

Des déchets textiles aux composites

Deux Groupes de Travail pour accélérer le recyclage des textiles usagés en boucle ouverte

En tant qu'éco-organisme français de la Filière, Refashion a pour mission d'accélérer le recyclage des textiles et chaussures. Pour cela, Refashion a étudié le potentiel industriel du recyclage en boucle ouverte, c'est-à-dire la valorisation de textiles ménagers usagés pour des applications dans des industries hors Filière Textile.

Deux segments prioritaires ont été sélectionnés :

- Les Non-Tissés pour le secteur des Transports ;
- Les Composites pour le secteur des Sports & Loisirs.

Pour ces deux segments, Refashion a lancé début 2020 deux Groupes de Travail (GT) collaboratifs, multidisciplinaires et inter-filières. Ces GT ont deux objectifs :

- Monter en France des solutions de valorisation industrielle en boucle ouverte pour des textiles non réutilisables ;
- Passer du stade de R&D à des pilotes industriels pour pouvoir produire et commercialiser des matériaux innovants (en termes de fonctionnalités et de recyclabilité) dès 2022.

Chaque groupe est animé par un pilote référent et inclut toutes les parties prenantes identifiées, de la R&D à la commercialisation.

Le Groupe de Travail Composites

L'objectif du GT Composites est d'intégrer des matières issues de textiles usagés non réutilisables dans des matériaux composites à destination du marché des Sports & Loisirs.

Benoit Jeanneau, (ex) directeur industriel et commercial de [NIMROD Composites](#), pilote ce GT. L'entreprise est spécialisée dans la réalisation de pièces composites pour le secteur de l'Industrie et des Transports aéronautique et automobile. Ce choix stratégique permet de s'appuyer sur l'expertise d'un fabricant de composites performants, en vue de développer des composites à haute valeur ajoutée à partir de textiles recyclés.

Les axes de travail du GT Composites

Pour rappel, un matériau composite est un matériau composé d'une matrice (résine thermodurcissable ou thermoplastique) et d'un renfort (fibres de verre, carbone, lin, bambou, etc.). L'intérêt est que le matériau composite possède des propriétés que ses deux composants seuls n'ont pas. Trois types de composites existent (*Figure 1*) et le GT a choisi de se focaliser sur la conception de composites à fibres continues en vue **d'intégrer des fils recyclés dans un matériau composite à haute valeur ajoutée.**

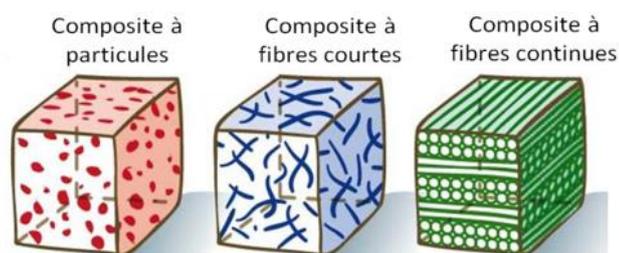


Figure 1 : Schéma des types de composites ([Boufaida, 2015](#))

Quatre étapes clés ont été identifiées et mises en œuvre dans le cadre du GT Composites :

1. la recherche d'un fil recyclé issu de textiles usagés non-réutilisables,
2. une étude de faisabilité des différents procédés de fabrication de composites à partir du fil sélectionné,
3. une phase d'essai pour valider la compatibilité fil/process,
4. une première étude des marchés potentiels.

Un état de l'art du marché et des différents procédés de fabrication de composites a permis de cibler les process suivants :

- Process à base de fil : pultrusion et enroulement filamentaire ;
- Process à base de tissu : pré-imprégnés (pre-preg) et infusion.

Les marchés d'applications incluent entre autres les secteurs des Sports & Loisirs, des Transports, Médical et Agricole.

La recherche du fil recyclé pour le renfort

Il s'agit de la 1^{re} étape : rechercher et identifier un fil issu de textiles recyclés qui puisse servir de renfort pour la fabrication du composite. Pour commencer, le GT a réalisé une étude préliminaire pour harmoniser le vocabulaire technique utilisé par les acteurs des filières textile et composites. Cela fait, les propriétés recherchées pour le fil recyclé ont été définies à partir des propriétés des fibres traditionnellement utilisées dans les composites à fibres continues : les fibres de verre et les fibres de carbone. Le GT a retenu les propriétés présentées dans le *Tableau 1*.

	Pour le fil	Pour le composite fabriqué à partir du fil
Propriétés recherchées	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance en traction - Compatibilité avec les résines époxy et polyester - Densité faible - Tissabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance en flexion - Masse faible à modérée (fil non-buvard de résine) - Tenue aux chocs - Bonne aptitude aux perçages - Recyclabilité

Tableau 1 : Propriétés recherchées du fil et du composite

Ces propriétés ont alors été transmises à des industriels du secteur ([Filatures du Parc](#), [Recover](#), [Ain Fibres](#), [UTI](#)...) afin de trouver le fil le plus adapté. Finalement, le fil 100% recyclé *ECOJEAN* des Filatures du Parc (48% coton, 47% polyester, 5% autres fibres) a été choisi. Le fil seul n'apportant pas les caractéristiques escomptées pour l'application visée, il a été retordu par Filatures du Parc en un assemblage de 6 brins (*Figure 2*).

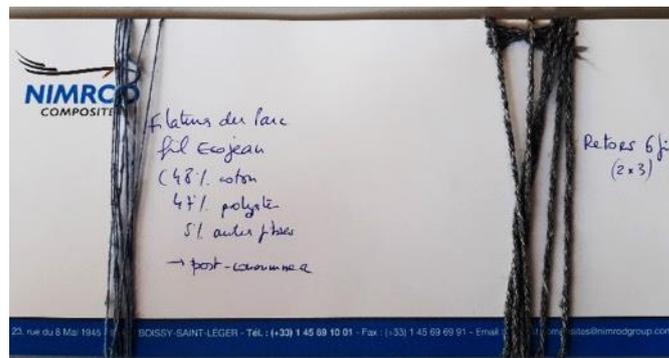


Figure 2 : Fil ECOJEAN standard (à gauche) et fil ECOJEAN retordu (à droite)

Tests de caractérisation à base du fil sélectionné

Pour évaluer l'adéquation du fil pour une application composite, NIMROD Composites a fabriqué une plaque composite (*Figure 3*) à partir du fil retordu *ECOJEAN* et de résine époxy (ratio de 42% de fibres en masse).



Figure 3 : Fabrication de la plaque composite Fil/Epoxy pour la caractérisation mécanique

Le laboratoire de tests composites [ETIM](#), filiale du [CETIM](#) (Centre Technique des Industries Mécaniques), a réalisé différents tests de caractérisation (traction, flexion, tenue aux chocs, densité, aptitude à l'usage...) sur la plaque produite. Les résultats démontrent que le composite ainsi fabriqué possède des caractéristiques intéressantes se rapprochant de celles d'un composite à base de fibres de verre.

Essais de fabrication de composites avec le fil recyclé

1. Process de fabrication de composite à base de fil

À partir du fil sélectionné, deux process de fabrication ont été testés : l'enroulement filamentaire et la pultrusion.

a) L'enroulement filamentaire

Le CETIM de Nantes a effectué les essais d'**enroulement filamentaire**. Ce procédé permet de créer des pièces de révolution creuses ayant une forte résistance à la flexion, à la torsion et aux pressions internes. Le fil recyclé est imprégné de résine (ici époxy) dans un dispositif d'imprégnation (ici tambour de transfert). Il est ensuite enroulé sur un mandrin en plusieurs couches d'orientations différentes (Figure 4).

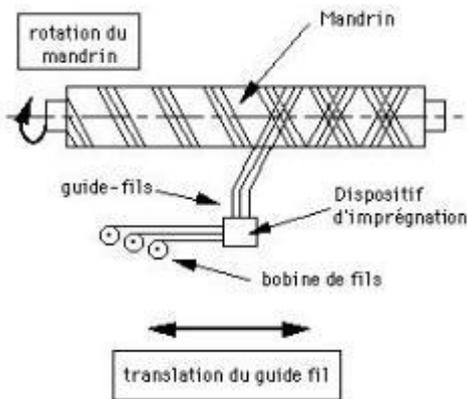


Figure 4 : Schéma d'un enroulement filamentaire (old.cybel.fr)



Figure 5 : Réalisation d'un enroulement filamentaire avec le fil recyclé

Quatre tubes ont été produits en réalisant trois couches de fils imprégnés d'orientations différentes :

- La 1^{ère} couche avec un angle de 75° ;
- La 2^{ème} couche avec un angle de 54° ;
- La 3^{ème} couche avec un angle de -54°.

Après quelques réglages, l'enroulement filamentaire n'a pas posé de problème : le fil s'imprègne bien, supporte la traction due au process et se place bien sur le mandrin (Figure 5).

Pour terminer, deux finitions différentes ont été appliquées aux tubes (Figure 6) :

- Application d'un film Tedlar pour avoir un rendu brillant ;
- Application d'un tissu de délaminage pour obtenir une surface rugueuse qui facilite le collage d'autres pièces et sert d'antidérapant.

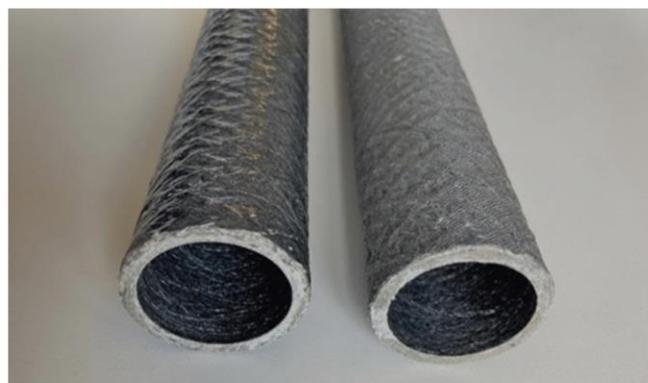


Figure 6 : Tubes avec finition brillante (à gauche) et finition rugueuse (à droite)

b) La « fausse » pultrusion

Le procédé de « fausse » pultrusion a été réalisé par NIMROD Composites avec une traction manuelle (au lieu d'une traction mécanique, d'où le nom de « fausse » pultrusion). Lors de ce procédé, les fibres sont associées entre elles pour former un faisceau avant d'être imprégnées de résine par bain (Figure 7). Les fibres imprégnées passent ensuite dans une filière composée d'un moule et d'une bague (Figure 8) qui confère sa forme à la pièce composite. Des tubes, des joncs, des renforts ou des profils de section diverses peuvent être obtenus avec cette technique. La filière utilisée ici a une forme hexagonale (Figure 8).

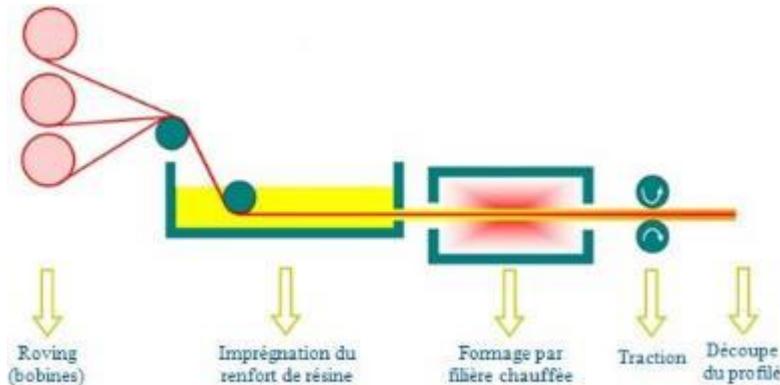


Figure 7 : Schéma d'une pultrusion (mecastyle.com)



Figure 8 : Photo du moule (en haut) et de la bague (en bas) utilisés

Lors du premier essai, le taux de Fibre/Résine était de 20/80 mais la pièce résultante n'était pas satisfaisante. Le nombre de fils a été augmenté pour tendre vers le ratio idéal de 70/30. Au 4^{ème} essai, un démonstrateur satisfaisant est obtenu (Figure 9).



Figure 9 : Démonstrateur obtenu à l'issue du 4^{ème} essai

2. Process de fabrication de composite à base de tissu

Un tissage du fil recyclé a également été réalisé pour étudier sa capacité à être imprégné d'une résine (imprégnation manuelle). Une fois imprégné, le tissu peut être mis en forme dans un moule pour créer une pièce composite (Figure 10). Ce tissage a été réalisé à [L'ENSAIT](http://lensait.com) (Figure 11).

Le tissu obtenu est trop dense (600 g/m²) : il faut imprégner ses 2 faces pour avoir une imprégnation correcte, or ce n'est pas faisable dans l'industrie. Pour que le tissu puisse être imprégné manuellement ou selon d'autres procédés d'imprégnation, il faudrait qu'il soit plus léger (cible 200 à 400 g/m²).

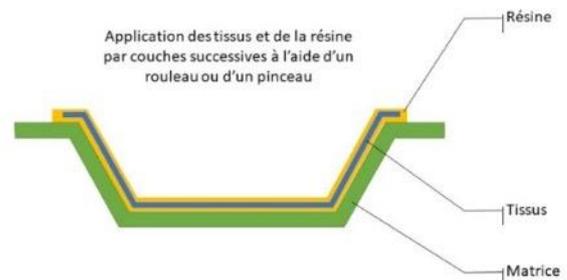


Figure 10 : Fabrication d'un composite par imprégnation (ouest-composites.com)

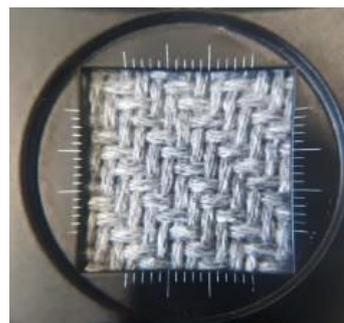


Figure 11 : Tissage réalisé avec le fil recyclé ECOJEAN retordu (à gauche) et détail du tissage (à droite)

Conclusion des essais

Deux des trois essais de fabrication de composites sont concluants dans le cadre de cette étude (Tableau 2). Cela démontre la faisabilité d'un composite à partir de fil recyclé issu de textiles usagés non-réutilisables. Le GT a ainsi réalisé des prototypes avec des propriétés mécaniques connues.

Procédé	Intervenant	Résultat
Pultrusion	Nimrod Composites	✓
Enroulement Filamentaire	CETIM	✓
Imprégnation manuelle (sur tissu)	Nimrod Composites	✗

Tableau 2 : Résultats des essais

D'autres expérimentations pourront être réalisées pour poursuivre l'étude :

- Continuer les essais de tissage pour pouvoir réaliser une imprégnation (utiliser un fil retordu avec moins de brins, ou faire un tissage plus « lâche » avec le fil sélectionné pour ces essais) ;
- Tester de nouvelles résines : la résine thermoplastique [Elium®](#) ou des résines biosourcées (issues de matériaux d'origine végétale, comme l'huile de lin) ;
- Tester d'autres fils issus du recyclage des textiles ménagers usagés non-réutilisables.

Recyclabilité des composites

La question de la recyclabilité des composites reste problématique. En effet, les matrices thermodurcissables, comme la résine époxy, subissent une polymérisation irréversible : une fois durci le polymère ne bouge plus. D'après le Guide du Recyclage et de l'Écoconception des Composites ([GREC](#)) 2022, le principal débouché en fin de vie reste la revalorisation énergétique et le CSR (Combustible Solide de Récupération). De jeunes sociétés proposent des projets de recyclage de composites intéressants, mais ils ne sont ni matures ni industriels.

Parmi ces projets :

- La société [FAIRMAT](#) utilise le recyclage mécanique pour réutiliser les broyats de composites en fibres de carbone dans un nouveau composite ;
- La société [EXTRACTHIVE](#) utilise le recyclage chimique pour récupérer les fibres de carbone sans altérer leurs propriétés mécaniques.

La recyclabilité du composite fabriqué à base de textile recyclé est un critère à prendre en compte dès le début de sa conception, et déterminera donc le choix de la matrice à privilégier en plus du fil recyclé sélectionné.

Vers l'industrialisation

Le marché visé à la suite des tests est celui des Sports & Loisirs. Les exemples d'applications incluent des pagaies pour kayaks, des cadres de vélo, des armatures de tente, etc.

Plusieurs acteurs dans le secteur des composites ont été identifiés en vue d'une industrialisation (Tableau 3).

Réseaux de distributeurs	Producteurs de résine	Tisseurs
- Gazechim (France, Italie, Espagne et Belgique)	- Sicomim	- Hexcel
- SAMARO (France)	- Resoltech	- Saertex
- POLYESTER 93	- Nord Composites	- Chomarat
		- Porcher
		- CTMI
		- SOFILETA

Tableau 3 : Liste d'acteurs identifiés pour la phase d'industrialisation

Le GT Composites a permis de tester de nouveaux procédés et d'ouvrir le champ des possibles quant à l'élaboration de composites à fibres continues à partir de textiles usagés non-réutilisables, offrant de nouvelles opportunités pour le marché des Sports & Loisirs et à terme d'autres marchés comme celui des Transports.