

Recyclage & réemploi des matériaux composites

10 juin 2025
9h30 - 12h00

Saint-Philibert +
La Trinité-sur-Mer

Dans le cadre de



COURSE AU LARGE 2030
S'aligner ensemble avec l'Accord
de Paris et les limites planétaires

12/06/2023



Plateau
technique

compositic :
Université Bretagne Sud

Yves GROHENS



PRESTATIONS

EVALUATION DE LA RECYCLABILITÉ D'UN PRODUIT/DÉCHET POLYMÈRE OU COMPOSITE

- ▶ Essais de recyclage mécaniques (broyage, compoundage) ;
- ▶ Essais de mise en œuvre de la matière recyclée (procédés conventionnels et fabrication additive) ;
- ▶ Caractérisation de la matière aux différentes étapes de transformation et analyse du cycle de vie.

FONCTIONNALISATION DE POLYMERES PAR L'INTÉGRATION DE DÉCHETS VALORISABLES

- ▶ Formulation de nouveaux matériaux à partir de déchets de différentes natures par leur intégration dans les polymères en vue d'améliorer certaines propriétés spécifiques.

INTÉGRATION DES POLYMERES ET COMPOSITES RECYCLÉS DANS UN PRODUIT FINI

- ▶ Essais de processabilité ;
- ▶ Caractérisation matière avant et après mise en œuvre (fiche matériau élargie) ;
- ▶ Dimensionnement mécanique (modélisation et simulation numérique) ;
- ▶ Réalisation et tests du prototype.

CONSEIL EN ÉCO-CONCEPTION

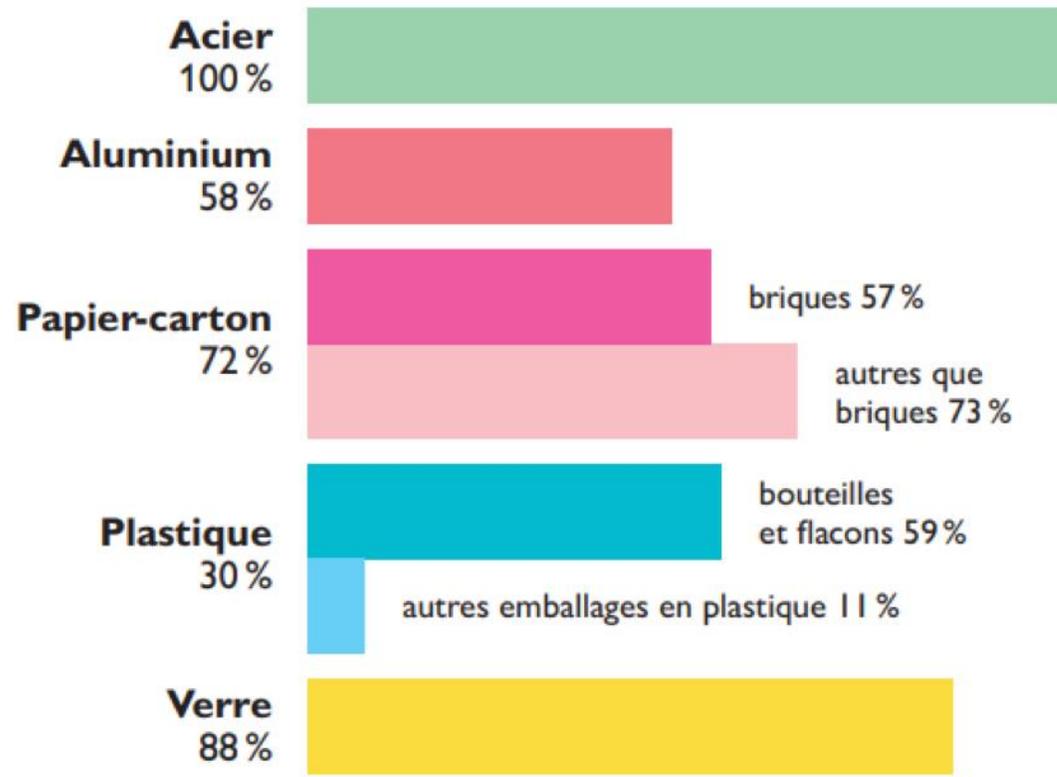
- ▶ Veille technologique matériaux, additifs, procédés de recyclage et de mise en œuvre ;
- ▶ Règles de conception, choix matériaux/additifs ;
- ▶ Analyse du cycle de vie.

INTÉGRATION DE MATIÈRES RECYCLÉES



Le recyclage en France par matériaux

Taux de recyclage par matériau (en %)



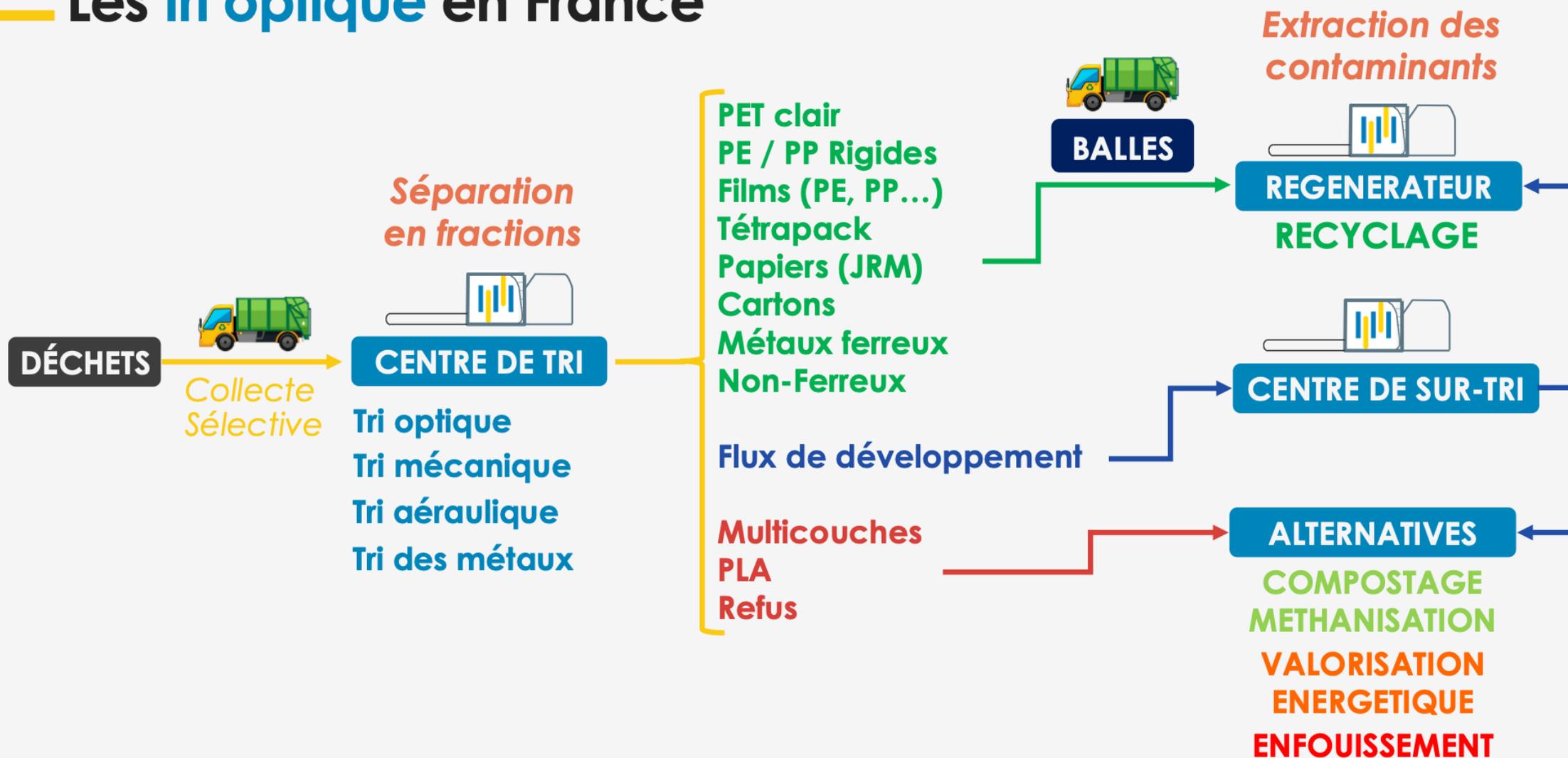
Source : Citéo

La filière recyclage des plastiques en France

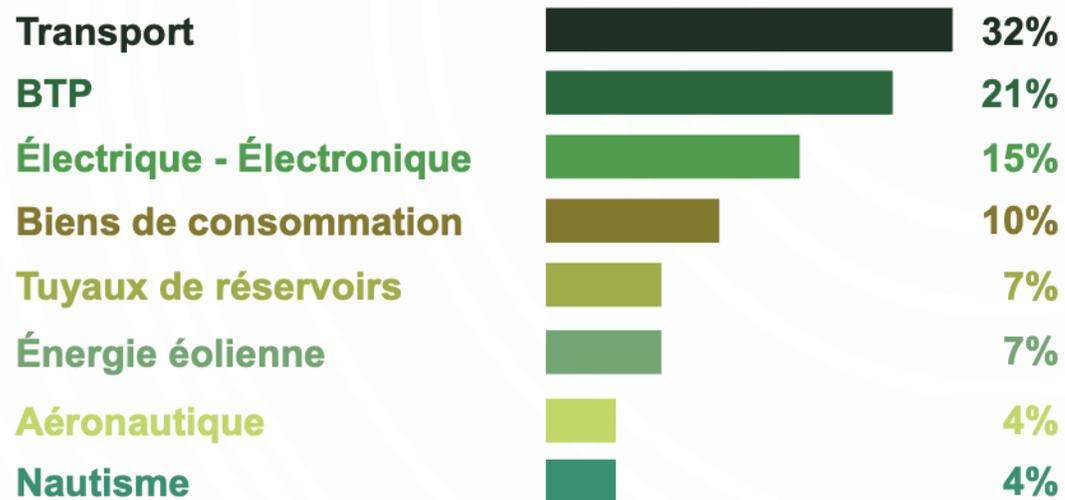


OÙ EN SOMMES-NOUS AUJOURD'HUI ?

Les tri optique en France



Composites par secteur d'activité et quantité de déchets

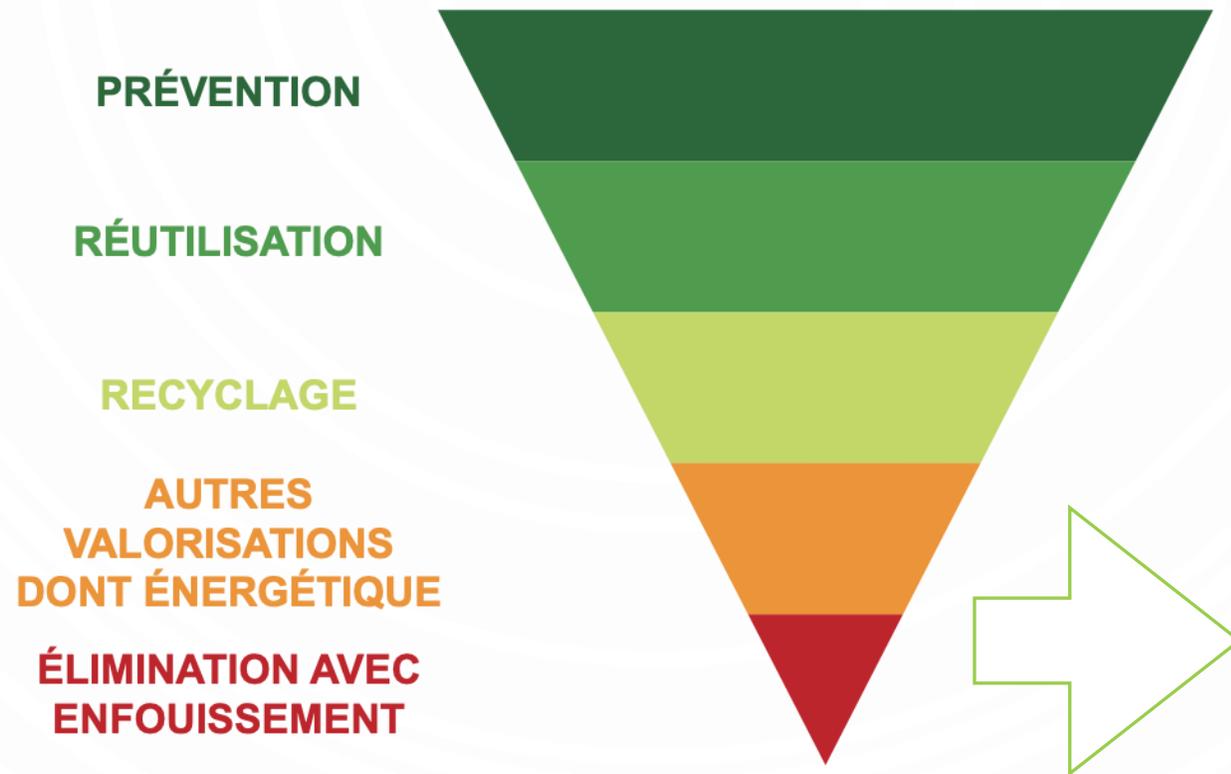


*Ventilation du marché français des composites par secteur d'application (2010), volume total 300 000 t
(JEC group : les composites en France)*

Quantité de déchets composites en France

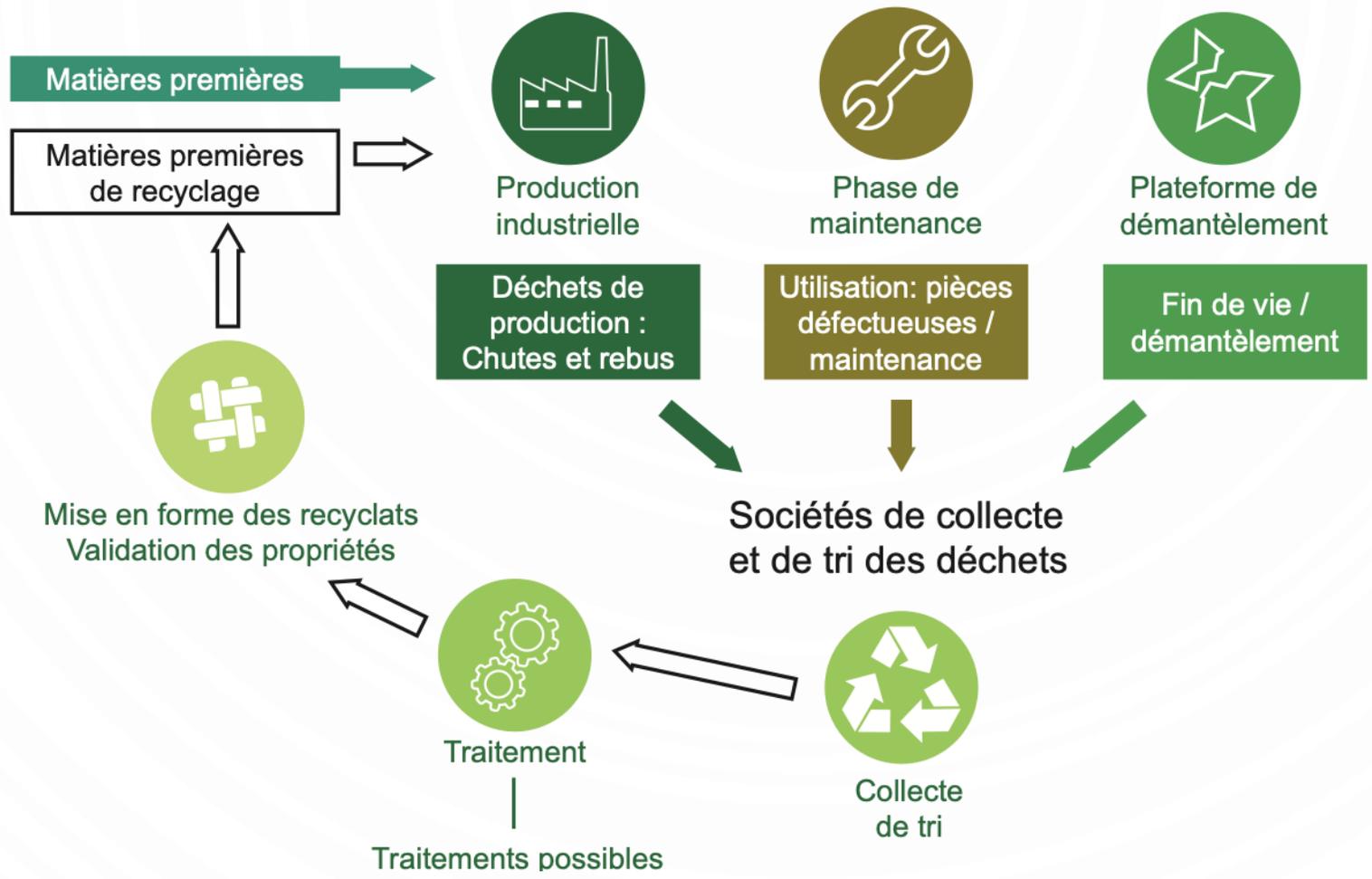
- ▬ **Rebuts de production de 7 000 à 15 000 tonnes / an**
- ▬ **Produits en fin de vie de 3 000 à 7 000 tonnes / an**, avec une perspective de croissance forte du fait de la fin de vie des bateaux de plaisance (x4 d'ici 2025), du remplacement de pales des premières éoliennes puis la fin de vie des aéronefs composites, sans oublier la croissance continue de composites dans l'automobile.

Hiérarchisation en Europe dans le traitement des déchets



Classique dans le traitement des déchets composites actuels

Les déchets composites sur tout le cycle de vie des produits



- Réseau Véolia (8 sites)
- Indépendants (11 sites)
- Réseau Romi Recyclage (8 s)
- Réseau Praxy (8 sites)
- Réseau Guyot Environnemen
- Réseau Recycleurs Bretons (



Déchets composites selon leur provenance

2 problématiques différentes :

Déchets de production :

- Déchets localisés, sur les sites de production
- Déchets « propres », non pollués
- Composition connue, car les produits sont bien identifiés et détenus par le producteur

Produits en fin de vie :

- Déchets non localisés → problématique de la logistique de collecte
- Déchets multi-matériaux → capacité à désassembler et à trier
- Problèmes d'identification des matières → disparition ou absence de marquage
- Différence de durée de vie entre les produits → temps potentiellement longs entre production et arrivée en fin de vie ; gestion prévisionnelle des gisements.



Déchets de production composites non cuits : Pré-imprégnés périmés

Même stocké à -18°C la réaction chimique de réticulation de l'époxy se poursuit

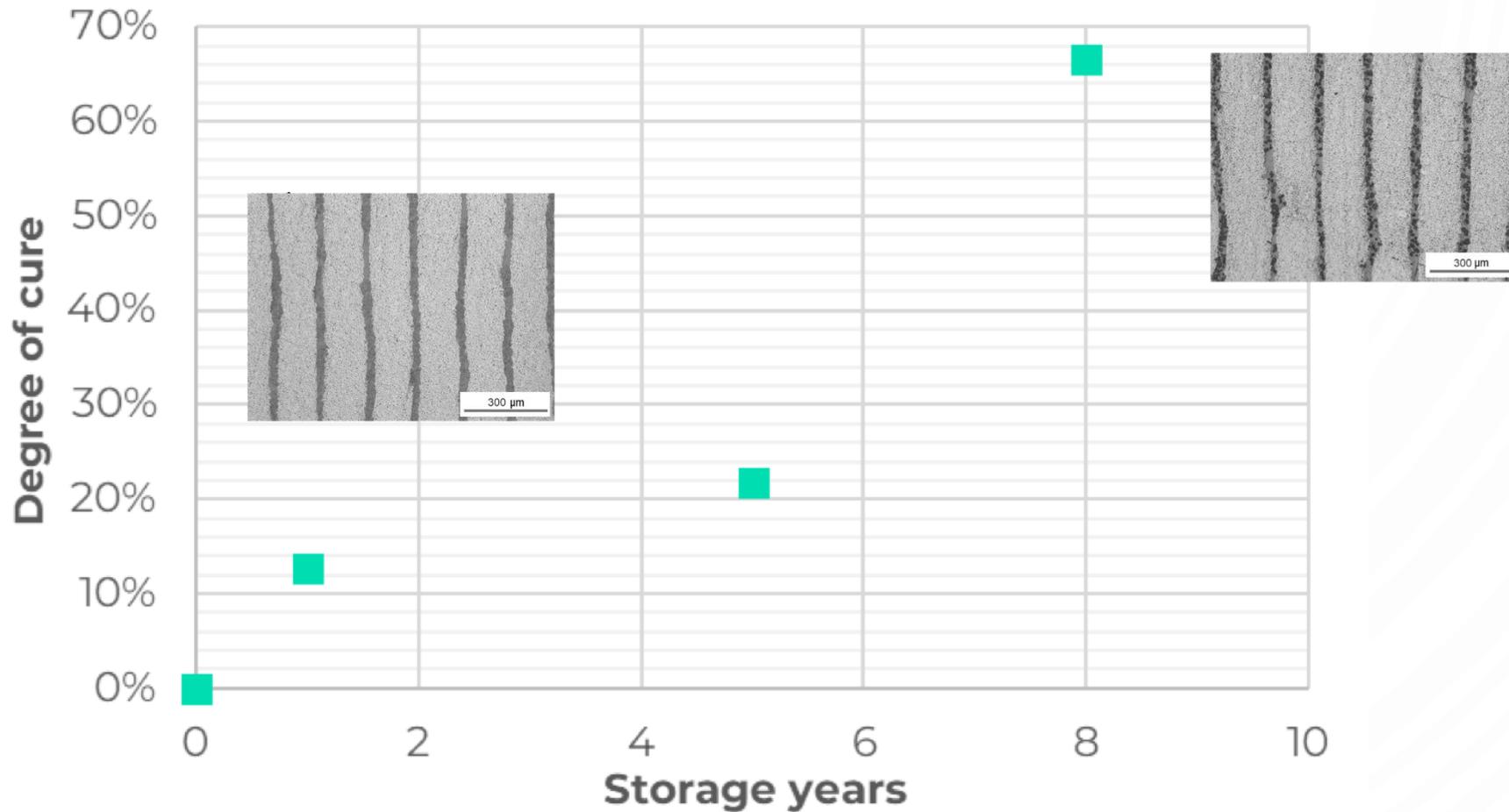


Figure 3. Evolution of the degree of cure

Déchets composites non cuits : Pré-imprégnés périmés

Test de Tack selon norme NCAMP

1	Stiff and brittle
2	Dry but adheres slightly
3	Holds to itself but not to the substrate
4	Holds to itself and to the substrate
5	Sticks to fingers and gloves without resin transfer
6	Wet with resin transfer

Table 2: example of Standard NCAMP rating after 30 minutes [10]



Production year	NCAMP
2012	1
2015	4
2019	5
<i>New material</i>	5

	Tensile modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	ILSS (MPa)	Ultimate bending strain (%)
2019	162.9 ± 5.0	1697.9 ± 137.7	98.4 ± 5.7	1.49 ± 0.8
2015	168.5 ± 11.9	/	76.10 ± 1.8	/
2012	163.1 ± 3.0	1713.7 ± 129.1	78.26 ± 3.8	1.46 ± 0.1

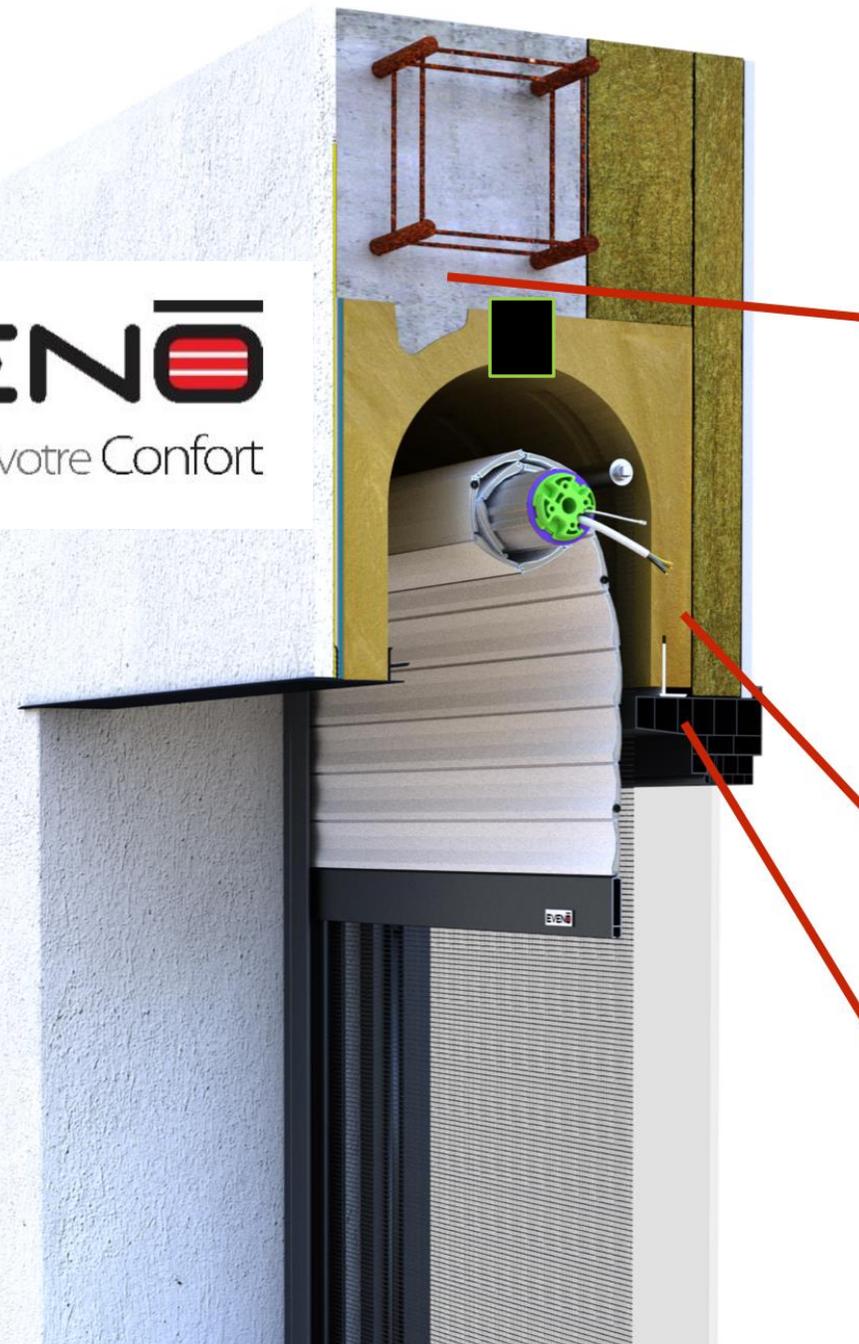
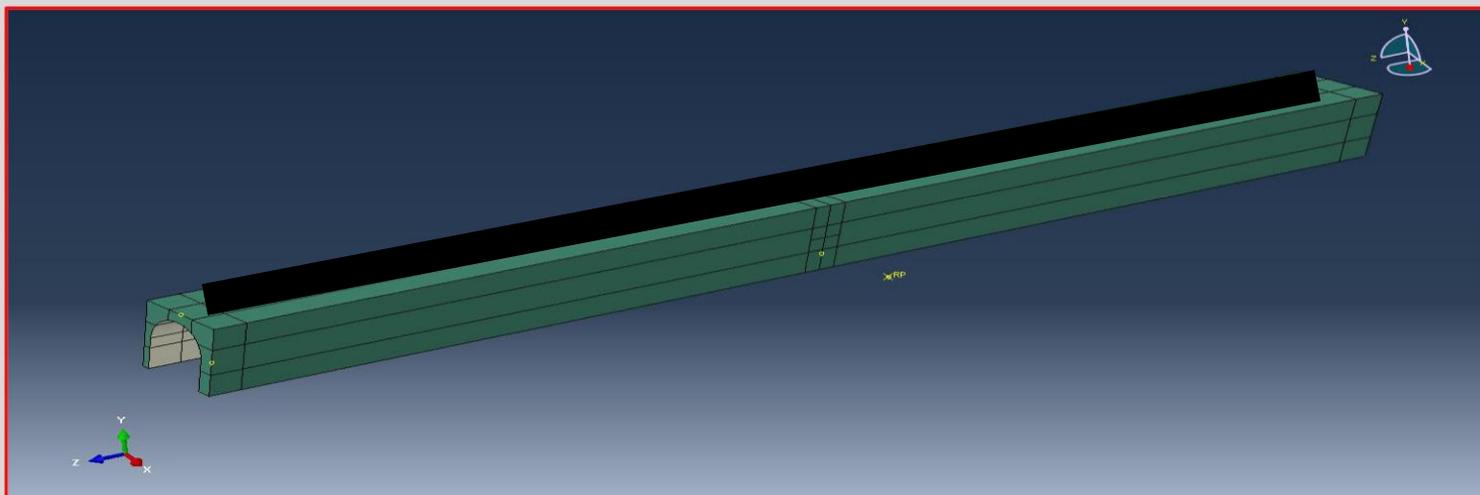
Table 5: Results of mechanical tests

Pré-imprégnés périmés du nautisme : Utilisation dans le bâtiment

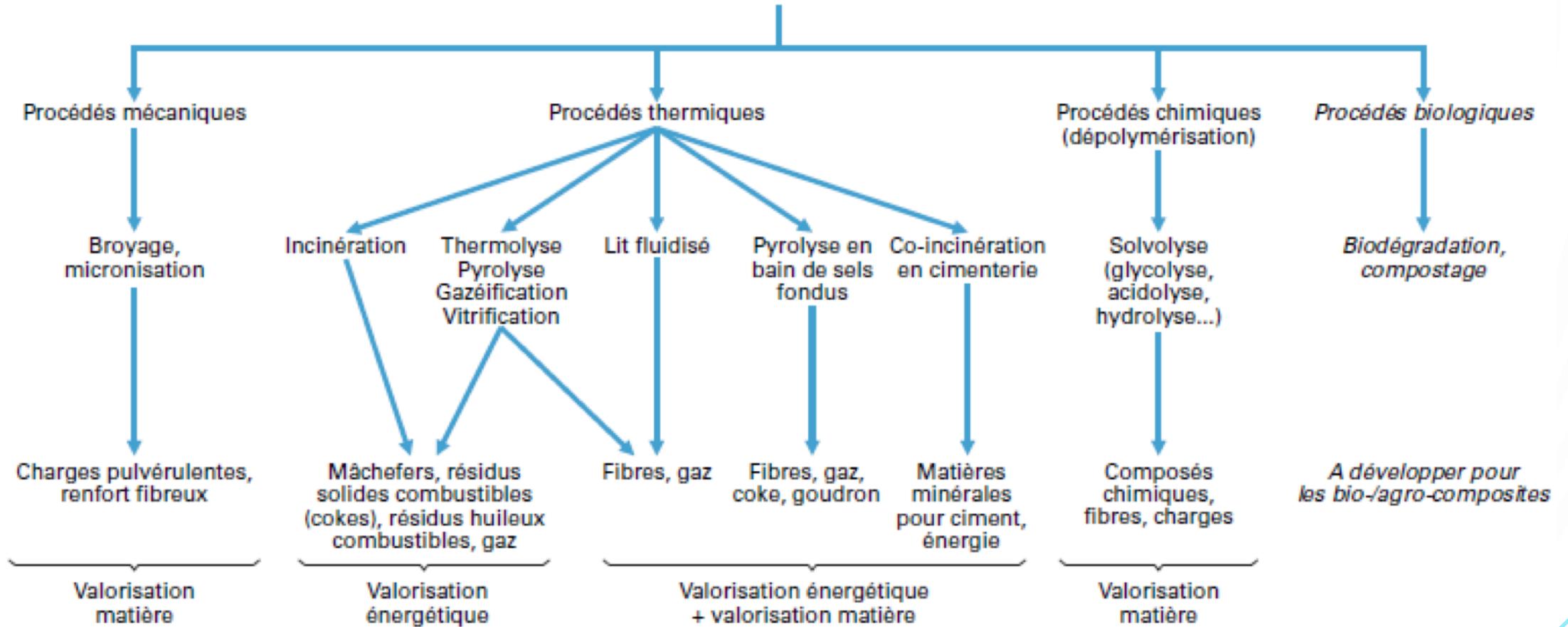
EVENŌ

Les éléments de votre Confort

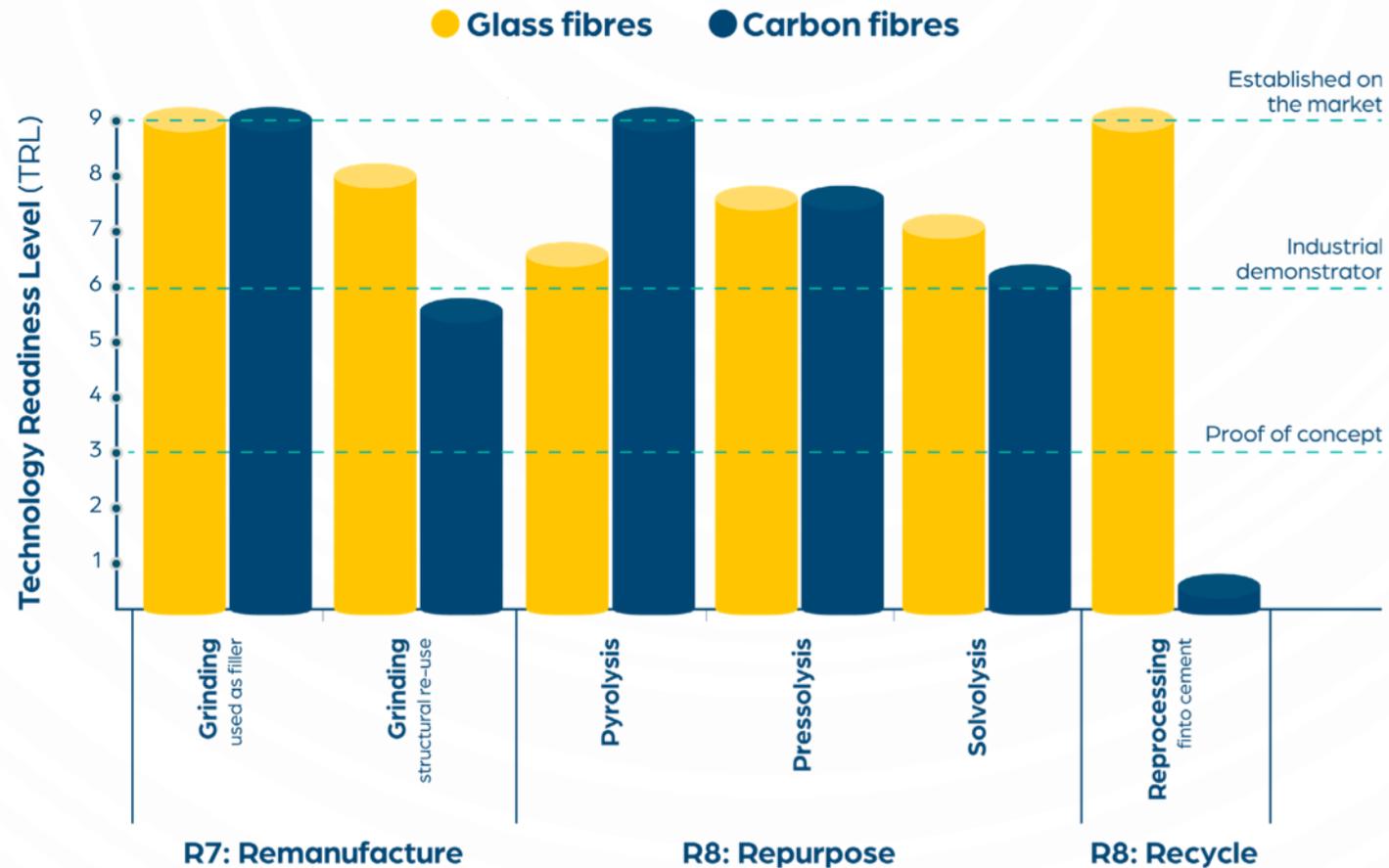
On simule ici un coffre en PU renforcé carbone suivant la géométrie "Renfort_INF", testée chez EVENO.



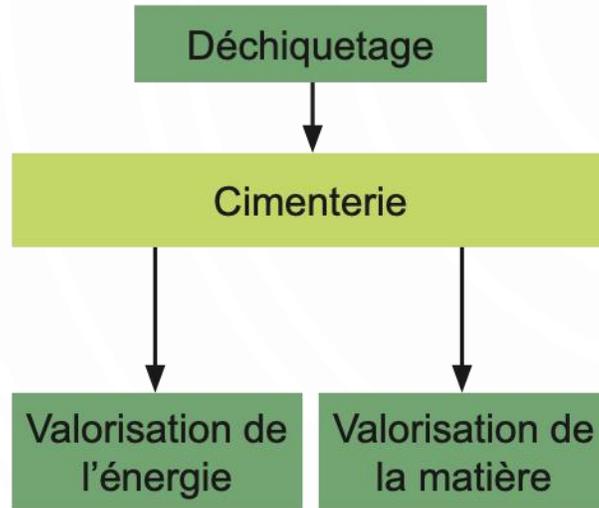
Procédés de recyclage et de valorisation des matériaux composites



Le niveau de TRL des différentes méthodes de recyclage des composites



Intégration dans les cimenteries : la solution simple



+

Avantages

- Solution immédiatement disponible et pouvant traiter rapidement des volumes importants
- Possibilité de passer par un préparateur de CSR* pour absorber des volumes faibles ou variables
- Pas de déchets ultimes

-

Limites

- Technologie non adaptée pour les composites à fibres de carbone

4. Les options techniques

Procédés thermiques

**REGENERATION A 100% POUR LES
COMPOSITES CHARGES FIBRE DE
VERRE**

La co-incinération en cimenterie

2/3 valorisation matière, 1/3 valorisation énergétique



Partenariat



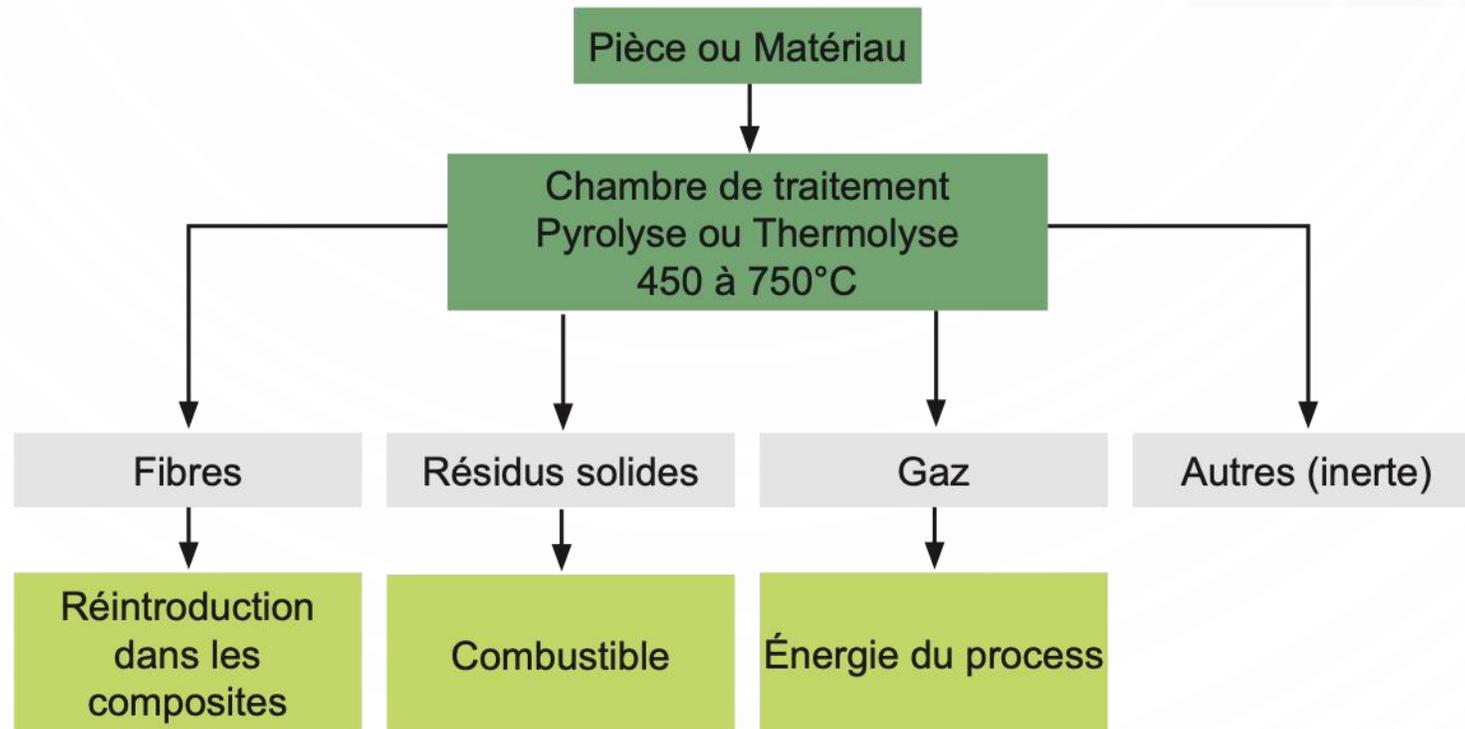
Source : GPIC



Procédés thermiques : Pyrolyse et Thermolyse

Technologie 2 : Pyrolyse

Technologie plutôt adaptée aux **composites fibres de carbone**



Etat des fibres de verre après pyrolyse



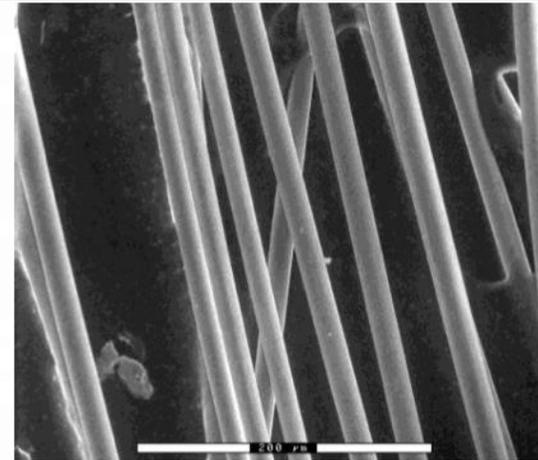
Avant rinçage



Après rinçage



Vue MEB (Exeter) des fibres avant rinçage



Vue MEBE (Bristol) des fibres après rinçage

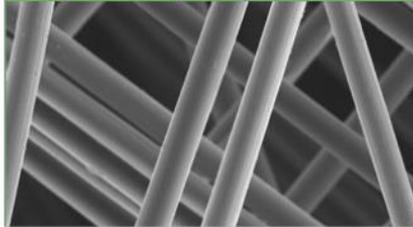
Vapothermolyse : un procédé moins énergivore



Technologies en développement

LA VAPOTHERMOLYSE Alpha recyclage

2017 équipement
pilote & 1^{ers} tests



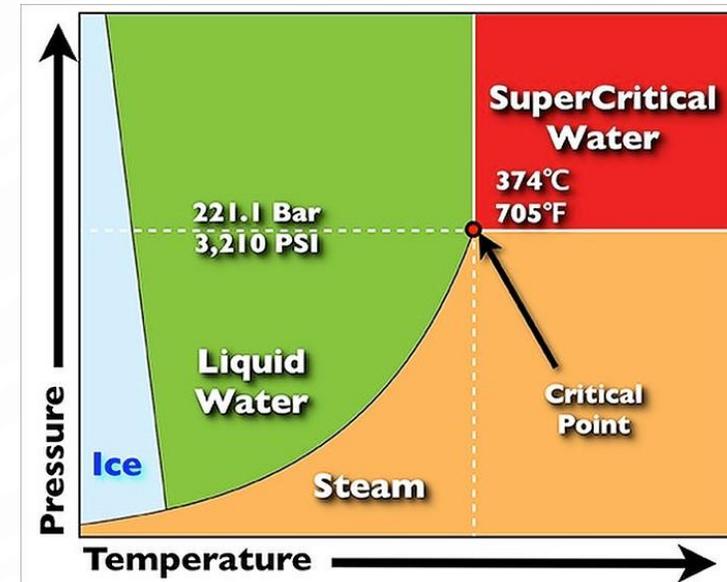
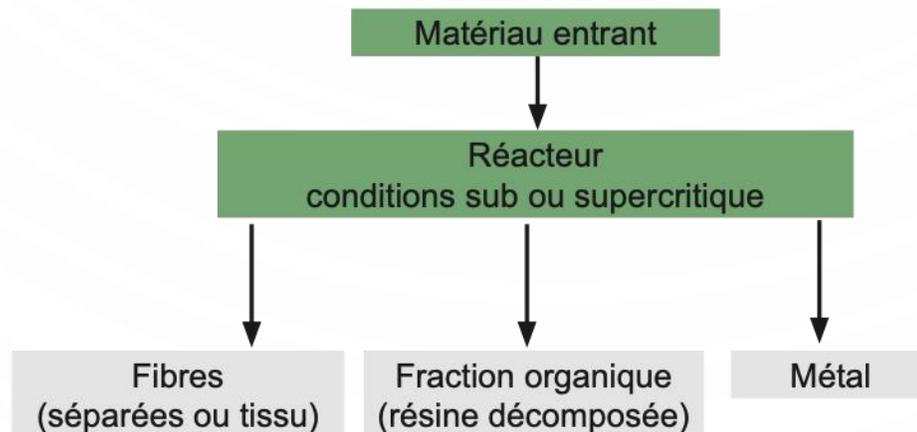
Thermolyse à catalyse par vapeur d'eau, assurant un meilleur transfert thermique. Valorisation de fibres de carbone sous forme de fibres coupées, pellets et mat.



Alpha recyclage : Serge DA SILVA - Directeur de la Recherche - s.dasilva@alpharecyclage.com
www.alpharecyclage.com

LA SOLVOLYSE

échelle pilote



Solvolyse (solvants ou eau super-critique)

4. Les options techniques

Procédés chimiques

R&D

**UNE OPPORTUNITE POUR
REGENERER LA FIBRE DE CARBONE**



Fibres de carbone, à l'issue du traitement

Solvolyse par eau supercritique

**A l'issue des projet RECCO et AERDECO : faisabilité démontrée
Technologie complexe, mais propriétés mécaniques conservées**

Projet PARCCA (Procédés Avancés de Recyclage des Composites fibres de Carbone)

Cahier des charges réacteur de Solvolyse grandes dimensions
mars 2015

Installation du réacteur de Solvolyse
novembre 2016

Comparaison procédés et ACV
janvier 2018

septembre 2014
Lancement du projet

avril 2016
Résultats des essais du réacteur de Pyrolyse

août 2017
Résultats des essais du réacteur de Solvolyse

février 2018
Fin du projet



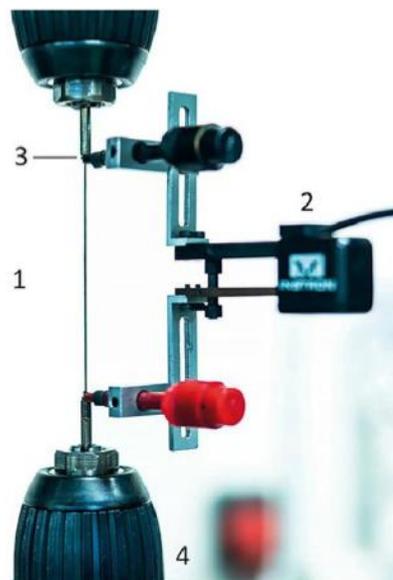
Source : IRT Jules Verne

Vapothermolyse : la fibre est récupérée intègre

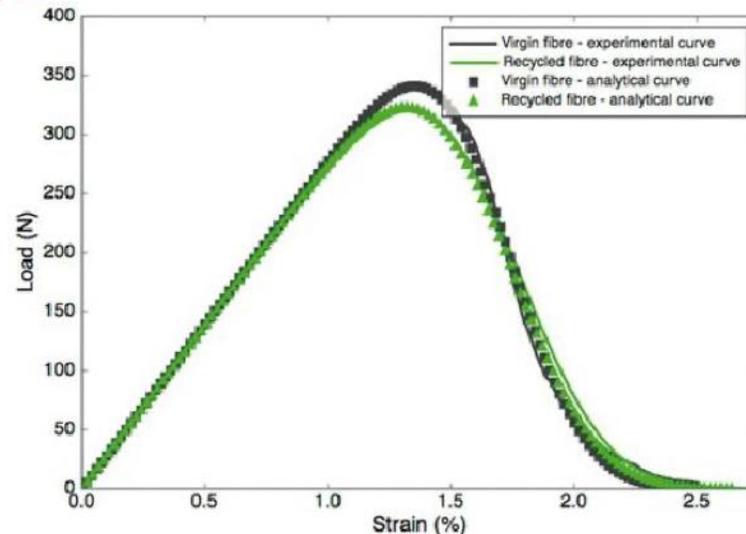
4. Les options techniques

Procédés thermiques

La R&D



**UNE OPPORTUNITE POUR
REGENERER LA FIBRE DE CARBONE**



Comparaison fibre de C
vierge/régénérée

Régénération par vapo-thermolyse

Partenariat

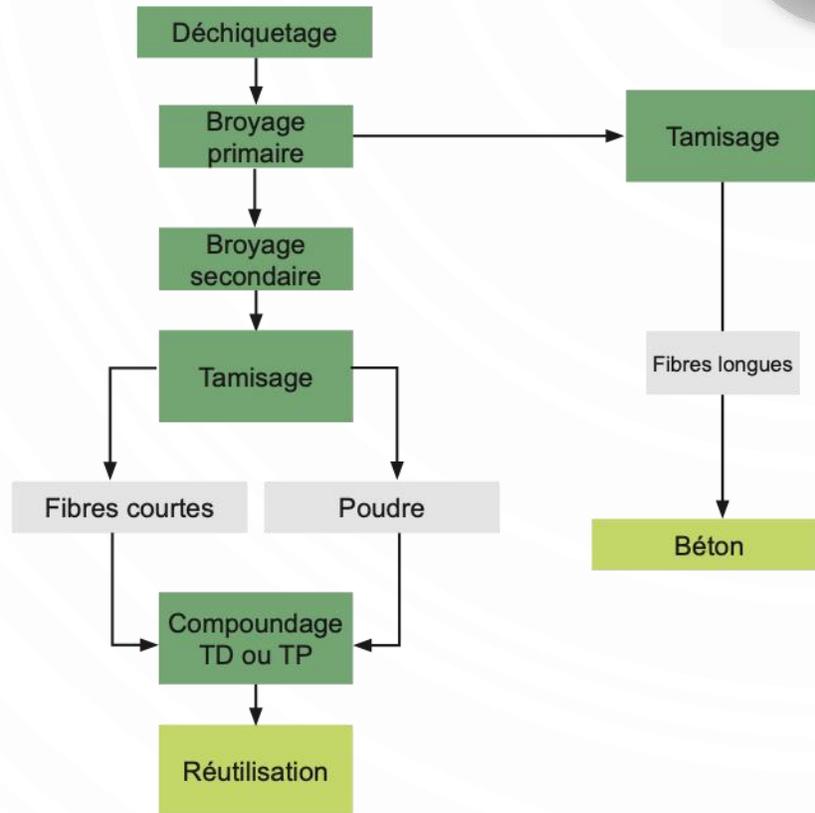


Source : JEC Magazine, octobre 2015

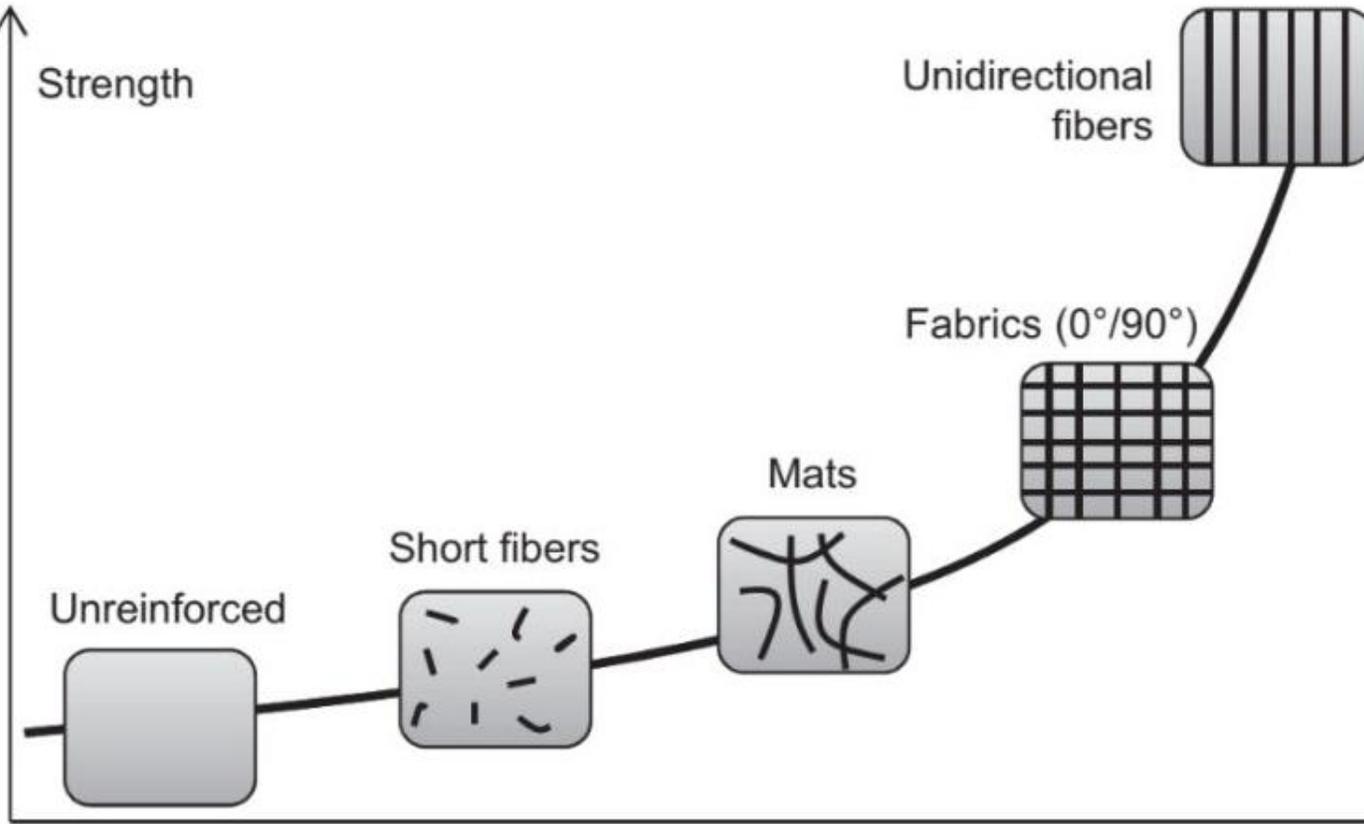
Broyage et réintégration fibres courtes dans thermodurs et thermoplastiques

Technologie 1 : Broyage et ré-incorporation

Technologie plutôt adaptée aux **composites fibres de verre & fibres sèches**



Broyage et réintégration dans thermoplastiques



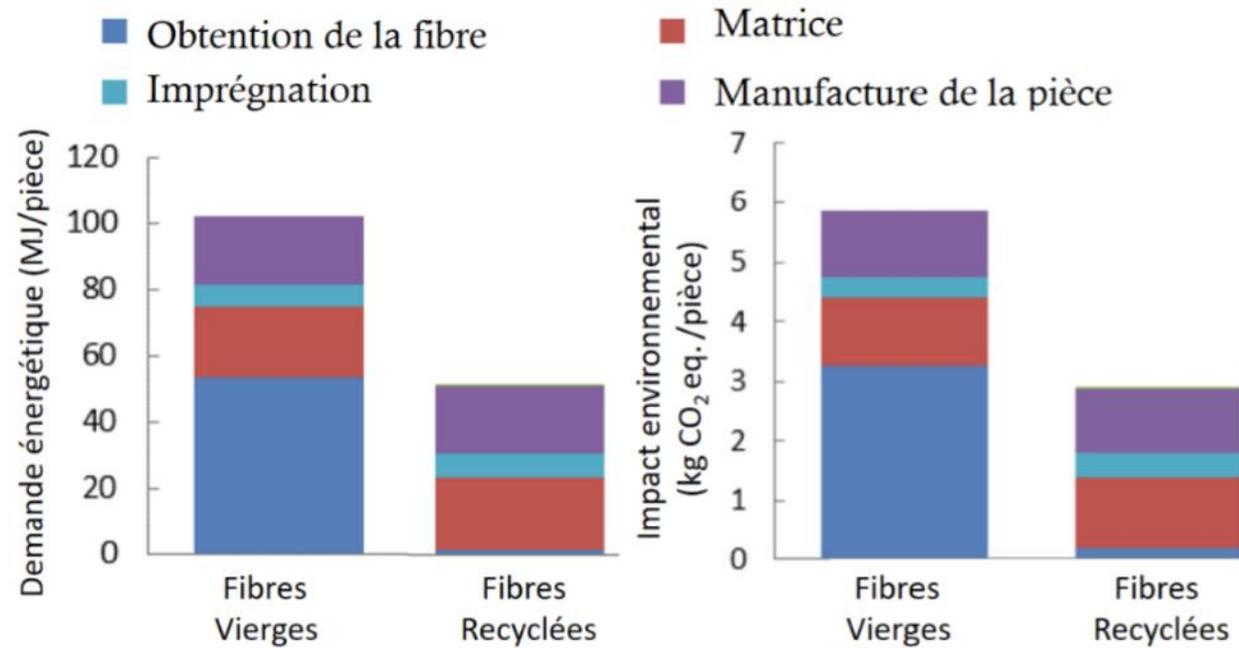
**REVALORISATION MATIERE SOUS
FORME DE CHARGES**



Intégration de broyats composites TD dans un matrice TD : exemple de réalisation

Quel bilan environnemental pour les fibres recyclées ?

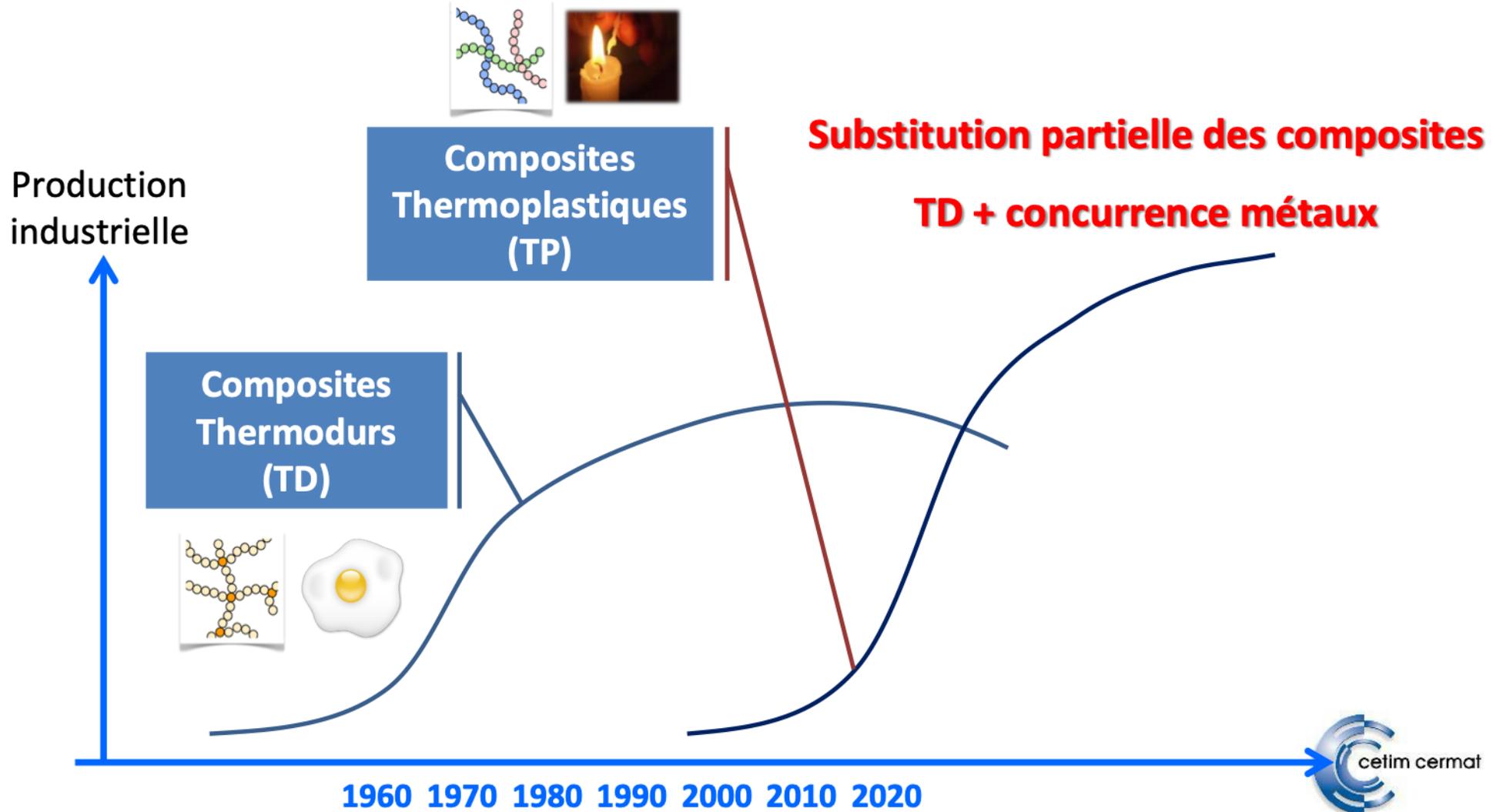
Recyclage Thermique :



Source [7]

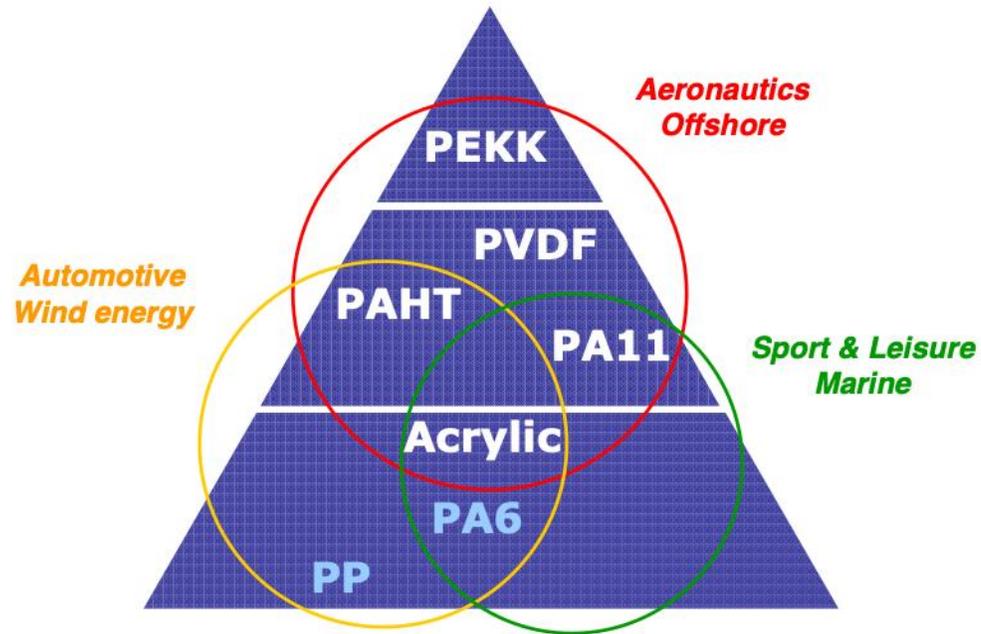
Figure 108 : Impact environnemental de composite à fibres de carbone vierges comparées à des fibres recyclées - gauche : Impact sur la dépense énergétique ; droite : potentiel impact sur le réchauffement climatique [52].

Une alternative industrielle aux composites thermodurcissables : les composites thermoplastiques ?



Large choix de thermoplastiques pour application marines

- De nombreux polymères pour répondre aux différents besoins de l'industrie des composites.



UD resin for tape placement technologies

KEPSTAN
BY ANKEMA



Courtesy Coriolis Composites



Sofia Project- MVC Plastics



Résines ELIUM pour RTM et infusion



➤ Résine thermoplastique liquide

- Viscosité Brookfield comprise entre 100 and 500 cPs à température ambiante : **bonne imprégnation des fibres**
- Système réactif à 2 composants : **ajustement du temps de cycle possible**
- Polymérisation radicalaire conduisant à un thermoplastique de haut poids moléculaire : **bonnes propriétés à l'impact**
- **Sans styrène**



LUPEROX[®]
ARKEMA

➤ Utilisable avec les procédés des thermodurs

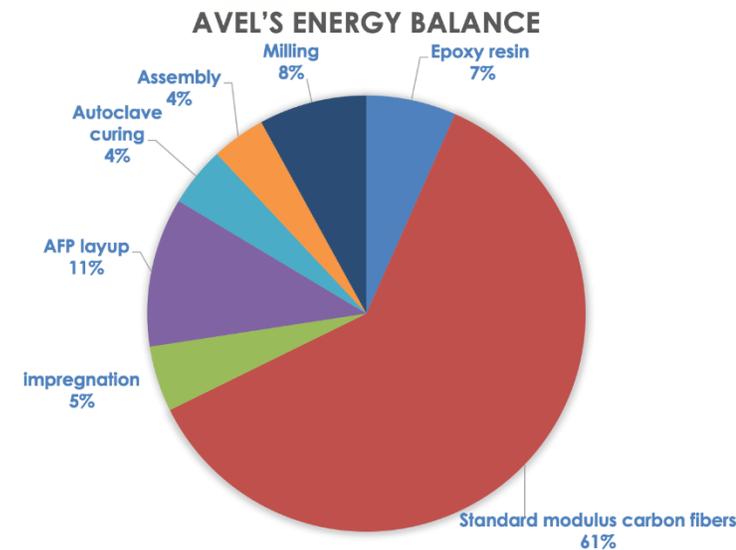
- Infusion, Flex-molding, Resin Transfer Molding (RTM, ...)
- Même type d'outillage que pour les UPR, vinyle esters ou époxydes

BENETEAU continue son engagement vers une plaisance plus durable en intégrant la résine Elixir® innovante dans la production de l'Oceanis Yacht 60.

Permettre la circularité des composites



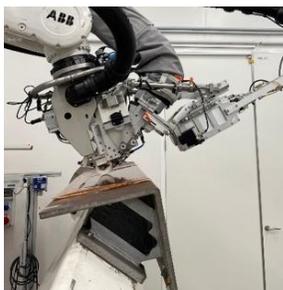
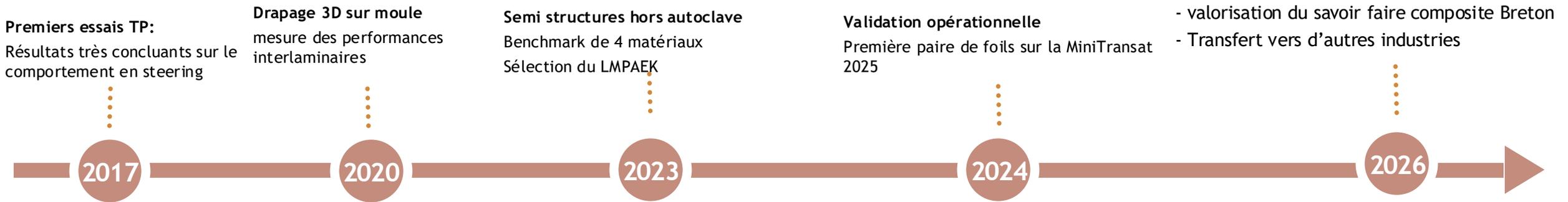
Foils en composites TP : projet Foil Infinity



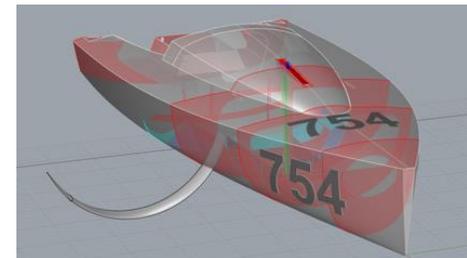
❖ Contexte:

- ❖ Améliorer l'éco-performance des composites dans la course au large
- ❖ Procédé/matériau qui répond à ce besoin
- ❖ Améliorer les performances mécaniques du matériau et rendre le process industriel

❖ Feuille de route:



	Preg époxy haut de gamme « IMOCA »	PPS	LMPA EK	PA12
Résistance compression Ud	-1650	-850	-1300	-650
Rigidité compression Ud	150	105	150	105
Résistance cisaillement	55	45	60	35
Résistance cisaillement collage	50	55	40	NF
Résistance traction 0°	3300	1600	2150	1400
Rigidité traction Ud	150	117	158	120
Résistance traction 90°	50	40	50	15

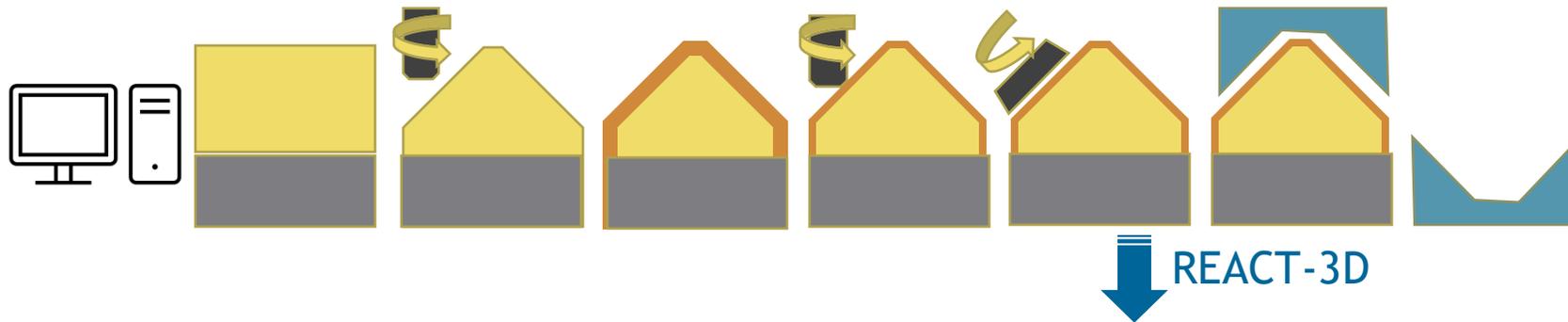


Outillages Composites : projet REACT3D (SMM)



❖ Pourquoi ce projet ?

Process classique de fabrication d'un moule pour composites (environ 3 mois)

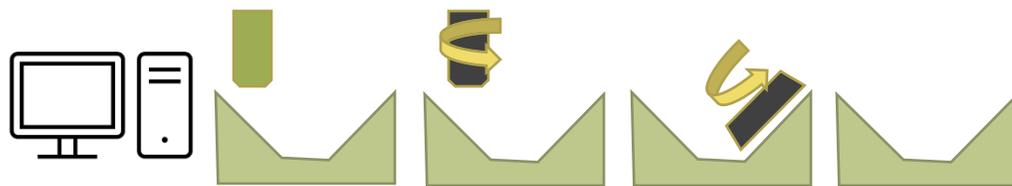


Moule de fabrication =
30% du Bilan Carbone
d'un IMOCA

Déchets importants et pas tous recyclables
Travail manuel avant et après usinage
Utilisation de matières contraignantes sur le plan HSE



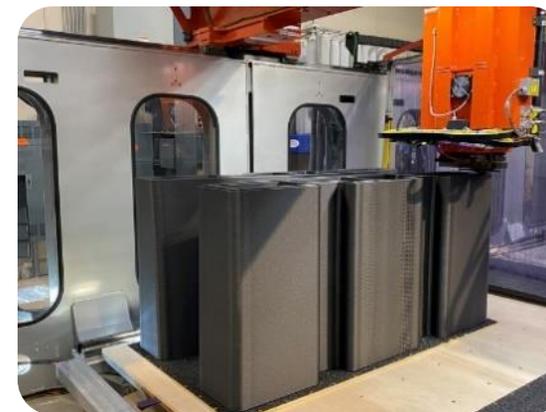
Nouveaux procédés automatisés de fabrication additif / soustractif grande dimension (environ 1 mois)



Déchets faibles et recyclables
Peu de travail manuel
Utilisation de matières moins contraignantes sur le plan HSE

❖ Objectifs

- à Nouveau process automatisé de fabrication additif / soustractif grande dimension LSAM
- à Production rapide d'outillages en composite thermoplastique recyclable et réutilisable
- à Proposer et formuler des matériaux innovants, performants et recyclables
- à Acquérir un savoir-faire de conception / fabrication de moules via ce nouveau process



Sources

- Guide du recyclage des composites, CReCOF, 2018
- Composites are circular materials, EuCIA, 2022
- Présentation F.Ruch, Le recyclage des composites, CETIM, 2017
- Webinaire AFNOR - IPC, Recyclage des matériaux composites, 2025



PROGRAMME
DE RECHERCHE
RECYCLAGE

SAVE THE
DATE

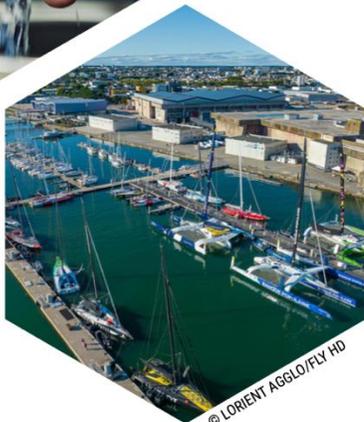
BRETAGNE
DÉVELOPPEMENT
INNOVATION

LE RECYCLAGE DES COMPOSITES

Un nouveau cap pour la course au large



© CYRIL FRESILLON / SIMAP / SOLAR / CNRS IMAGES



© LORIENT AGGLO/FLY HD

COLLOQUE ORGANISÉ
DANS LE CADRE DU PROJET RECYCOMP



25 SEPTEMBRE 2025



LORIENT - Palais des congrès

