

Etude de la filière des matériaux composites thermoplastiques

FILIERE MATERIAUX COMPOSITES THERMO- PLASTIQUES

DIRECCTE d'Ile-de-France

Pôle entreprises, emploi, économie

Département Développement Economique, Compétitivité et International (DECI) / Mai 2014

Pour cette première note sectorielle, le groupe de travail aéronautique de la DIRECCTE Ile-de-France a choisi de s'intéresser à la **filière des matériaux composites thermoplastiques**. Ce choix s'inscrit dans la continuité du Comité Stratégique de Filière aéronautique national (CSF) et de son articulation avec le Comité Stratégique de Filière Régional aéronautique en Ile-de-France (CSFR).

L'objectif de cette étude est de mieux connaître la filière des matériaux composites thermoplastiques d'en identifier les réalisations, les acteurs et les compétences et d'en appréhender **les enjeux**. **Cette filière est émergente**. Elle fait l'objet d'investissements importants compte-tenu des perspectives technologiques qu'elle offre. Il

s'agit de donner **quelques pistes de réflexion pour consolider la filière au niveau national**.

Cette étude s'appuie sur des **entretiens avec des entités situées en Ile de France relevant du secteur aéronautique** : pôle de compétitivité ASTech, administration (DGCIS), grands groupes, ETI et PME comme sur une recherche bibliographique¹.

Nous² tenons tout particulièrement à remercier nos différents interlocuteurs pour leur disponibilité et leur témoignage lors des entretiens qui se sont tenus **d'octobre 2013 à mars 2014**.

Définition des matériaux composites

Les matériaux composites sont des matériaux hétérogènes composés au minimum d'un renfort (fibre de carbone par exemple) et d'une matrice (résine le plus souvent) qui sert de liant et donne sa forme au matériau. Des additifs ou autres agents de liaison sont ajoutés en fonction des propriétés recherchées pour le matériau (résistance aux UV, ininflammabilité, conductivité, couleur, etc.). Les propriétés mécaniques du matériau obtenu par cette association sont bien différentes des propriétés de chaque constituant pris séparément.

- Le renfort est constitué de fibres (verre, carbone, aramide,...) plus ou moins longues, continues ou non, orientées ou non, sous forme de nappe ou tissées entre elles (tissage bidimensionnel ou tridimensionnel). Il a pour but d'absorber les efforts mécaniques.
- La matrice est un liant qui assure la cohésion de la structure et transmet les efforts

mécaniques au renfort. Elle permet de donner la forme souhaitée au produit final et protège les renforts de l'environnement extérieur. C'est le plus souvent une résine c'est-à-dire un composé organique (molécules formées d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote), ou minéral (silice, alumine, etc.).

Les matériaux de base sont très majoritairement élaborés à base de produits pétroliers tant pour la fibre de carbone que pour les résines même si des recherches sont en cours pour trouver des substituts aux précurseurs pétroliers (exemple : cellulose, lin,...).

Les matériaux composites thermodurcissables ou thermoplastiques sont à base d'une matrice organique. Tandis que les matériaux composites céramiques sont à base de matrice minérale.

1. Sources : Internet, sites d'entreprises, Wikipédia, Techniques de l'Ingénieur, Thèse INSA Rouen,...

2. Le groupe de travail de la Direccte Ile-de-France/Pôle 3 E/DECI : Diana Martins, Nathalie Lopes, Mathilde Fournier, Marc Delage, Philippe Nadal et Colas Hennion (référent).

ENJEUX

Les matériaux composites ont en commun :

- une plus grande légèreté par rapport aux métaux (densité autour 1,8 contre 2,7 un alliage d'aluminium),
- des caractéristiques mécaniques comparables, voire supérieures aux alliages métalliques.

Ces propriétés présentent un grand intérêt notamment pour les véhicules afin d'en alléger la masse et diminuer la consommation énergétique, tout comme les émissions de gaz polluants.

L'enjeu est de taille pour les grands groupes industriels.

Les matériaux composites thermodurcissables

Aujourd'hui, les secteurs aéronautique et automobile utilisent majoritairement des matériaux composites thermodurcissables.

Les matériaux composites thermodurcissables sont mis en forme sous des conditions normales de température puis ils sont montés en température et pression (autoclave) pour permettre la polymérisation et obtenir de façon irréversible la forme définitive. Les liaisons entre macromolécules obtenues sont des liaisons chimiques fortes (liaison covalente) qui rendent la **transformation irréversible** : les composites à base de polymères thermodurcissables sont **très difficilement recyclables**. Une résine époxyde (EP) liquide (conservée

à froid avant emploi – 18°C) est le plus souvent associée à des fibres de carbone pour ses bonnes caractéristiques mécaniques. Les procédés de fabrication les plus courants sont le moulage, le drapage de préimprégnés...

Exemples

- Eléments de structures véhicules (résistance et légèreté) : bords d'attaque d'ailes d'avions, ressorts suspension automobile,...
- Matériaux non magnétiques (furtivité) : voilure avion Rafale,...
- Loisirs (résistance et légèreté) : flotteur planche à voile, cadre bicyclette...

Les matériaux composites thermoplastiques

Les résines thermoplastiques existent depuis les années 70 et se présentent à température ambiante sous forme de poudres ou granulats. Pour être mise en œuvre, la résine thermoplastique est portée à haute température (dite température de mise en œuvre autour de 400°C) puis subit un refroidissement à vitesse maîtrisée pour obtenir la structure cristalline appropriée et déterminant les propriétés mécaniques de la pièce en matériau composite.

La transformation est réversible. Aussi, le matériau doit être utilisé dans des conditions de température inférieure à la température vitreuse de la résine qui suivant sa composition chimique s'étage entre 90°C (PPS,...) et 150°C (PEI, PEKK, PEEK,...)³ pour les résines hautes performances.

La qualité des résines et le cycle des températures déterminent donc la structure cristalline du matériau et donc les performances mécaniques

du matériau composite thermoplastique. La connaissance du phénomène physico-chimique au sein de la matière sous l'action du cycle de température fait l'objet de recherches académiques de haut niveau (on citera les travaux de recherche de Pierre Gilles de Gennes – Prix Nobel) et les expérimentations conduites par les grands groupes industriels ont pour objectifs de modéliser les phénomènes et maîtriser les procédés de fabrication.

Les procédés de fabrication les plus répandus sont l'injection thermoplastique (lorsque les fibres sont courtes 2 à 3mm), l'estampage (mise en forme sous presse chauffante) lorsque les fibres sont longues, l'enroulement filamenteux...

Les machines-outils (presse, machine à injection,...) sont chauffantes (+400 °C) et mettent en œuvre des pressions mécaniques importantes. En outre, compte tenu du fait que la pièce doit

3. PPS : poly phénolène sulfide, PEI: poly ether imide, PEKK : poly ether ketone ketone, PEEK : poly ether ether ketone

être refroidie, les moules ou formes (matrices) sont complexes dans leur réalisation notamment par le réseau de tubulures pour permettre de faire circuler le liquide de refroidissement ; plus la pièce est volumineuse, plus le moule est volumineux et plus la machine-outil met en jeu des pressions mécaniques importantes.

Exemples

- Loisirs (grande série et recyclage) : DVD, CD,...
- Eléments véhicules (résistance et légèreté): plancher intérieur cabine avion, raidisseurs de fuselage, éléments de nacelle de moteur d'avion, feux arrière automobile, pare-chocs automobile,...

L'intérêt des thermoplastiques par rapport aux thermodurcissables

Pour les industries automobiles et aéronautiques, les principales qualités des matériaux composites thermoplastiques par rapport aux thermodurcissables sont :

- Les résines thermoplastiques sont stables à température ambiante et se présentent sous forme de poudres et granulats prêts à l'emploi au contraire des résines thermodurcissables qui sont stockées à froid à -18°C .
- La réalisation de pièces complexes est possible par soudage (absence de colles et de rivets).
- Les temps de fabrication sont très sensiblement écourtés

pour les thermoplastiques (de l'ordre de quelques minutes contre plusieurs heures pour la polymérisation des résines thermodurcissables) et sont donc compatibles d'une production en série ou à la chaîne (cas de l'automobile).

- Les résines thermoplastiques sont recyclables (une fois séparées des renforts).

Aujourd'hui le principal inconvénient des matériaux composites thermoplastiques tient au coût des matières premières et au coût de production (conception, fabrication, contrôles non destructif...).

La filière des matériaux composites thermoplastiques

Schéma et description de la filière

Ce schéma (cf. pages 4 et 5) décrit la filière des matériaux composites thermoplastiques depuis les matières premières

jusqu'aux produits finis. Il synthétise l'information recueillie au cours des différents entretiens. Il ne prétend pas à l'exhaustivité.



R&D (caractérisation matériaux, conception pièces et procédés de fabrication, calculs numériques) des thermoplastiques.

- 1- Les grands donneurs d'ordres : DASSAULT AVIATION, AIRBUS GROUP,
- 2- Producteurs de matières premières et renforts
- 3- Conception et producteurs de machines (POLY SHAPE (91), MATRASUR COMPOSITE (91)...))
- 4- Logiciel de simulation d'injection : DASSAULT SYSTEMES
- 4- Laboratoires de recherche (CNRS, Universités, Grandes écoles)
- 5- Centres techniques industriels

Les matières premières :

1-Résines Thermoplastiques

- Polyamides (PA 11 et 12...)
- Poly ether ether ketone (PEEK)
--> ICI (GB)
- Poly ether keton keton (PEKK)
--> ARKEMA (suite à rachat unité aux USA), EVONIK (Allemagne), SOLVAY (RHODIA)),...

2-Renforts (fibres)

- Verre
--> OWENS CORNING France, sociétés anglaises,
- Carbone
--> TORAY CARBONE FIBERS (ex-SOFICAR) (64) groupe japonais, TOHO TENAX (Allemagne groupe japonais TEIJIN), MITSUBISHI (Japon)
Chine en cours
- Aramide,
...

Les produits semi-finis

- Mats, drapés, pré-imprégnés
- PORCHER INDUSTRIES (69)
HEXCEL (USA), SAITEK (USA),
TENCATE (Pays-Bas), TEIJIN (JAPON)



Machines-outils :

- CORIOLIS (56)
- FOREST LINE (80)
- ENGEL (Injection thermoplastique) (Autriche)
- ...

Outillages (Moules, presses chauffantes,...) :

- PINETTE EMIDCAU INDUSTRIES (71)
- ...

Suivants les différents procédés de fabrication.

Contrôles non destructifs :



posites thermoplastiques telle qu'elle ressort des entretiens
ues et CAO, conception machines-outils, contrôles non destructifs...) sur

Entreprises réalisant des pièces en composites thermoplastiques

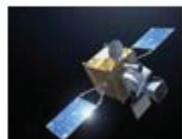
Ile-de-France (prototypes et petites séries):

- DASSAULT AVIATION (95)
- AIRBUS HELICOPTERS (93)

--> **Aucune PME** rencontrées en Ile-de-France ne travaille sur les composites thermoplastiques.

Contrôles non destructifs :

Analyses thermiques, thermomécaniques, tomographie, microscopie électronique,



Pistes pour la mise en place d'un plan d'actions

Dans la continuité de cette étude, il apparaît souhaitable:

- * d'identifier les pièces à fabriquer en matériaux composites thermoplastiques,
- * d'identifier les procédés de conception et de fabrication associés,
- * de **quantifier les volumes en jeu** (automobile et aéronautique).

De là découlera l'identification des compétences et donc des acteurs.

* Soit ces compétences ou ces acteurs existent auquel cas, il s'agira d'**accélérer leur développement** et d'intégrer la chaîne de valeur en réalisant les **investissements techniques et financiers** (prises de participation) nécessaires avec le **soutien des pouvoirs publics**.

* Soit elles n'existent pas, auquel cas il conviendra d'**acquérir ces connaissances et compétences en accompagnant/renforçant les développements réalisés au sein des IRT, des projets FUI,...** Les projets en cours dans les différents centres techniques, Instituts de Recherche et Technologie, pôles de compétitivité, la nature des appels à projet (CORAC avec les différents démonstrateurs, ...) peuvent en effet déjà donner une tendance du marché.

Il apparaît nécessaire d'organiser une **veille autour du sujet** (intelligence économique) ainsi que des **échanges et rencontres associant les grands groupes, les PME, les entités de recherche et formation et les instances**

Plusieurs observations peuvent cependant être faites :

1) Les matières premières, résines thermoplastiques ou renforts (fibres) sont produits par de grands groupes internationaux (principalement japonais et américains) qui disposent d'unités de production en France. C'est le cas de SOFICAR (64) pour la réalisation des fibres de carbone et qui a été **rachetée par TORAY, groupe japonais**. Nous n'avons pas identifié de producteurs de fibres exclusivement français.

Au niveau des résines hautes performances (PEEK) les industriels français étaient dépendants des industriels américains ou britanniques et ont mené, notamment ARKEMA (92), des recherches et développement pour obtenir des résines (PKK) aux qualités similaires (au PEEK) sans avoir à supporter les coûts de licence.

2) Les produits semi-finis (mats, drapés, pré-imprégnés) sont aussi produits par des grands groupes étrangers, dont certains ont des **unités de production en Europe**. Au niveau national, un producteur a été cité lors des entretiens, à savoir PORCHER INDUSTRIE situé en Rhône-Alpes. En outre, des grands groupes ont des intérêts dans des entreprises productrices de produits semis finis. C'est le cas de **SAFRAN** avec STRUCTIL (91) pour laquelle le **groupe japonais MITSUBISHI** est également **actionnaire** (sécurisation des approvisionnements en fibres de carbone). Toutefois, les produits semi-finis de cette dernière entreprise sont à base de résine thermodurcissable. Nous n'avons pas identifié en Ile-de-France de producteur de semi-produits thermoplastiques.

3) Les travaux de R&D s'intéressent principalement :

- aux propriétés physiques et chimiques des matériaux : cohésion des résines et de la fibre, conductivité du composite, tenue au vieillissement... ;
- aux procédés de fabrication : injection, estampage, impression 3D ...
- aux outils de simulation : modélisation de la conception et de fabrication des pièces en composite ;
- aux contrôles non destructifs.

La R&D est réalisée principalement par les grands groupes industriels automobiles (PSA, RENAULT) et aéronautiques (AIRBUS Group,...) ainsi que les entités de recherche françaises (ONERA, CNRS,...).

En outre, les Instituts de Recherche Techno-

logique (IRT) et les **pôles de compétitivité** conduisent des **projets collaboratifs de dimension nationale**. Il s'agit des IRT pour l'Aéronautique l'Espace et les Systèmes Embarqués (AESE - Toulouse) avec un domaine consacré aux matériaux multifonctionnels à haute performance, de l'IRT M2P (Metz-Belfort-Troyes) spécialisé dans les procédés d'assemblage multi-matériaux et l'IRT Jules Verne (Nantes) centré sur les développements de procédés innovants de fabrication de pièces et de structures complexes avec des matériaux composites ou métalliques et hybrides.

Par ailleurs, des coopérations européennes sont actives et donnent une **dimension européenne à la filière** des matériaux composites thermoplastiques. On citera par exemple le projet TAPAS associant les Pays-Bas et la France.

Dans le domaine de la simulation, DASSAULT SYSTEMES commercialise un **logiciel de simulation d'injection thermoplastique** qui fonctionne actuellement avec les fibres courtes. Des travaux de R&D sont menés pour étendre la simulation aux composites thermoplastiques dotés de fibres longues, voire aux procédés de fabrication autres que l'injection. A terme, le développement des logiciels de simulation devrait réduire le recours à des contrôles non destructifs coûteux.

4) Les produits finis sont fabriqués pour partie par les grands groupes industriels que nous avons rencontrés (AIRBUS HELICOPTERS, DASSAULT AVIATION, ...).

En Ile-de-France, nous n'avons pas identifié de PME fabriquant des pièces en matériaux composites thermoplastiques, alors que certaines en font en thermodurcissables (fabrication ou usinage).

5) En Ile de France, nous avons identifié plusieurs entreprises susceptibles de se positionner à terme, sur les matériaux composites thermoplastiques. Il s'agit des entreprises : SARDOU (77), DJP (94), STRUCTIL (91) dont le capital est détenu à 20% par MITSUBISHI, LA ROCHE GROUPE (95), MATRASUR COMPOSITES (91) (rencontrée au salon JEC qui développe des prototypes de machines-outils pour les matériaux thermoplastiques pour un constructeur automobile à l'export). Ces entreprises restent encore majoritairement actives sur les produits composites semi-finis ou finis à base de résine thermodurcissable.

Enjeux économiques

Il ressort des différents entretiens que **les PME en Ile-de-France ne sont pas pour l'instant positionnées sur la fabrication de pièces en matériaux composites thermoplastiques**. Plusieurs raisons ont été citées :

- Les matières premières sont encore d'un coût élevé (fibres de 10 à 100 €/Kg ; résines de 50 à 150 €/Kg). A titre de comparaison, le Kg d'aluminium coûte actuellement de 5 à 8 €/Kg.
- Elles doivent acquérir de nouvelles machines suivant le procédé de fabrication retenu.
- Elles doivent faire fabriquer des moules adaptés à l'injection thermoplastiques (de 10 à 300 k€).
- Elles doivent faire l'acquisition de nouveaux logiciels de simulation (35 k€).

Matrice SWOT

La matrice ci-après tend à mettre en exergue les avantages et inconvénients des **matériaux thermoplastiques par rapport**

- Le transfert ou l'acquisition de compétences par les PME représente un investissement important.

Il s'avère que la demande des grands groupes vis-à-vis des PME demeure encore faible ou inexistante. En effet, les grands groupes sont encore **en cours de maîtrise des procédés de fabrication (reproductibilité, fiabilité,...)**. Et de plus, le choix de réaliser une pièce en matériaux composites thermoplastiques résulte d'un bilan économique et technique réalisé sur le cycle de vie de la pièce embarquée sur les véhicules automobiles ou aéronefs (et intègre pour l'aéronautique les opérations de certification). En pratique, les grands groupes n'envisagent pas de substituer l'ensemble des matériaux métalliques par des matériaux composites.

aux thermodurcissables ce qui explique que les propriétés communes ne sont pas citées.

AVANTAGES

Conservation à température ambiante des résines sous forme de poudre et des pré-imprégnés.

Recyclabilité des résines.

Réalisation de pièces complexes :

- assemblage par soudage (sans collage au contraire des thermodurcissables, sans rivetage pour les matériaux métalliques) (économie dans le temps de montage)
- ajustement par chauffage (limitation des rebuts),
- temps de réalisation d'une pièce restreint (montée en température et refroidissement <2mn)

Résistance à un environnement sévère (corrosion, fluides, chocs,...).

INCONVÉNIENTS

Formulations des résines très protégées par les fabricants. Idem pour les fibres.

Température vitreuse (150 °C) (perte de rigidité).

Outils particuliers : température et force de pression mécanique plus élevées pour la mise en œuvre (que pour les thermodurcissables).

Incertitude concernant le vieillissement.

Coûts des matières premières fibres et résines encore très élevés.

Coûts de production élevés : machines-outils, logiciels de simulation, moyens d'essais et de contrôle non destructifs.

OPPORTUNITÉS

Limitation des émissions carbone et réduction de la consommation d'énergie dans les transports,

Les normes (cf. norme automobile) incitent au recyclage des matériaux,

Cadences de production en hausse (automobile, aéronautique).

La filière des thermoplastiques fait l'objet d'étude des grands donneurs d'ordres (automobile et aéronautique)

Montée en compétence : IRT, Pôles de compétitivité, centres techniques et de recherche, laboratoires et coopérations en Europe.

Nombreuses entités de formations (initiales ou continues) traitent des matériaux composites.

La hausse de la demande se traduira par un abaissement des coûts des matières premières et de fabrication.

Recherches sur les fibres (substitut aux précurseurs pétroliers), les résines et les assemblages.

MENACES

Risque dans la maîtrise des procédés de fabrication.

Concurrence forte en Europe (Pays-Bas, Allemagne,...) et USA et Japon.

Diffusion de la connaissance sur les composites thermoplastiques peut devenir un enjeu économique (Ecoles, grands groupes, laboratoires, PME).

de gouvernance des filières (automobile, aéronautique) avec une couverture nationale. Cela permettrait d'apporter une **visibilité sur les efforts et priorités à donner** (non seulement en termes de compétences mais également d'un point de vue financier) aux différents maillons de la chaîne de valeur avec une évaluation des **retombées économiques**.

Pour coordonner le travail ci-dessus et concourir à la structuration d'une filière nationale voire européenne, il pourrait être utilement tiré parti des instances déjà existantes comme les CSF nationales (automobile, aéronautique et matériaux) et leurs relais en régions que sont les CSFR.

Rapprochement avec la feuille de route du GIFAS sur la filière thermoplastique

Le GIFAS (dans le cadre du comité stratégique de filière aéronautique national) a défini une feuille de route pour constituer une filière thermoplastique au niveau national ou européen. Il s'agira que le groupe de travail de la

DIRECCTE d'Ile-de-France se rapproche prochainement du GIFAS pour échanger sur les résultats des deux études qui ont été menées en parallèle.

Conclusion et plan d'actions

Les grands groupes aéronautiques présents en Ile-de-France mènent depuis plusieurs années des travaux de recherche et expérimentations sur les matériaux composites thermoplastiques (y compris de formulation de résine) pour étendre leur usage à des pièces soumises à des contraintes thermomécaniques toujours plus importantes. Les propriétés de recyclage, d'assemblage par soudage, de compatibilité des procédés de fabrication avec des cadences de production élevées intéressent les secteurs automobile et aéronautique. La diversité des pièces à produire en matériaux composites thermoplastiques et les différents procédés de fabrication associés en font une **filière très segmentée**.

Un certain nombre de compétences sont identifiées sur le territoire national. Elles ont trait à

la **production des matières premières** (fibres et résines), aux **produits semi-finis** (mats, pré-imprégnés,...), aux **différents procédés de fabrication**, à la **conception de machines-outils** comme aux activités de R&D, simulation numérique et contrôles non destructifs. Ces compétences ont intéressé des grands groupes américains ou japonais qui sont entrés au capital de ces entreprises. De même, des entreprises françaises sont allées chercher des compétences à l'étranger (acquisition d'entreprise). **Il apparaît que tous les acteurs de la chaîne de valeur ne sont pas au même niveau de connaissance**. La demande des grands groupes faite aux PME reste encore faible et celles que nous avons rencontrées sont dans l'attente et n'envoient pas d'investir et de diversifier leurs procédés de fabrication actuels tournés vers les thermodurcissables ou le travail des métaux.