivi de masse (W : taux d'absorption) :

$$W = 100 \times \frac{m - m_0}{m_0}$$

- Suivi du module élastique dynamique E_d par A.Vib (f : fréquence du mode propre de T/C) :

$$E_d = 4\rho L^2 f^2$$

- Evaluation des propriétés résiduelles à saturation



RESULTATS / ANALYSES

Comportement initial (campagne 1) :

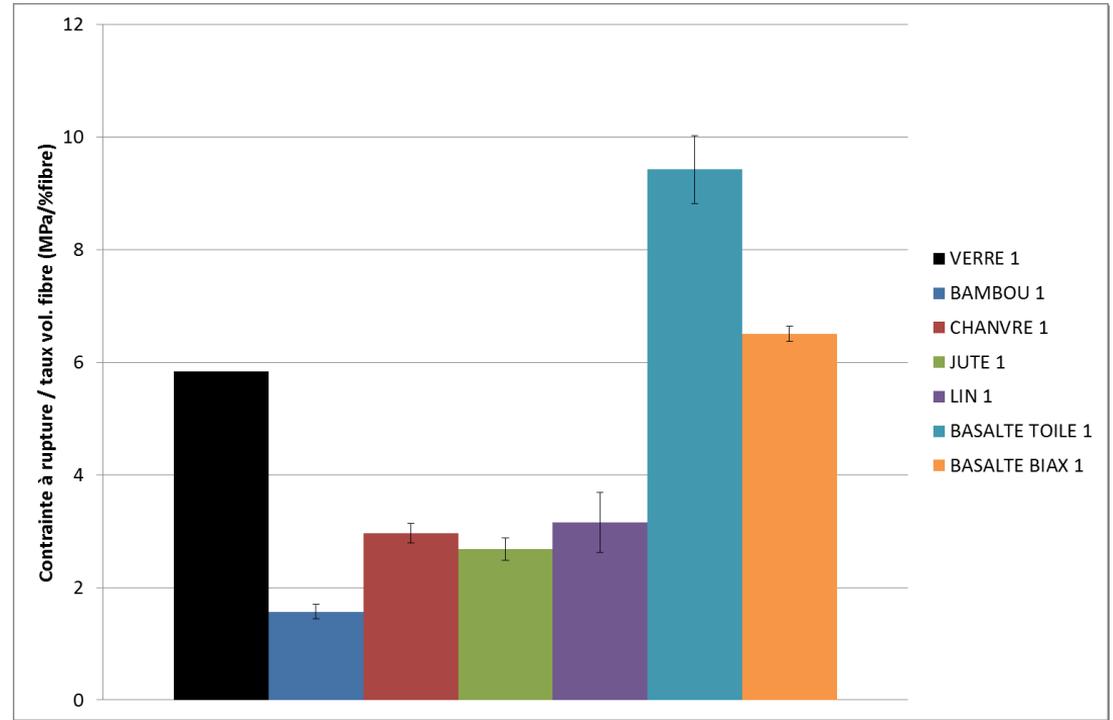
► Traction simple (à 23°C)

Référence plaque	E_1 (GPa)	γ (%)	E_2 (GPa)	γ (%)	ν	γ (%)	σ_m (MPa)	γ (%)	ϵ_m (%)	γ (%)
Chanvre 1	6.0	31	5.6	5			95	6	3.6	20
Chanvre 2*	6.7	/	5.1	/	0.21	/	85	/	2.4	/
Jute1	7.4	6	6.5	1			78	7	2.0	49
Jute 2*	8.6	/	6.4	/	0.24	/	83	/	1.4	/
Lin 1	7.1	18	6.7	4			98	17	1.3	13
Lin 2*	8.5	/	7.1	/	0.29	/	98	/	1.4	/
Basalte biax 1	22.9	6	19.2	3			325	2	2.1	8
Basalte biax 2*	21.4	/	17.7	/	0.19	/	442	/	2.6	/
Bambou 1	5.0	32	6.2	8			73	8	1.2	9
Bambou 2*	6.4	/	6.9	/	0.13	/	64	/	0.9	/
Basalte toile1	22.1	12	20.1	4			458	6	2.6	3
Basalte toile 2*	24.9	/	20.6	/	0.16	/	509	/	2.9	/
Verre*	23.4	/	17.6	/	0.10	/	270	/	2.8	/

RESULTATS / ANALYSES

Comportement initial (campagne 1) :

- ▶ Traction simple (à 23°C)
 - Module normalisé / τ_V
 - Module stabilisé / τ_V
 - Contrainte à rupture / τ_V



RESULTATS / ANALYSES

Comportement initial (campagne 1) :

► Raideurs apparentes (N.m)

- Traction $K_t = \frac{Ebe}{L}$
 - Même raideur en traction si $E_a e_a = E_b e_b$

Référence plaque	épaisseur (mm)	Masse surfacique (g/m ²)	Evolution de la masse (%)
Verre (ref)	1.9	3466	0
Chanvre	7.5	9052	161
Jute	6.8	7766	100
Lin	6.3	7224	108
Basalte biax	2.0	3538	2
Bambou	8.9	8790	154
Basalte toile	2.0	3760	8

RESULTATS / ANALYSES

Comportement initial (campagne 1) :

► Raideurs apparentes (N.m)

- Traction $K_t = \frac{Ebe}{L}$

- Même raideur en traction si $E_a e_a = E_b e_b$

- Flexion $K_f = \frac{4Ebe^3}{L^3}$

- Même raideur en flexion si $E_a e_a^3 = E_b e_b^3$

Référence plaque	épaisseur (mm)	Masse surfacique (g/m ²)	Evolution de la masse (%)
Verre (ref)	1.9	3466	0
Chanvre	3.0	3655	5
Jute	2.9	3356	-7
Lin	2.9	3270	-6
Basalte biax	1.94	3492	1
Bambou	3.2	3172	-8
Basalte toile	1.97	3620	4

► Résistance...

RESULTATS / ANALYSES

Durabilité (campagne 2) :

- ▶ Absorption d'eau
- ▶ Evolution du module élastique dynamique

Référence plaque	Prise en eau à saturation W_{∞} (%)	γ (%)
Chanvre	8.3	5
Jute	8.3	1
Lin	10.6	10
Basalte biax	1.1	10
Bambou	29	5
Basalte toile	0.8	3
Verre (ref)	0.7	5

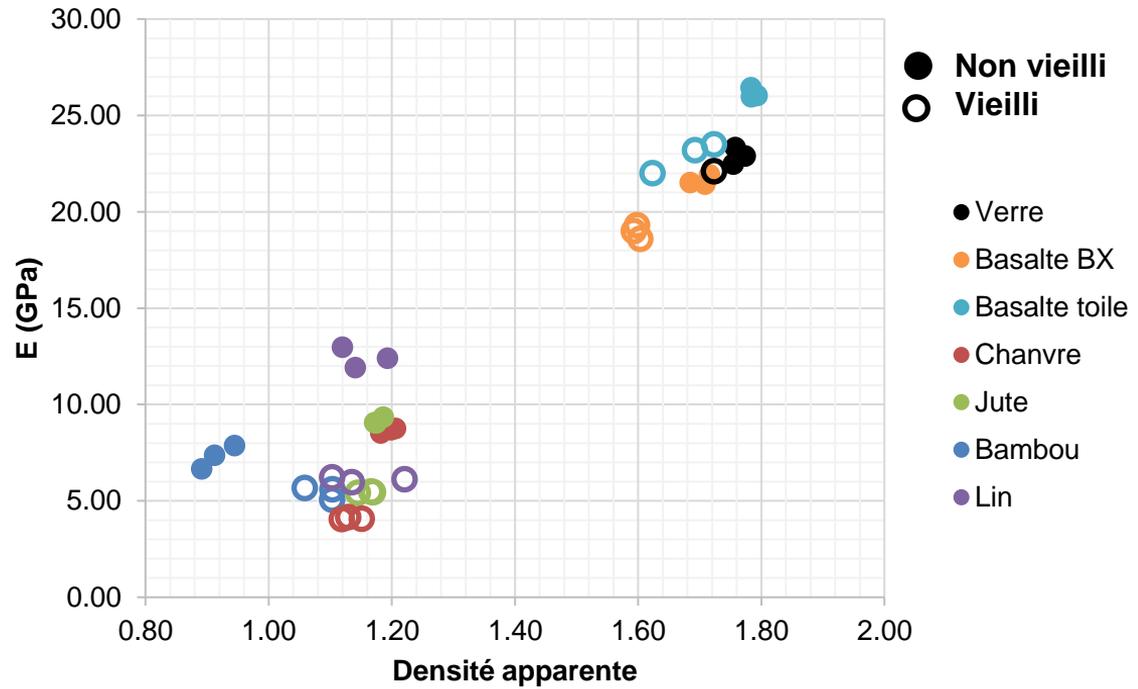
Référence plaque	Module avant vieillissement (GPa)	γ (%)	Module après vieillissement (GPa)	γ (%)	Evolution (%)
Chanvre	8.7	1	4.1	1	-52
Jute	9.2	2	5.5	1	-41
Lin	12.4	4	6.1	2	-51
Basalte biax	21.6	1	19.0	2	-13
Bambou	7.3	8	5.4	6	-26
Basalte toile	26.2	1	22.9	3	-12
Verre (ref)	22.9	2	22.1	/	-4

RESULTATS / ANALYSES

Durabilité (campagne 2) :

► Evolution du module élastique dynamique

- Verre/Basalte
- Chanvre/Lin/Jute
- Bambou



RESULTATS / ANALYSES

Durabilité (campagne 2) :

► Evolution du comportement
« statique » - élastique

- Verre/Basalte
- Chanvre/Lin/Jute
- Bambou

Référence plaque	E_1 (GPa)	γ (%)	Evolution (%)	E_2 (GPa)	γ (%)	Evolution (%)	ν	γ (%)	Evolution (%)
Chanvre 2	2.2	6	-68	1.8	7	-65	0.24	19	13
Jute2	3.4	2	-61	3.2	5	-50	0.29	24	21
Lin 2	3.9	6	-53	4.2	11	-41	0.30	21	5
Basalte biax 2	17.8	1	-17	15.8	2	-11	0.13	16	-30
Bambou 2	3.5	17	-45	4.2	10	-38	0.13	9	3
Basalte toile 2	19.9	5	-20	17.3	2	-16	0.10	30	-38
Verre	18.5	5	-21	14.2	6	-20	0.16	4	63

RESULTATS / ANALYSES

Durabilité (campagne 2) :

► Evolution du comportement « statique » - rupture

- Verre/Basalte
- Chanvre/Lin/Jute
- Bambou

Référence plaque	σ_m (MPa)	γ (%)	Evolution (%)	ε_m (%)	γ (%)	Evolution (%)
Chanvre 2	67	10	-22	4.5	9	86
Jute2	60	3	-28	2.0	3	40
Lin 2	74	11	-24	1.8	8	25
Basalte biax 2	317	4	-28	2.1	6	-18
Bambou 2	57	8	-10	1.5	15	63
Basalte toile 2	336	3	-34	2.1	1	-26
Verre	170	5	-37	1.4	7	-51

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

► Composites Basalte :

- Propriétés mécaniques équivalentes au verre
- Durabilité légèrement supérieure
- Bilan « éco » intéressant (bilan énergétique, aptitude au recyclage...)

➤ Possibilité de concevoir à masse \leq à la référence verre/monolithique

► Composites Chanvre/Jute/Lin/Bambou :

- Propriétés mécaniques 2 à 3 fois $<$ au verre, mais poids qui reste inférieur
- Durabilité nettement inférieure (sauf bambou)
- Bilan « éco » favorable (sauf jute) :
 - + Ressources renouvelables, et mise en œuvre peu énergivore
 - - espace nécessaire pour production en quantité, eau, traitement chimique

➤ Concevoir à raideur équivalente:

- Si Traction : masse x2 ou 3
- Si Flexion : masse équivalente, voire \leq à la référence selon épaisseur
- Dans tous les cas propriétés ultimes défavorables

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Les ambitions :

- ▶ Des voiliers éco-conçus, taillés pour la vitesse, →
- ▶ Un Transatlantique en 2020 et un Tour d'Europe en 2021 pour un test grandeur nature,
- ▶ La création d'un chantier naval dédié à l'éco-conception, →
- ▶ Faire de l'Occitanie un pôle du composite biosourcé, en lien avec la recherche et avec le secteur économique du nautisme,
- ▶ Créer une entreprise sociale (coopérative) participant au développement de l'emploi et l'insertion par l'activité.

- ▶ Instrumentation :
 - Jauges de déformation
 - Capteurs innovants (Silmach, Sensor)



- ▶ Fibres végétales + résine pétrosourcée/non recyclable... ?
- ▶ Composites éco-conçus :
 - Matrice biosourcée et/ou recyclable (Elium)
 - Ame recyclée
 - Fibres végétales ? Biodégradables, mais pas recyclables... → Fibres recyclées

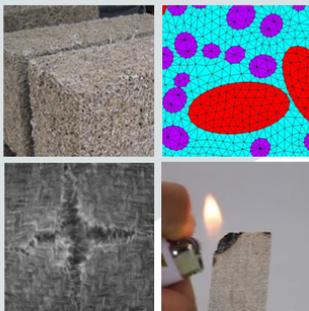


▶ Haithem BEL HAJ FREJ (2018-2020)

- Tenue en service de composites recyclables pour application nautique

**MERCI POUR
VOTRE
ATTENTION**

**4^{ème} Journées
Jeunes Chercheurs
Eco-composites et
Composites Bio-
sourcés**



**28/29 Mars 2019
IMT Mines Alès**



Présentation

IMT Mines Alès organise les **28 et 29 Mars 2019** dans le cadre des Entretiens Nîmes-Alès 2019 la **4^{ème} édition des Journées Jeunes Chercheurs en Eco-composites et Composites Bio-sourcés**. Plus d'informations et inscriptions sur : [site à mettre en place](#)

Public visé

Ces journées s'adressent tout particulièrement aux jeunes chercheurs (doctorants, post doctorants, jeunes maîtres de conférence) dont les thématiques de recherche s'articulent autour des matériaux bio-sourcés et des éco-composites.

Objectifs

Les objectifs de ces journées sont (i) de promouvoir et suivre les travaux de nos laboratoires et tout spécialement ceux des jeunes chercheurs, (ii) de susciter des échanges réguliers entre participants, (iii) de stimuler l'interdisciplinarité et les transferts de savoir-faire et enfin (iv) de dégager des perspectives pour promouvoir l'industrialisation de ces matériaux.

Thématiques

- Constituants : extraction, synthèse, caractérisations (biochimie, physico-chimie, mécanique, acoustique, hygrothermique...)
- Procédés de mise en œuvre (traitement des fibres, optimisation des paramètres, perméabilité, déformabilité...).
- Agro-bétons et éco-composites à matrice cimentaire.
- Caractérisation multi-échelles et multi-physiques : Tenue aux sollicitations complexes (mécanique, thermique, feu, eau,...)
- Modélisation (homogénéisation, aspects multi-échelle, variabilité...)
- Gestion de fin de vie des composites (recyclabilité, ACV, durabilité...)

Programme prévisionnel

Jeudi 28 Mars

- 12h00 – Accueil / Déjeuner
- 13h30 – Introduction aux journées
- 13h45 – Session 1 : Communications orales
- 15h45 – Pause café
- 16h15 – Session Poster
- 17h00 – Session 2 : Communications orales
- 20h00 – Dîner

Vendredi 29 Mars

- 08h00 – Accueil / Café
- 08h15 – Visite C2MA
- 09h00 – Session 3 : Communications orales
- 10h30 – Pause café / Posters
- 11h00 – Session 4 : Communications orales
- 12h00 – Bilan des journées
- 12h30 – Déjeuner et fin des journées

ANNEXES

Calcul des taux de renforts/porosités

$$Wf = A_w * N * L * l \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Vf = \frac{Wf}{\rho_f * V_c} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

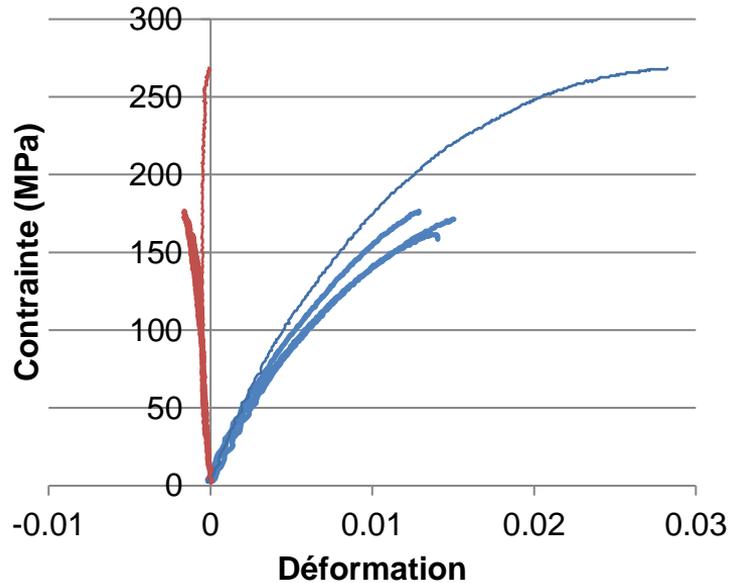
$$Vr = \frac{W_c - Wf}{\rho_r * V_c} * 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Vp = 100 - Vf - Vr \quad (\text{Eq. 4})$$

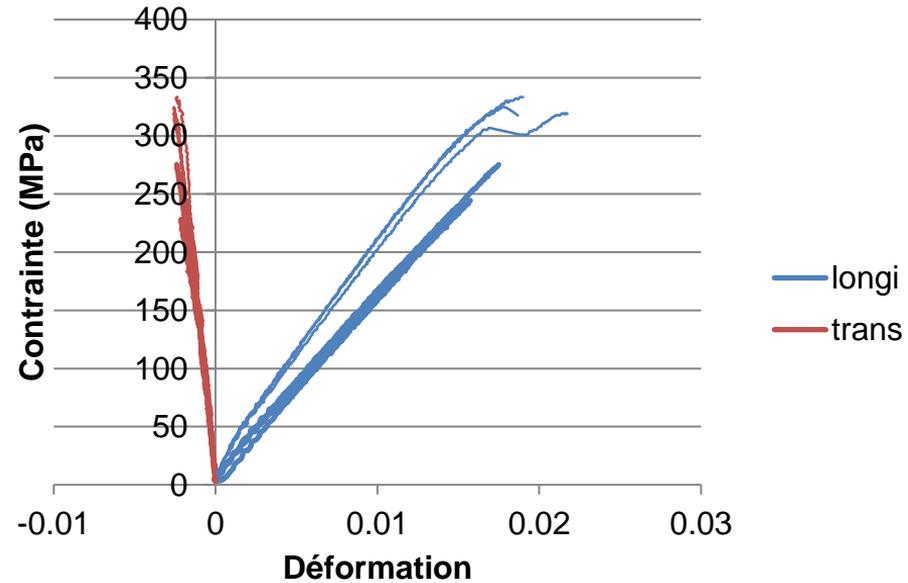
W_f représente la masse de fibres (g), A_w la masse surfacique des renforts (g/m^2), N le nombre de plis, L la longueur de l'échantillon (m), l sa largeur (m), V_f le taux volumique de fibres (%), ρ_f la densité des fibres (g/m^3), V_c le volume du composite (m^3), V_r le taux volumique de résine (%), W_c la masse du composite (g), ρ_r la densité de la résine (g/m^3) et V_p le taux de porosité (%).

Dans les graphes suivants, les courbes en trait fin indiquent le comportement avant vieillissement, les courbes en trait plein indiquent le comportement après vieillissement.

Verre (ref) _ vieilli

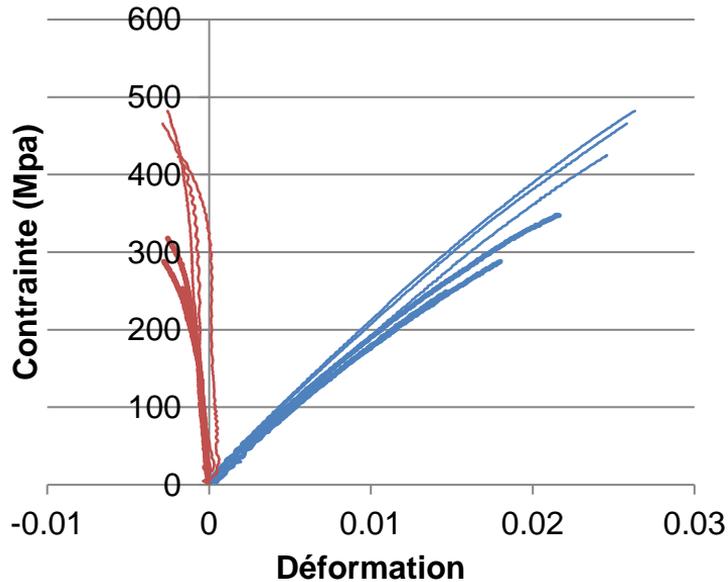


Basalte Biax _ vieilli

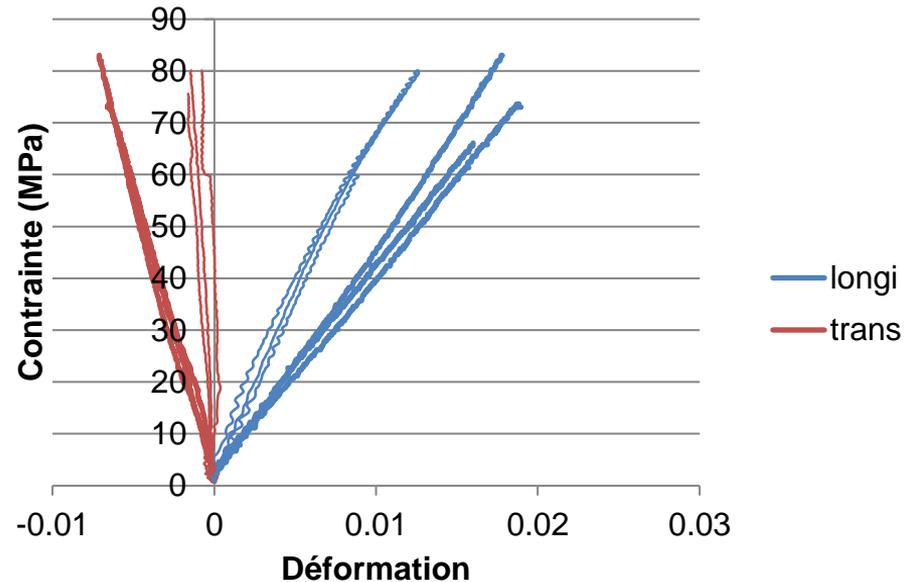


Dans les graphes suivants, les courbes en trait fin indiquent le comportement avant vieillissement, les courbes en trait plein indiquent le comportement après vieillissement.

Basalte Toile _ vieilli

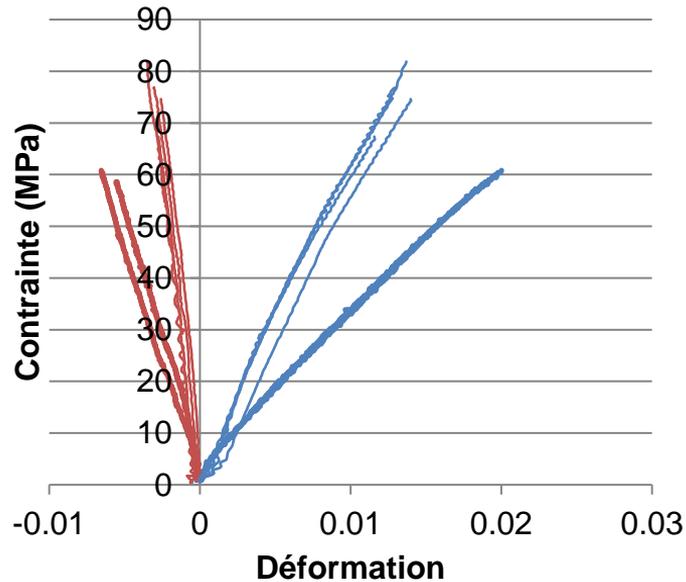


Lin _ vieilli

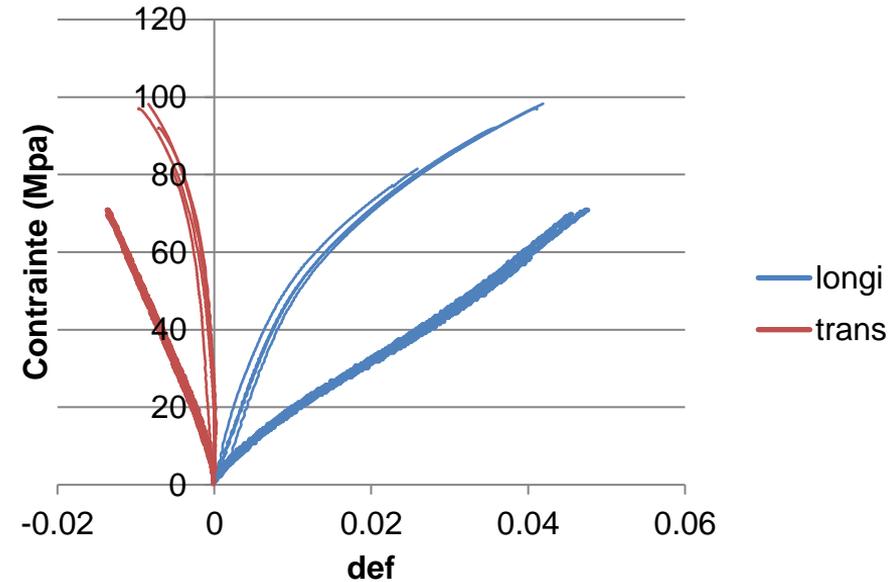


Dans les graphes suivants, les courbes en trait fin indiquent le comportement avant vieillissement, les courbes en trait plein indiquent le comportement après vieillissement.

Jute _ vieilli



Chanvre _ vieilli



Dans les graphes suivants, les courbes en trait fin indiquent le comportement avant vieillissement, les courbes en trait plein indiquent le comportement après vieillissement.

