

L'industrie française des matériaux composites



*Des enjeux prioritaires
pour un développement durable*

L'industrie française des matériaux composites

Etude stratégique réalisée par

NODAL CONSULTANTS

pour le compte de la DiGITIP / SIM



Rapport de synthèse

Louis Berreur
Bertrand de Maillard
Stanislas Nösperger

Rév. 2 du 14 mai 2002
14 décembre 2001

AVANT-PROPOS

Au cours de ces dernières années, l'industrie française de la transformation des matériaux composites a bénéficié d'une croissance rapide et régulière, soutenue en particulier par la diversité des applications.

Pour contribuer à maintenir la croissance de cette industrie et alimenter la réflexion des acteurs industriels, la Direction Générale de l'Industrie, des Technologies de l'Information et des Postes (DiGITIP) du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie a réalisé cette étude stratégique sur *"l'industrie française des matériaux composites – des enjeux prioritaires pour un développement durable"*.

Les matériaux composites disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils contribuent au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et, pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique. Ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexes, aptes à remplir plusieurs fonctions. Dans chacun des marchés d'application (automobile, bâtiment, électricité, équipements industriels,...), ces performances remarquables sont à l'origine de solutions technologiques innovantes.

Cependant, pour faire valoir ces atouts et atteindre ses objectifs, l'industrie des matériaux composites doit mieux intégrer dans sa stratégie de croissance la composante environnementale du développement durable. Les évolutions réglementaires en termes de recyclabilité et d'hygiène et sécurité constituent également des enjeux forts que cette industrie doit relever pour maintenir sa croissance.

Les directives européennes en vigueur et les projets discutés actuellement encouragent d'ailleurs la mise en place d'actions collectives volontaires de la part des différents secteurs ou filières industrielles, pour maîtriser l'impact environnemental des produits tout au long de leur cycle de vie. Le secteur des matériaux composites, comme les autres, est concerné par ces mesures.

Avec l'ensemble des acteurs de la filière, relevons le défi et faisons que la compétitivité des entreprises en sorte renforcée.

Jeanne SEYVET

Directrice Générale de l'Industrie,
des Technologies de l'Information et des Postes

SOMMAIRE

Chapitre 1	Objectifs & Contexte	5
1	<i>Champ d'application de l'étude</i>	6
2	<i>Déroulement pratique de l'étude.....</i>	6
Chapitre 2	Matériaux & Technologies.....	7
1	<i>Définitions</i>	8
2	<i>Les matrices organiques.....</i>	8
3	<i>Les renforts.....</i>	9
4	<i>Les différents types de procedes</i>	11
Chapitre 3	Analyse fonctionnelle et applications	17
1	<i>Analyse des fonctions</i>	18
2	<i>Fonctions spécifiques de chaque secteur d'application.....</i>	19
3	<i>Les marchés d'application des composites</i>	22
Chapitre 4	R&D et savoir-faire technologique français.....	25
1	<i>Place de la France dans la Recherche</i>	26
2	<i>R&D et savoir-faire technologiques français.....</i>	26
3	<i>Positionnement de la France.....</i>	27
Chapitre 5	Marchés.....	29
1	<i>Marché des matières premières.....</i>	30
2	<i>Estimation du marché des composites.....</i>	32
3	<i>Particularités du marché français.....</i>	33
Chapitre 6	Défis & Opportunités	34
1	<i>Enjeux des matériaux composites.....</i>	35
2	<i>Défis sur l'industrie des composites.....</i>	36
3	<i>Difficultés posées aux concepteurs.....</i>	39
Chapitre 7	Recommandations.....	40
1	<i>Appui à la filière des composites.....</i>	41
2	<i>Solutions aux défis industriels posés par les composites</i>	43
3	<i>Développement et perfectionnement de procédés innovants</i>	44
4	<i>Diffusion de l'approche composite.....</i>	45
5	<i>Inciter les acteurs à s'impliquer dans la résolution des problèmes de la filière.....</i>	46

CHAPITRE 1
OBJECTIFS & CONTEXTE

1 CHAMP D'APPLICATION DE L'ETUDE

Le champ d'application retenu pour l'étude ne concerne que les matériaux constitués par l'intime association d'une matrice organique (résine) et de renforts constitués de fibres de toutes natures. Dans le secteur des composites, l'étude présente :

- les grandes évolutions du marché des composites et les segments majeurs,
- le potentiel économique de nouvelles solutions, les facteurs-clés de leur succès,
- les forces et les atouts des chercheurs et des industriels français face à la concurrence mondiale.

L'étude prospective des attentes des utilisateurs et des produits et procédés susceptibles d'y répondre tentera de répondre aux objectifs suivants :

- construction d'un atout compétitif durable,
- propositions concrètes de soutien ou d'incitation pour pallier aux faiblesses du dispositif national actuel.

1.1 Le secteur français des matériaux composites

Dans la nomenclature française des activités industrielles, le secteur des composites est actuellement **intégré dans le vaste secteur des matières plastiques (Groupe NAF 25.2 - NACE Rév. 1 25)**. Les études sectorielles existantes ne prennent pas en compte la spécificité des matériaux composites.

Ainsi, la présente étude vise à **identifier et délimiter** le secteur français des **composites** :

- les technologies spécifiques aux composites,
- les atouts des composites par rapport aux matériaux concurrents,
- les principaux obstacles et menaces concernant le développement des composites,
- le rôle et l'importance des centres de compétence français dans les technologies des composites,
- la place de la France, par la taille du marché et en niveau de savoir-faire, sur le marché mondial.

2 DEROULEMENT PRATIQUE DE L'ETUDE

Nodal Consultants a réalisé l'étude stratégique des matériaux composites avec l'appui d'un comité de pilotage dirigé par Hervé Chalaye, Digitip/Sim, chargé de mission auprès du sous-directeur matériaux, responsable de l'étude, et réunissant des intervenants institutionnels (Sessi, CNRS, Anvar, CFCE, Dire Aquitaine, DARPMI) ou liés au secteur (GPIC, Mines de Douai).

L'étude stratégique sur le secteur français des matériaux composites a été réalisée en trois phases :

1. recherche documentaire et des brevets pour déterminer la place de la France dans la R&D mondiale ;
2. approche directe de soixante-quinze acteurs de la filière des matériaux composites en France, en Europe, aux Etats Unis et au Japon.
3. synthèse des informations recueillies.

CHAPITRE 2

MATERIAUX & TECHNOLOGIES¹

¹ Dans ce chapitre 2 – Matériaux & Technologies – de nombreuses données techniques proviennent des différents ouvrages de Maurice Reyne sur les composites. Nodal présente ses remerciements à l’auteur pour lui en avoir laissé l’usage.

1 DEFINITIONS

Les matériaux composites, tels qu'ils sont définis dans le cadre de cette étude, sont principalement constitués :

- d'une **matrice**, résine thermoplastique (TP) ou thermodurcissable (TD)
- d'une **structure de renfort constituée de fibres**, généralement de verre, de carbone, d'aramide ou de fibres naturelles (lin, chanvre, sisal) :
 - les fibres courtes peuvent être soit **séparées**, soit **agglomérées** sous forme de **mats** ;
 - les fibres continues peuvent être non travaillées (sous forme de mats) ou travaillées (tissées, tressées) pour obtenir des structures complexes telles que les toiles ou le taffetas.
- d'**additifs**, nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et de modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont ajoutés.

2 LES MATRICES ORGANIQUES

Les **polymères thermodurcissables (TD)** sont mis en forme et se polymérisent selon la forme souhaitée par une transformation irréversible. Les principales résines thermodurcissables sont :


- les polyesters insaturés, très largement utilisés ;
- les résines époxy (ou époxydes) qui constituent la résine type des composites HP ;
- les résines phénoliques.

Les composites à matrice thermodurcissables représentent **70% des composites** en Europe.

Les **polymères thermoplastiques (TP)**, mis en forme par chauffage, durcissent au cours du refroidissement. La transformation est réversible. Les principales résines thermoplastiques utilisées dans les composites sont :

- le polypropylène (PP) ;
- les polyamides (PA) 6, 6-6, 12 ;
- le polyéther-éther-cétone (PEEK).

Principales propriétés des matrices thermodurcissables (TD) et thermoplastiques (TP) (d'après Maurice Reyne)

Matrices 	Thermodurcissables TD	Thermoplastiques TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage + refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisés en charges	Recyclables
Conditions de travail	Emanations de solvants	Propreté

3 LES RENFORTS

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire, allant de la particule de forme allongée à la fibre continue qui donne au matériau un effet de résistance orientée.

3.1 Les différentes natures de renfort

3.1.1 **Fibres minérales ou organiques**

1. Les **fibres de verre** :

Elles sont obtenues à partir de silice et d'additifs. Suivant les application auxquelles elles sont destinées, les fibres de verre sont réparties en **trois qualités** :

- **fibres E** pour les composites grande diffusion(GD) ;
- **fibres D** pour les applications dans la construction électrique (circuits imprimés) ;
- **fibres R** pour les composites haute performance (HP).

Les fibres de verre (500 kT/an en Europe) sont utilisées dans plus de 95% des composites, et plus particulièrement pour les produits GD. Elles offrent, pour un prix raisonnable de 1,5 à 7,5 €/kg :

- une bonne adhérence entre fibres et résines (matrices) ;
- de bonnes propriétés mécaniques, mais inférieures à celles de la fibre de carbone ;
- des propriétés d'isolation électrique acceptables pour la plupart des applications.

L'utilisation des fibres de verre dans les composites est principalement limitée par :

- une **rigidité** insuffisante pour certaines applications (pièces de structure primaire en aéronautique),
- un **vieillissement** accéléré au contact prolongé de l'eau, des rayonnements UV.

Les principaux producteurs sont : Saint Gobain Vetrotex, Owens Corning, PPG.

2. Les **fibres de carbone** :

La production actuelle de fibres de carbone destinées aux renforts de composites s'établit à **3.000 tonnes/an**. Elles sont principalement utilisées pour les composites « hautes performances » en aéronautique, en construction industrielle et dans les sports et loisirs.

En dehors des secteurs de l'aéronautique et des sports et loisirs, l'utilisation très large des composites à fibres de carbone, dans les **composites « grande diffusion »**, est conditionnée par une réduction importante du prix actuellement observé pour les fibres les moins chères (15 à 17 €/kg) ; il conviendrait d'atteindre des prix de l'ordre de 4,5 à 7,5 €/kg

3. La **fibre aramide** :

Elle est issue de la chimie organique des polyamides par synthèse chimique à basse température ; on la nomme souvent « Kevlar », qui est la marque de Dupont de Nemours.

Les composites renforcés de **fibres d'aramide** offrent une bonne stabilité en température (jusqu'à 200°C en fonction de la matrice) mais souffrent d'une adhérence moyenne entre matrice et fibre, d'un prix encore trop élevé de 30 € à 120 €/kg.

La production mondiale de fibres d'aramide atteint 40.000 tonnes/an, dont seulement 4.000 tonnes sont utilisées dans les composites.

4. Les fibres de polyéthylène haute ténacité

Elles présentent les avantages de la légèreté ($d=0,95$ à comparer à celle de l'aramide $d=1,44$) et d'une haute capacité de conversion de l'énergie cinétique en énergie thermique.

Les composites à **fibres de polyéthylène** se limitent aux applications balistiques et de blindage. Leur champ d'application est limité par leurs principales faiblesses :

- mauvaise résistance à la température (fluage dès 90°C ; l'aramide ne se dégrade qu'à 400°C) ;
- mauvaise adhérence entre les fibres et la matrice.

La production mondiale de **fibres de polyéthylène** haute ténacité représente **2.000 à 3.000 tonnes/an**, dont moins de 200 tonnes sont utilisées dans les composites. Les principales marques sont : Dyneema de DSM aux Pays Bas, Spectra aux Etats Unis.

5. Les fibres naturelles :

Elles pourront constituer une alternative intéressante aux fibres de verre grâce à leur plus grande recyclabilité (par incinération) lorsque leurs propriétés physiques seront mieux appréhendées. Les industriels (Sommer) et certains CRITT développent des composites avec des fibres naturelles (lin, chanvre, mais également sisal). En outre :

- leurs propriétés mécaniques pourraient atteindre celles des fibres de verre (module de Young) ;
- la fibre se travaille très facilement avec les technologies du textile (tissage).

Les fibres naturelles présentent plusieurs **verrous techniques** majeurs :

- elles ne sont pas fabriquées par un processus industriel et la reproductibilité de leurs caractéristiques physiques ne peut donc pas être parfaitement maîtrisée ;
- la **quantité et la qualité des fibres produites** dépendent de l'**environnement** et
- les caractéristiques des composites dépendent de l'humidité (reprise jusqu'à 8 ou 10% du taux d'humidité),
- les fibres naturelles sont difficilement **calibrables** et plus difficilement manipulables que les fibres de verre (en particulier pour le lin),
- leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la traction) moyennes ont engendré plusieurs **échecs** dans les projets d'**intégration** des composites à fibres naturelles dans l'automobile;

6. Les polymères biodégradables à base d'acide **polylactique** (PLA) :

Ils sont utilisés pour des composites à fibres et à matrice PLA pour des applications médicales d'ostéosynthèse ; ils pourraient constituer de nouvelles alternatives aux fibres existantes.

3.1.2 Architectures de renforcement

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques des structures en composites, il faut jouer sur la texture des renforts (leur architecture) pour créer une charpente résistante adaptée aux contraintes mécaniques. En fonction des propriétés recherchées, on rencontre plusieurs architectures de renforcements :

- **unidirectionnelle** : les fibres parallèles peuvent reliées (nappes) ou non (roving) ;
- multidirectionnelle aléatoire : les fibres sont soit coupées et broyées, sans arrangement particulier ou soit agglomérées par un liant et former un **mat** à fibres courtes ou continues ;

- **orientée** : le tissu comporte des fils de chaîne ou de trame (fibres bidirectionnelles) ;
 - on réalise pour des applications particulières des armatures de renforts multidimensionnelles.
- Les performances de ces différents types d'architecture sont présentées dans le tableau ci-dessous

Performances comparées des différents types d'architecture

Architecture des fibres	Comportement mécanique	Orientation de la tenue mécanique	Taux maximal de renfort	Type de fibres
Fibres coupées et broyées	Moyen	quelconque	30%	verre
Mats fibres coupées	Moyen	quelconque	30%	verre ou
Mats fibres continues	Moyen	orientée	30%	verre
Fibres continues	Intermédiaire	unidirectionnelle	50 à 70%	toutes
Tissu	Fort	bi ou tri directionnelle	30 à 70%	toutes
Nappe	Très fort	Unidirectionnelle (Bi-directionnelle)	50 à 85%	toutes

3.2 Les principales combinaisons de résines et de renforts

Tableau de synthèse de l'utilisation des résines et renforts

Résines		Fibres de renfort				
		Verre E	Verre D	Verre R	Carbone	Aramide
Thermodurcissables TD	Polyesters	GD	GD			
	Phénoliques	GD				
	Polyuréthanes	GD				
	Époxy		HP	HP	HP	HP
Thermoplastiques TP	Polypropylènes	GD				
	PA 6 et 6-6	GD		HP		
	PA 12, PEEK (marginal)			HP	HP	HP

4 LES DIFFERENTS TYPES DE PROCÉDES

4.1 Méthode sèche et méthode humide

Les procédés de transformation des composites peuvent mettre en œuvre des semi-produits élaborés séparément ou réaliser simultanément matériau et produit. ils peuvent être regroupés en deux familles :

- la **méthode humide** consiste à imprégner les renforts au moyen de la résine liquide (TD) au cours de la fabrication du produit : produit et matériau composites sont réalisés simultanément. Le préimprégné est pré-catalysé ; avant utilisation, il doit être conservé en chambre froide (-5°C).
- la **méthode sèche** consiste à mettre en forme des renforts préimprégnés avec une matrice TD ou TP et l'on dispose alors d'un **semi-produit** prêt à l'emploi. La difficulté réside dans l'accrochage de la matrice sur le renfort, en particulier lorsque celui-ci est sous forme de fibre longue ou de tissu. La réalisation se déroule en deux étapes :
 - fabrication et stockage du semi-produit ;
 - mise en forme du semi produit et polymérisation.

Les semi-produits pour la transformation des composites

Type de semi-produit	Type de résine	Renfort	Structure du renfort	Mise en oeuvre
BMC	TD	Verre	Fibres courtes (12 mm)	Compression
SMC			Mats fibres longues (50 mm)	
Granulé TPR	TP	Verre ou carbone	Fibres courtes ou longues (0,1 à 10 mm)	Injection
Plaque TRE			Mats de fibres courtes ou continues	Estampage
Préimprégné thermoplastique : combinaison ou comélange de fils renforts/matrices	TP (PET, PP)	Verre ou carbone	Mats de fibres continues ou tissu	Enroulement, pultrusion, estampage, compression

4.2 Les grands procédés de transformation

Les procédés de mise en œuvre des matériaux composites sont plus nombreux que les techniques de transformation des métaux ; toutefois leur industrialisation est encore récente ce qui engendre de nombreuses difficultés quant à la prédictibilité des résultats.

Le tableau ci-après présente les différents procédés de transformation parmi lesquels on a distingué les grands types suivant les techniques de mise en oeuvre et la classe de composites pouvant être réalisés par les différents procédés.

D'un point de vue industriel, on distingue principalement :

- les procédés manuels de transformation
- les procédés de transformation par moulage
- les procédés de transformation en continu
- les procédés de fabrication de formes de révolution

4.2.1 Les technologies manuelles de transformation

Les technologies manuelles de transformation des composites représentent 21% du secteur français mais sont menacées par les directives limitant les émissions de styrène (COV)¹.

Les technologies manuelles de transformation des composites utilisent des moules ouverts et sont :

- le moulage au contact pour les composites « grande diffusion »,
- la **projection simultanée** : la résine catalysée et les fibres de renfort coupées sont projetées simultanément au moyen d'un pistolet sur une forme ;
- le **drapage autoclavé**, réservé aux composites « hautes performances », qui est devenu aujourd'hui très industrialisé (aéronautique).

4.2.2 Les technologies de transformation par moulage

Les procédés de transformation par moulage sont compatibles avec des cadences plus élevées et se scindent en deux groupes :

- réalisation simultanée du matériau et du produit : procédés RTM et RIM,
- transformation de semi-produits ou de granulés : estampage TRE, compression SMC/BMC, injection de granulés thermoplastiques renforcés TPR

¹ COV : composés organiques volatils, tels que le styrène ;

Synthèse des procédés de transformation (d'après Maurice Reyne)

Procédés de transformation	Utilisation	Renfort		Matrice	Cycle
		Nature	Taux (%)		
1.- Formes 3D moulées, sans presse avec 1 seul moule					
Contact	GD	Mat ou tissu de verre	30-40	Polyester, vinylester	Jour
Projection simultanée	GD	Fibres coupées (l=4-6 cm)	25-30	Polyester	2 jours
Drapage autoclavé	HP	Tissus préimprégnés carbone, aramide, verre R	Jusqu'à 50	Epoxy	2 jours
2.- Formes 3D moulées à la presse avec 2 moules					
Pressage basse pression RTM	GD	Mats de verre	22-28	Polyester	20-30 mn
	HP	Tissu verre R ou carbone	Jusqu'à 80	Epoxy	20-30 mn
Compression moyenne pression	GD	Semi-produit BMC ou SMC		Matrice TD	2-3 mn
Estampage TRE	GD	Plaques TRE		Matrice TP	1 mn
Injection haute pression TP	GD	Granulé TPR		Matrice TP	De 10 s à 1 mn
Injection transfert haute pression TD	GD	Semi-produit BMC		Matrice TD	1,5-2 mn
Injection réaction R-RIM (moule fermé)	GD	Fibres de verre broyées l=0,1-0,2 mm	15-20	Polyuréthane	1-2 mn
Injection réaction S-RIM (moule ouvert)	GD	Mat de fibres longues	<30	Polyuréthane	1-2 mn
3.- Formes profilées ou produits longs					
Stratification en continu	GD	Mat de verre fibres coupées	25-30	Polyester	6-12 mn
Pultrusion	GD	Fibres continues verre	50-80	Polyester	1-2 m/mn
	HP	Fibres continues carbone	50-80	Epoxy	0,5 m/mn
4.- Formes de révolution					
Centrifugation	GD	Fibres coupées, mat enroulé ou tresses de verre	35-45	Polyester	Quelques heures
Enroulement filamentaire	GD	Fibres continues verre E	50-70	Polyester, vinylester	De 1 heure à 1 jour
	HP	Fibres continues verre R, carbone, aramide	60-80	Epoxy	De 1 jour à quelques jours
GD avec matrice TD		HP avec matrice TD		GD avec matrice TP	
				HP avec matrice TP	

1. Les procédés de transformation de semi-produits

Les technologies de compression de semi-produits thermodurcissables SMC/BMC, bien adaptées à la fabrication en grande série, devraient, au cours des prochaines années, croître au rythme de 6% par an en Europe.

Le procédé d'estampage des semi-produits TRE constitue, pour la fabrication des composites TP, un compromis entre des caractéristiques mécaniques moyennes et des cadences élevées.

L'injection des thermoplastiques renforcés représente la quasi-totalité de la production des composites thermoplastiques en France, mais le produit obtenu a des propriétés mécaniques limitées.

2. Les procédés de réalisation simultanée de matériau et de produit

Le procédé RTM (*Resin Transfert Molding*) devrait se développer à un rythme de 8% par an en Europe, en particulier pour la réalisation de petites séries, grâce à l'amélioration des méthodes de simulation de l'injection de résine.

Les procédés d'injection par réaction RIM (*Reaction Injection Molding*) permettent la réalisation rapide d'objets de formes complexes, mais ne représentent que 3% des composites transformés en France.

4.2.3 Les procédés de transformation en continu

Les procédés de transformation en continu permettent une réalisation automatique de profilés en composites et comprennent essentiellement la **pultrusion** et l'**imprégnation en continu**.

Le procédé de transformation en continu, dit pultrusion, est peu développé en France, utilisé par seulement 5 ou 6 transformateurs ; il permet de fabriquer par une opération unique et continue le matériau composite et le produit fini sous forme de profilés longs.

L'imprégnation continu a été le premier procédé industrialisé de fabrication des composites mais ne représente plus en France que 4% des composites transformés. Il permet de produire **simultanément et d'une manière continue** le matériau composite et les produits finis sous formes de plaques.

4.2.4 Les procédés de fabrication de forme de révolution

Il existe deux grands procédés de fabrication de formes de révolution en composite : la **transformation par centrifugation** et l'**enroulement filamentaire**.

Les composites transformés par centrifugation ont des propriétés mécaniques moyennes; la place de cette technologie reste marginale en France (2 à 3 transformateurs) et dans le monde. Ce procédé permet de réaliser **simultanément** le corps de révolution et le matériau composites

Le procédé d'enroulement filamentaire est adapté à la production en petite série de corps creux de révolution ; il ne représente que 2% des composites produits en France. Le procédé réalise simultanément le matériau et le produit

4.2.5 Les procédés innovants

Les procédés de transformation innovants concernent essentiellement la mise en œuvre des composites thermoplastiques ou des améliorations apportées au procédé RTM.

1. La **technologie d'injection pour grande série** (*Large Injection Moulding Technology - LIMT*) consiste à utiliser des composites thermoplastiques à matrice PA, polypropylène ou PET chargés de 15% à 40% de fibres de verre courtes.

2. Des mélanges à base de fibres de carbone conductrices peuvent être mis en œuvre par la technologie de **chauffage direct par induction**, qui permet de réduire les temps de cycle. La technologie a été développée par Schappe, RocTool et Ems-Chimie.
3. Le procédé par imprégnation a été amélioré par la technologie RIFT (*Resin Infusion Processes*), qui consiste à remplacer une des faces du moule fermé par un **film flexible**. Cette méthode favorise l'imprégnation et la rend plus homogène.
4. Un procédé comparable au RTM a été mis au point par Ems Chimie pour les **polyamides 12**, en utilisant le **lauro lactam**, un catalyseur et un fluidifiant afin de limiter, au cours de la polymérisation, l'élévation de la viscosité susceptible de réduire l'imprégnation des renforts.
5. Au Japon, Teijin et Hiroshima Plastics ont développé un procédé innovant pour la réalisation, en moule ouvert, de composites sandwich destinés à l'automobile et à la construction ; ce procédé est fondé sur la **dilatation thermique des particules thermoplastiques**.

4.2.6 Les acteurs de la transformation des composites en France

Le tableau suivant présente les différents procédés de transformation des composites en France, les types de composites réalisés et les conditions industrielles de ces méthodes. Les entreprises spécialistes d'une technologie sont indiquées **en gras**.

Quelques acteurs français de la transformation des composites

Procédés	Classe de composite	Acteurs France	Exemples	Cadences	Evolution
Moulage au contact ou projection	GD	125	Plastim, Natec, Stratiforme, chantiers navals	Très faibles	En déclin
Drapage	HP	16	Composites Aquitaine , Bretagne Composites, Dassault, EADS	Très faibles	Déclin léger
Compression SMC/BMC	GD	29	Inoplast, Sotira , Nief Plastic	Elevées	En développement
Injection TPR	GD	142	Allibert Equipement , Nief Plastic, Sogeplast	Elevées	Stable
RTM	GD/HP	35	Stratim, Stratiforme, Sotira	Moyennes	En développement
RIM	GD	10	Sotira, Peguform , Compreforme, Faurecia, Hutchinson	Moyennes	Stable
Imprégnation en continu	GD	4	Oceane Composites, Topflex	Elevées	Stable
Estampage TRE	GD	4	Nief Plastic, Faurecia Bretagne Composites	Moyennes	Fort développement
Pultrusion	GD	5	Allibert Equipement , Hussor, PRP Planet GDP, DCP	Moyennes	Développement
Enroulement filamenteux	GD/HP	15	Composites Aquitaine , Carlier	Moyennes	Stable
Centrifugation	GD	3	Calorna Purflo Fimor, Hermex	Moyennes	Stable
Procédés innovants	GD/HP		Schappe, Vetrotex	Moyennes à élevées	En développement

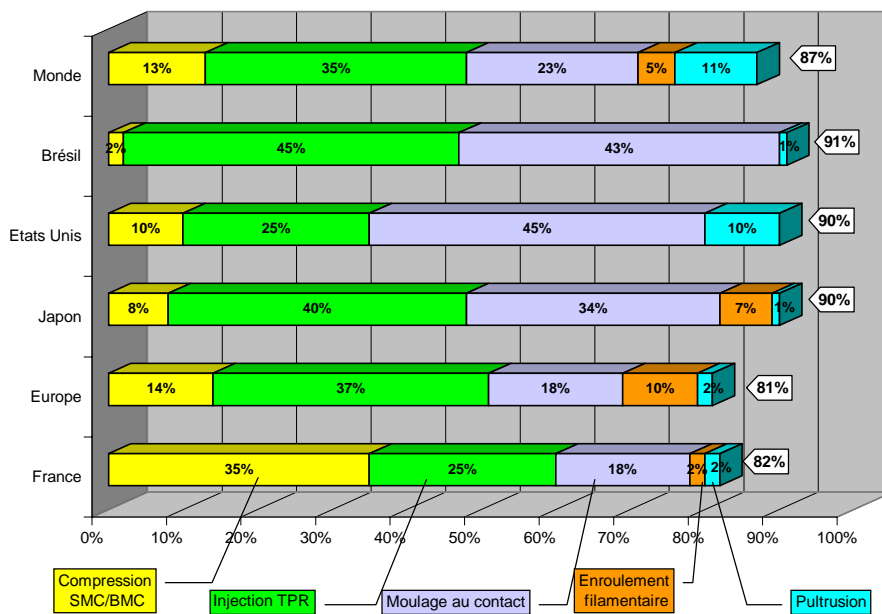
4.2.7 La répartition des procédés de transformation

La compression SMC/BMC est particulièrement utilisée en France, comparativement à l'Europe et au monde. Les technologies de transformation manuelles sont très largement utilisées au Japon et aux Etats Unis, contrairement à l'Europe. L'injection des granulés thermoplastiques renforcés produit des composites GD et est très développée sur tout les continents.

Part des différents procédés de transformation en France et en Europe

Procédés	France	Europe	Japon	Etats Unis	Brésil	Monde
Injection TPR	25%	37%	40%	25%	45%	35%
Moulage contact & projection	18%	18%	34%	45%	43%	23%
Compression SMC/BMC	35%	14%	8%	10%	2%	13%
Drapage	3%	9%	1%	1%	1%	2%
RTM	5%	3%	1%	3%	3%	3%
RIM	3%	1%	1%	1%	0%	1%
Imprégnation continu	4%	3%	6%	2%	4%	4%
Estampage TRE	3%	3%	1%	3%	1%	3%
Pultrusion	2%	2%	1%	10%	1%	11%
Enroulement filamenteux	2%	10%	7%	0%	0%	5%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tonnage transformé (kT)	300	2 400	1 700	3 400	170	7 150

Répartition de 80% des procédés de transformation par zone géographique



CHAPITRE 3
ANALYSE FONCTIONNELLE ET
APPLICATIONS

1 ANALYSE DES FONCTIONS

L'analyse des fonctions remplies par les matériaux composites, complétée et orientée par les informations recueillies pendant les entretiens directs avec les intervenants du secteur, est développée suivant deux axes :

- une classification des fonctions par discipline scientifique :
 - les fonctions mécaniques sont présentées dans le tableau I ci-dessous,
 - les fonctions chimiques dans le tableau II,
 - les fonctions physiques dans le tableau III.
- une classification des fonctions par objectifs.

I.- Classification par fonctions mécaniques

Fonction	Déterminant	Secteurs d'application	Exemples d'applications	Critères et valeurs cibles
Résister	à la traction	Aéronautique	Bielles de reprises d'efforts pour les avions en composites HP	Limite de tenue à la traction (100 à 1000 MPa)
	à la flexion	Bâtiment	Eléments de murs rideaux en composites GD à fibres longues	Module de flexion : (8 à 18 GPa)
	à la fatigue	Automobile, ferroviaire, aéronautique	Hayons Citroën en composites TD à fibres longues	Durée de vie jusqu'à trente ans
	à la fissuration	Automobile, bâtiment	Toile de fibre de verre et de résine pour revêtement de bâtiment	
	à la température	Automobile, aéronautique	Capot moteur en composites TD à fibres longues	Conservation de 50% des caractéristiques mécaniques pendant 2,000 heures/150°C
	à la rayure	Bâtiment	Baignoires en composites à matrice TD	
Réduire	l'abrasion l'usure	Automobile	Composites en matrice PEEK pour pièces d'usure	Coefficient de dilatation thermique (70-100 micron/m°C)
	les déformations thermiques	Construction, automobile, bâtiment	Carters d'huile en composites TP à fibres courtes	
Absorber	l'énergie	Automobile	Lames de ressort de camionnettes	
Adapter	à une structure	Bâtiment	Charpente avec composites à enroulement filamentaire	
Maîtriser	l'élasticité	Habillement, automobile	Embouts de chaussures de sécurité	Module d'élasticité longitudinal 20-300 Gpa Module d'élasticité transversal 2-25 Gpa
Amortir	les chocs	Automobile	Couvercles de boîtes de vitesses composites à matrice TP	
	les vibrations	Automobile, aéronautique	Couvercles de boîte de vitesse : composite matrice TP	
	le bruit	Bâtiment	Sanitaires en composites à matrice TD	

II.- Classification par fonctions chimiques

Fonction	Déterminant	Secteurs d'application	Exemples d'applications	Critères et valeurs cibles
Résister	à la corrosion	Ferroviaire, électricité, naval, électronique, construction, papier, articles de sport	Coques de bateaux, collecteurs d'admission d'air dans les carburateurs, réservoirs pour véhicules fonctionnant au gaz naturel	
	aux attaques chimiques au feu	Construction, industrie chimique Bâtiment	Baignoires en composites à matrice TD	
Limiter	les émissions toxiques	Bâtiment	Réservoirs dans l'industrie chimique	

II.- Classification par fonctions physiques

Fonction	Déterminant	Secteurs d'application	Exemples d'applications	Critères et valeurs cibles
Résister	aux ultraviolets	Bâtiment	Toile de fibre de verre et de résine pour revêtement de bâtiment	
Alléger	les structures	Automobile, ferroviaire, aéronautique	Volets et ailerons d'avions en composites HP	Masse spécifique 1-2 kg/dm ³ alléger la structure d'1 kg
Transmettre	les ondes OEM	Génie électrique, électronique	Noyaux de transformateurs solutions de CEM, radômes	
Isoler	de la chaleur	Aéronautique, automobile, bâtiment	Réservoirs d'huile en composites HP pour les avions	Coefficient d'isolation K=1,1 à 1,2W/m ² .K isolation jusqu'à 1200 °C
	de l'électricité	Génie électrique, électronique	Isolants THT en composites à fibres longues	

2 FONCTIONS SPECIFIQUES DE CHAQUE SECTEUR D'APPLICATION

Les principales fonctions, identifiées ci-dessus, apportées par les matériaux composites ont été classées en trois thèmes :

- la durée de vie,
- la facilité de conception,
- la sécurité

Le tableau ci-dessous analyse l'intérêt pour chaque application d'utiliser les différentes fonctions spécifiques des composites ; la résistance à la corrosion (citée 6 fois), la rigidité (citée 5 fois), la résistance mécanique (citée 5 fois), la tenue au feu (citée 5 fois) et l'adaptabilité aux formes complexes (citée 5 fois) sont les fonctions spécifiques apportées par les composites qui sont le mieux appréciées.

Principales fonctions apportées par les composites aux applications

		Aéronautique	Automobile	Ferroviaire	Bâtiment	Construction industrielle	Industrie nautique	Médical	Electricité	Sports & loisirs
Durée de vie	Rigidité				X		X	X	X	X
	Résistance mécanique				X	X	X	X		X
	Tenue à la fatigue	X					X			
	Résistance à la corrosion	X	X		X		X	X	X	
	Etanchéité				X	X				
Sécurité	Tenue aux chocs		X				X	X		X
	Tenue au feu	X		X	X	X			X	
	Isolation thermique				X	X			X	
	Isolation électrique								X	
	Amortissement vibrations					X				X
Conception	Intégration de fonctions	X	X						X	
	Formes complexes	X	X	X	X					X
	Transparence OEM								X	
	Allègement de structure	X	X					X		X

Note : Dans le tableau ci-dessus, les fonctions applicables aux composites thermoplastiques et aux thermodurcissables sont indiquées par des cases jaunes ; les fonctions spécifiques des thermoplastiques sont indiquées par des cases vertes.

2.1 Une exploitation inégale des fonctions des composites

Les secteurs du bâtiment (cité 7 fois), de l'électricité (cité 7 fois), de l'aéronautique (cité 6 fois) et des sports et loisirs (cité 6 fois) sont les applications susceptibles d'utiliser au moins six fonctions spécifiques apportées par les composites.

Dans le secteur automobile, qui utilise potentiellement 5 fonctions des composites TD et 6 des composites TP, la place des composites est concurrencée par les autres matériaux (le hayon arrière de la Matra Espace est désormais réalisé en aluminium).

Les composites ne sont pas majoritairement utilisés dans le secteur ferroviaire, qui ne reconnaît potentiellement que deux fonctions intéressantes aux composites.

2.2 Une obligation d'atouts différenciateurs

Pour être adoptés face aux solutions traditionnelles (acier, aluminium), les composites doivent se différencier des technologies alternatives par leur apport fonctionnel positif portant sur au moins cinq critères, par exemple le gain de poids, l'intégration de fonctions ou la bonne tenue à la corrosion.

Cette exigence croissante des industriels s'explique par le fait que la « solution composite » représente toujours pour le concepteur un « saut technologique », alors que les **solutions traditionnelles** (acier, aluminium) sont **constamment enrichies** (légèreté, traitements spéciaux) et apparaissent comme une solution sécurisante en raison de la prédictibilité de leur comportement.

2.3 Des exigences variées suivant les secteurs d'applications

Pour chacune des neuf applications étudiées, Nodal a estimé l'importance relative de trois exigences caractéristiques de l'utilisation des matériaux composites :

- les **performances** demandées au produit utilisé,
- le **coût relatif** de la fabrication du produit,
- les **capacités** de production actuellement accessibles pour chaque type de produit.

Ces estimations ont permis d'établir le tableau ci-dessous qui propose une notation de 1 à 4 des neuf applications pour chacune des trois exigences retenues.

Exigences comparatives des neuf secteurs d'application

Secteurs d'application	Performances	Economie du procédé	Cadences
Aéronautique	Très hautes	Non prioritaire	1-10 pièces/jour
Automobile	Moyennes	Essentielle	Plus 500 pièces/jour
Ferroviaire	Hautes	Importante	10-50 pièces/jour
Bâtiment	Moyennes	Essentielle	50-500 pièces/jour
Construction industrielle	Hautes	Appréciée	10-50 pièces/jour
Industrie nautique	Moyennes	Appréciée	1-10 pièces/jour
Médical	Très hautes	Non prioritaire	50-500 pièces/jour
Electricité	Hautes	Essentielle	Plus 500 pièces/jour
Sports et loisirs	Très hautes	Importante	Plus 500 pièces/jour

Estimation Nodal

2.4 Aperçu sur les enjeux des marchés d'application

Le tableau ci-dessous présente une synthèse rapide des principales caractéristiques de chacune des neuf applications étudiées : type de composites principalement utilisé, taille du marché, évolution envisagée à court terme, technologies de transformation et principaux facteurs de développement.

Dans les applications notées « en développement », le marché pourrait croître de 5 à 10% par an pendant les cinq prochaines années ; les secteurs indiqués comme « stables » correspondent à une croissance comparable ou inférieure à celle du PIB (2%).

L'évolution des marchés de l'automobile, de la construction civile et de la construction nautique est considérée comme « incertaine » car :

- l'application de nouvelles réglementations européennes à l'horizon 2004 risque de menacer, voire de condamner, l'utilisation des composites dans ces secteurs, compte tenu de l'état actuel de l'art,
- par contre, si ces facteurs critiques sont maîtrisés, ces marchés devraient rester très porteurs.

Synthèse des principales applications

Evolution probable du secteur d'application	Marchés	Types de composites	Taille (kT)		Procédés	Facteurs clés du développement
			France	Europe		
Développement en cours	Sports et loisirs	HP et GD	18	160	RTM, SMC Enroulement, TRE	Industrialisation des composites TP HP
	Aéronautique	HP	12	20	RTM Composites TP HP	Assemblage Composites résistants aux
	Matériel médical	HP	3	20	Procédés pour composites TP	Industrialisation des composites TP HP
Développement incertain	Automobile	GD	108	640	SMC, TRE, RTM, RIM	Recyclage maîtrisé Aspect, Cadences
	Construction civile	GD et HP	63	620	Pultrusion, SMC Injection	Conception et prescriptions
	Construction nautique	GD et HP	18	160	RTM	Maîtrise du rejet des COV
Développement stabilisé	Construction électrique	GD	45	120	SMC/BMC	Cadences
	Construction industrielle	GD et HP	24	200	Pultrusion, SMC Enroulement	Expérience capitalisée des concepteurs
	Ferroviaire	GD	6	40	RTM	Conception orientée « composites »

3 LES MARCHES D'APPLICATION DES COMPOSITES

3.1 Les composites dans l'aéronautique

L'aéronautique utilise principalement des composites « hautes performances » constitués d'une matrice époxy associée à un taux élevé de renforts en fibres de carbone.

L'aéronautique utilise les composites « hautes performances » pour la fabrication de pièces de structure primaire des appareils en raison de leur légèreté, de leur souplesse de forme et des économies de frais de maintenance qu'ils engendrent.

Les méthodes d'assemblage des pièces en composite la résistance aux chocs, médiocres pour les composites therm durcissables constituent les principaux handicaps des composites dans ce secteur.

3.2 Les composites et l'automobile

Le secteur de l'automobile utilise pour 95% des composites à matrice polyesters et fibres de verre, mais devrait intégrer massivement les composites thermoplastiques d'ici 2003-2006.

Les composites apportent au secteur de l'automobile une facilité d'entretien et une grande liberté de conception ; l'allègement de 1 kg, obtenu par l'utilisation des composites, autorise un surcoût de 3 €/kg gagné ou permet d'économiser 1,5 € de carburant par 100 km.

Dans l'automobile, le développement à long terme des composites est menacé par la difficulté de les intégrer dans les chaînes de fabrication et par les exigences de recyclabilité.

3.3 Les composites dans le ferroviaire

Le secteur ferroviaire utilise principalement des composites à matrice thermodurcissable et fibres longues, mais il apparaît peu dynamique.

Dans le secteur ferroviaire, la facilité de conception et le bon comportement au feu sont les principaux atouts des matériaux composites.

La généralisation des composites dans le ferroviaire est handicapée par leur coût supérieur à 50F/kg, contre 10F/kg pour les solutions en acier et par les difficultés de l'approche fonctionnelle rencontrées par les concepteurs.

3.4 Les composites dans la construction civile

L'utilisation des composites renforcés de fibres de carbone, en complément des composites à fibre de verre (TD et TP) pourra se développer dans le secteur de la construction civile lorsque leur prix deviendra inférieur à 30F/kg.

Les composites apportent au bâtiment la souplesse des formes, la résistance aux contraintes climatiques, et les composites renforcés de fibres de carbone la résistance aux séismes.

L'utilisation des composites dans le bâtiment ne pourra se développer en France que si les prescriptions techniques actuelles sont mieux adaptées à leur spécificité.

3.5 Les composites et la construction industrielle

Les fibres de carbone pourront être utilisées en complément aux fibres de verre à la fois comme renfort et comme capteur, et seront associées à des résines polyesters ou époxy.

L'utilisation des matériaux composites peut contribuer à améliorer la sécurité de certains sites industriels sensibles et faciliter la conception des bâtiments.

Pour les constructions industrielles standard, les matériaux composites ont un prix encore trop élevé et leur caractérisation en milieu corrosif est insuffisamment connue.

3.6 Les composites et la construction nautique

Dans la construction nautique de plaisance, les composites sont indispensables pour les embarcations de taille inférieure à 40 mètres. Le moulage au contact représente encore 85% des composites utilisés dans ce secteur.

Les problèmes d'environnement sont susceptibles de menacer à terme l'industrie nautique des matériaux composites ; en effet, les nouvelles réglementations européennes limitant les émissions de COV (styrène) pourraient constituer une menace pour cette industrie si elle ne s'adapte pas¹.

3.7 Les composites dans le secteur médical

Les applications des composites aux secteurs médical et de la sécurité sont très récentes et concernent plutôt les composites hautes performances, à **matrice époxy** et fibres de carbone, ou à matrice thermoplastique et fibres longues de verre ou de carbone d'autre part.

L'utilisation des composites permet d'**augmenter la fiabilité et la précision** des instruments grâce à une meilleure résistance aux chocs, une grande rigidité et une bonne résistance à la corrosion (prothèses, brancards).

Le médical reste attaché à l'utilisation des aciers spéciaux dont le prix de 50F/kg reste bien au-dessous de celui des composites HP qui peut atteindre 300F/kg.

3.8 Les composites dans les équipements de sports et loisirs

Les sports et loisirs utilisent des composites HP avec un taux de renforts de plus de 70%.

Les composites permettent d'augmenter sur mesure les performances, la fiabilité des articles de sports.

La résistance mécanique et élastique des **composites TP** reste encore trop faible comparée à celle des alliages légers, en particulier pour les composites à matrice en polypropylène et en polyamide.

3.9 Les composites et la construction électrique

Le secteur de la construction électrique et électronique utilise massivement des **composites** « **grande diffusion** », essentiellement sous forme de semi-produits SMC comprimés.

En utilisant les propriétés remarquables des matériaux composites, la construction électrique réalise des équipements fiables, aux fonctions multiples et longue durée de vie.

Les cadences de production des composants électriques, pouvant atteindre plusieurs milliers par jour, sont peu compatibles avec celles du procédé de compression SMC. Des exigences croissantes en recyclabilité des produits constituent une menace importante pour ce secteur d'application des composites.

¹ Voir ci-après le chapitre 6 : Menaces & Opportunités

CHAPITRE 4
R&D ET SAVOIR-FAIRE
TECHNOLOGIQUE FRANÇAIS

1 PLACE DE LA FRANCE DANS LA RECHERCHE

1.1 Place de la France dans le domaine des brevets

La protection des innovations françaises sur les composites par le dépôt de brevets est encore relativement insuffisante :

- les **acteurs américains** ont publié **800 brevets** entre 1998 et 2000 ;
- les **acteurs japonais** ont déposé plus de **200 brevets** entre 1998 et 2000 ;
- les **acteurs allemands** ont publié environ **200 brevets** entre 1998 et 2000 ;
- une **centaine de brevets français** ont été publiés entre 1998 et 2000 dont plus de 60 en 2000.

Les dépôts de brevets, nécessairement internationaux, par des PMI sont freinés par une relative méconnaissance des procédures de dépôt par les industriels et par l'**investissement** que représente le dépôt : 40 k€ à la publication et 7,5 k€/an pour l'entretien

1.2 Place de la France dans les programmes européens

La participation des acteurs de la filière française des composites aux programmes européens est sensiblement moins importante que celles de l'Allemagne et du Royaume Uni

Depuis 1987, 17 projets Eureka ont concerné l'élaboration ou l'utilisation des composites. Les acteurs français (EADS, PSA, Cetim, Vetrotex) ont pris part à **6 projets Eurêka** contre 8 pour le Royaume Uni, mais leur contribution financière s'élève à **52 M€** (19 M€ pour l'Allemagne et le Royaume Uni).

Dans les quinze projets de recherche **Brite Euram** rattachés au 5^e PCRD et traitant des composites, les **acteurs français** sont présents dans **8 projets** contre 13 pour les acteurs allemands et anglais. Les acteurs français impliqués dans les programmes de recherche du 5^e PCRD sont les **industriels de l'aéronautique** (EADS, SNECMA) ou automobile (Renault) et les laboratoires et centres de recherche (CEA, Ecole des Mines de Douai, Cetim).

Le principal frein évoqué par les industriels français du secteur des composites reste la **mobilisation d'un ingénieur** à plein temps difficile à supporter pour une petite structure. Par ailleurs, les PMI de transformation des composites n'ont pas toujours une vision claire des apports d'un programme européen.

2 R&D ET SAVOIR-FAIRE TECHNOLOGIQUES FRANÇAIS

2.1 Les centres de recherche français

En France, les principaux spécialistes des centres de recherche universitaires traitant des matériaux composites se sont **répartis suivant leur spécialités** et sont :

- pour les centres de recherche universitaires : École des Mines de Douai, École des Mines de Paris (Sophia Antipolis), ENS Cachan, INSA de Lyon, CEA, ENSAM ;
- pour les centres de recherche industrielle : l'**Onera**, le **Pôle de Plasturgie de l'Est** (PPE), le **Pôle Européen de Plasturgie** (PEP), **Compositec**, **Saint Gobain** (Vetrotex), IFTH, Cetim.

La notoriété des centres français de recherche est **faible** à l'étranger et parmi certaines multinationales françaises, par rapport à celle de certains centres de recherche européens : **IVW** de Kaiserslautern, EPFL de Lausanne, IKV d'Aix la Chapelle et l'université de Delft.

2.2 Coopération industrie/centres de recherche

La collaboration entre universités et PME/PMI du secteur des composites est pour une grande partie réalisée à partir de **stages** de techniciens et ingénieurs. Une coopération plus étendue, dans le cadre d'une **thèse** par exemple, se heurte, de la part des PME/PMI à des difficultés telles que :

- la différence parfois entre la **durée des interventions externes pour les projets** des PMI transformatrices (de l'ordre de 6 mois) et la durée des thèses (3 ans)
- la crainte des PME/PMI de voir les connaissances acquises par le chercheur lors de sa formation perdues au bénéfice de leurs concurrents.

Les centres de recherche industrielle ont développé des modes de collaborations avec l'industrie très différents en fonction des objectifs poursuivis :

- les **centres nationaux spécifiques** (Compositec, [PPE](#)) collaborent en particulier sur des projets à **long terme** et plutôt avec des organisations de grande taille ;
- les **CRITT** et les **CRT** travaillant sur les composites (notamment Poitou-Charentes, Picardie, ISPA) réalisent en **quelques semaines** des études sur un problème technique ponctuel qui répond, en général, à un besoin exprimé par une PME/PMI.

3 POSITIONNEMENT DE LA FRANCE

3.1 L'offre français de matières premières

En amont de la transformation des composites, l'offre française en fibres, en résines et en semi-produits manque de cohérence face aux producteurs allemands, américains et japonais :

- l'offre française de l'industrie chimique se limite aux résines de base (polyesters, etc.)
- les résines plus élaborées (époxy) hors polyamides (Rhodia, Atofina) sont fournies par des producteurs étrangers.

La production de **fibres de carbone** est essentiellement maîtrisée par les japonais mais est partiellement réalisée en Europe sous licence japonaise par Soficar (Toray) ou Accordis (Tenax). Zoltech est une société hongroise émigrée aux USA.

Seule la **production de fibres de verre** (Saint Gobain - Vetrotex) est maîtrisée par des acteurs français. Dupont de Nemours et ENKA (Allemagne) maîtrisent la fabrication de fibres d'aramides, respectivement sous le nom de Kevlar® et Twaron®

Bien que la compression SMC/BMC représente le tiers des composites transformés en France, la production française de **semi-produits SMC/BMC**, essentiellement réalisée par Inoplast, est encore marginale par rapport à celle des allemands (Lorenz, Menzolit), et américains (BMC Inc., Premix).

3.2 Evaluation qualitative de l'offre française

La qualité de l'offre française, par secteur, peut être évaluée suivant la maîtrise des technologies de transformation incontournables (utilisées ou à maîtriser) par secteur et des moyens de **mise en**

conformité aux contraintes connexes, comme le recyclage. Une notation comparative de la qualité de l'offre technique est proposée dans le tableau suivant. Une difficulté à satisfaire une contrainte connexe peut donc conduire à un "déclassement" de la note dans un secteur.

Comparaison de la qualité des offres par pays et par secteur

Notation de l'offre	Aéro nautique	Auto mobile	Ferro viaire	Bâtiment	Constr. industrie	Constr. nautique	Matériel médical	Sports & loisirs	Electricité
France	Bonne	Moyenne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Lacunaire	Bonne	Bonne
Europe	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne
USA	Bonne	Moyenne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne	Lacunaire	Lacunaire	Moyenne
Japon	Lacunaire	Lacunaire	Moyenne	Bonne	Bonne	Moyenne	Bonne	Bonne	Bonne

3.3 Maîtrise des procédés

L'industrie française de la transformation des composites possède dans l'ensemble une bonne maîtrise des procédés de transformation, mais son implication dans leur simulation est insuffisante.

Le secteur français de la transformation des composites bénéficie d'une **avance technologique** par rapport aux autres pays européens ou mondiaux dans les procédés de transformation utilisés, à l'exception de la **pultrusion**, qui constitue la principale faiblesse de l'industrie nationale.

L'implication des acteurs français dans le développement de programmes pour améliorer la simulation des procédés et du comportement des composites est inégale, en particulier pour le développement des **composites intelligents** intégrant des **fibres optiques**.

3.4 Points forts de la R&D française

Les principaux points forts concernent les procédés RTM et l'utilisation des renforts filamentaires en verre ou Aramide :

Exemples de pôles de compétences français

Spécialité	Centre de recherche	Industriels
Résines	INSA Lyon	Atofina Rhodia
Renforts	IFTH	Vetrotex (verre) Rhodia (Aramide)
Procédé RTM	Mines de Douai Pôle de Plasturgie de l'Est	Sotira
Procédé SMC	Compositec	Inoplast Menzolit
Composites TP	Pôle Européen de Plasturgie	Vetrotex, Schappe
Simulation et caractérisation	Mines de Douai ENSAM	EADS ESI
Contrôles non destructifs	ENS Cachan CETIM	EADS

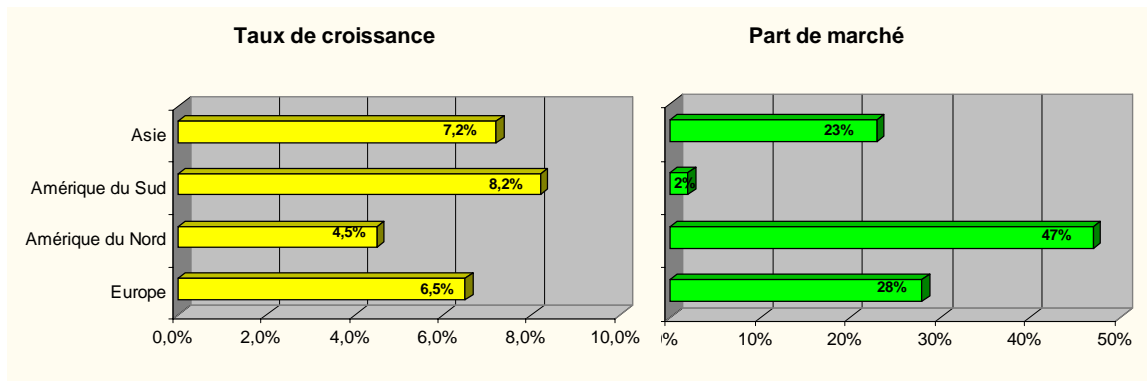
CHAPITRE 5
MARCHES

1 MARCHE DES MATIERES PREMIERES

1.1 Aperçu du marché mondial des composites

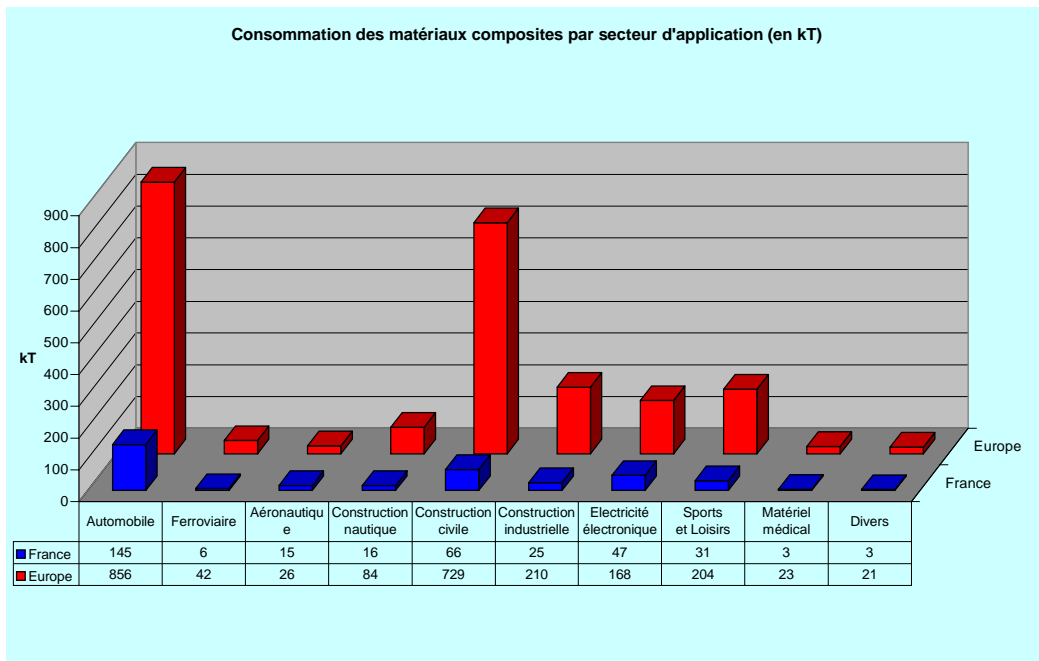
En volume, le marché croît de 5,7% en moyenne par an mais seulement 3% pour les composites TD, contre 9% pour les TP. Le marché mondial des fibres de verre¹ s'établit à **2,5 millions de tonnes en 2000**.

Marché mondial des renforts en fibres de verre



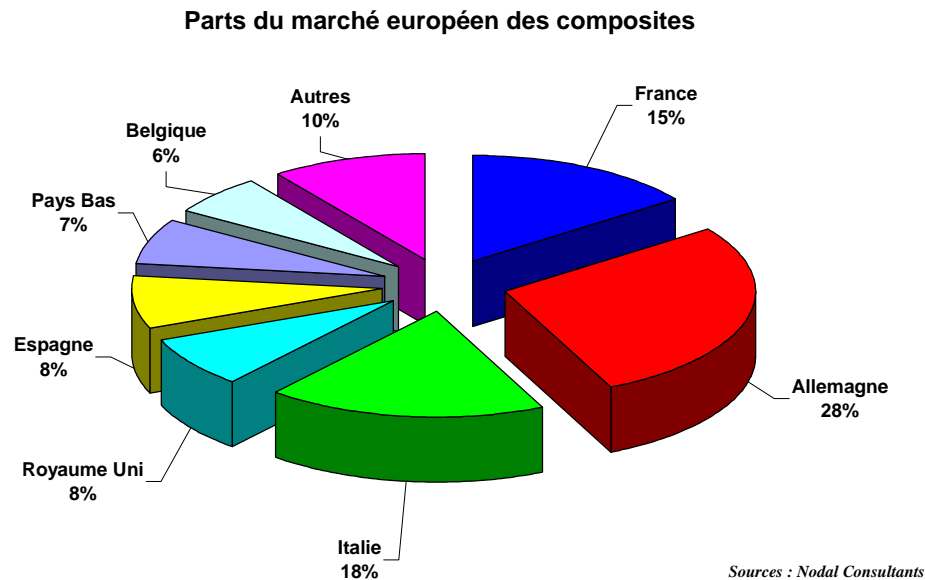
1.2 Répartition par marchés d'application

La consommation mondiale de composites devrait croître de 47% d'ici 2006, passant de 7 millions de tonnes en 2000, à environ 10 millions de tonnes.



1.3 La production des composites en Europe

La part de la production française de composites en volume ne représente qu'environ 15% de la production européenne.



Disparité des poids relatifs des marchés d'application

Application	France	Europe	Japon	Etat Unis	Brésil	Monde
Automobile	36%	32%	13%	30%	22%	25%
Ferroviaire	2%	2%	2%	1%	0%	1%
Aéronautique	4%	1%	1%	1%	3%	3%
Construction nautique	5%	4%	3%	12%	4%	6%
Construction civile	20%	33%	35%	23%	26%	30%
Construction industrielle	8%	10%	14%	13%	32%	10%
Electricité électronique	15%	8%	23%	10%	8%	15%
Sports et Loisirs	8%	8%	7%	8%	4%	8%
Matériel médical	1%	1%	1%	1%	0%	1%
Divers	1%	1%	1%	1%	1%	1%

On constate de grandes disparités, en fonction des applications, dans l'utilisation des composites entre les différentes zones géographiques. Le tableau ci-dessus² présente une comparaison des consommations ; à titre d'exemples :

- en France, l'automobile représente 36% des composites, soit un taux comparable à ceux de l'Europe (32%) et du monde (25%), tandis que le Japon n'en utilise que 13% ;
- dans le bâtiment, les matériaux composites sont nettement plus utilisés au Japon (35%) et au Brésil (32%) qu'en France (21%) ; à noter, toutefois, qu'au Japon l'utilisation des composites dans le bâtiment inclut les aménagements intérieurs (salles de bain monoblocs, etc.) ;
- dans l'ensemble, l'utilisation des composites en France est très comparable à celle observée en Europe ; les disparités sont plus importantes à l'égard de la consommation mondiale.

¹ Sources Vetrotex

² Sources GPIC & Vetrotex).

2 ESTIMATION DU MARCHE DES COMPOSITES

L'évaluation des marchés des secteurs d'application des composites en valeur, qui repose sur les estimations des prix moyens par kilo des composites, est présentée dans le tableau ci-dessous. Le prix de vente moyen des composites varie de moins de 5 €/kg pour les composites GD utilisés dans les secteurs de la construction et de l'électricité, à plus de 38 €/kg pour les composites HP, principalement utilisés dans l'aéronautique.

Les valeurs indiquées sont estimées à partir des entretiens avec les principaux acteurs concernés.

2.1 Estimation des prix de vente par secteurs d'application

Prix moyen des composites par secteur d'application

Type de composite	Secteur industriel	Prix moyen en €/kg
Composites « Grande diffusion »	Divers	3
	Construction civile	4,5
	Electricité/électronique	4,5
	Construction industrielle	5
	Automobile	6
	Ferroviaire	6
	Construction nautique	6
Composites « Hautes performances »	Sports et loisirs	9
	Matériel médical	15
	Aéronautique	38

2.2 Marchés en valeur des matériaux composites en Europe

Pour 1999, et compte tenu des valeurs moyennes estimées ci-dessus, on peut valoriser le marché européen à 12 milliards d'euros et le marché français à un peu plus de 2 milliards d'euros.

Estimation des marchés français et européens par application

	Prix moyen en €/kg	France		Europe	
		Marché (kT)	Marché (M€)	Marché (kT)	Marché (M€)
Automobile	6	108	648	640	3.840
Ferroviaire	6	6	36	40	240
Aéronautique	38	12	456	20	760
Construction nautique	6	15	90	80	480
Construction civile	4,5	60	270	660	2.970
Construction industrielle	5	24	120	200	1.000
Electricité électronique	4,5	45	203	160	720
Sports et Loisirs	9	24	216	160	1.440
Matériel médical	15	3	45	20	300
Divers	3	3	9	20	60
Total		300	2.093	2.000	11.810

En valeur, le secteur français des composites représente 18% du marché européen, contre 15% en volume. Ce positionnement du marché français dans le haut de gamme est largement favorisé par le poids important que représente, en France, l'utilisation des composites dans le secteur aéronautique.

3 PARTICULARITES DU MARCHÉ FRANÇAIS

3.1 Le marché des matières premières

En 1999, le marché français des matières premières (matrices et renforts) destinées à la production des matériaux composites a atteint environ 3,3 milliards d'euros. Cette valeur a été estimée à partir des données de consommation et des prix moyens de vente par kilo des différents composants.

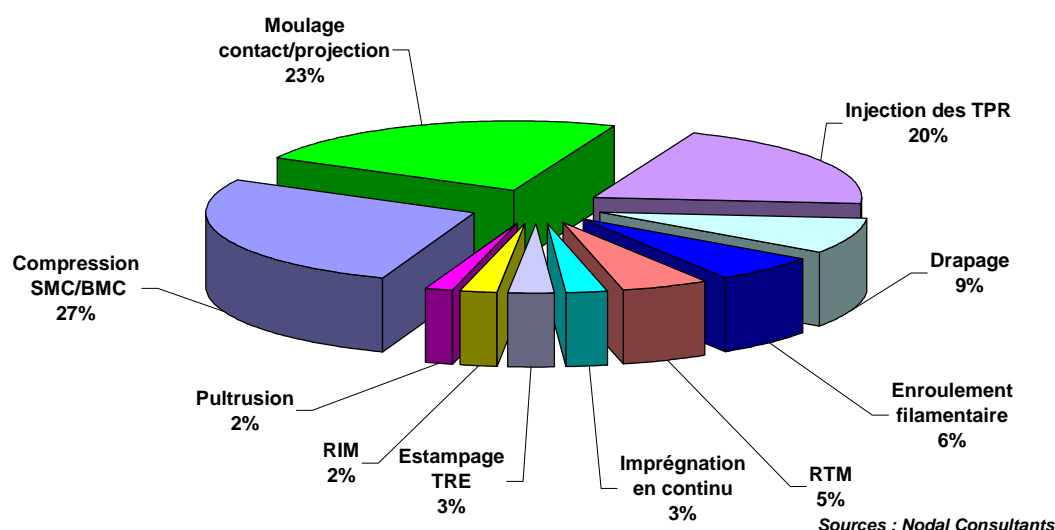
Marché français des matières premières

	Composants	Consommation en kt	Prix en €/kg	Marché en M€
Résines	Polyesters	85	1,5	128
	Epoxydes	10	7	70
	Polypropylène	40	1	40
	Polyamides 6,6-6	25	4	100
Renforts	Fibres de verre	105	2	210
	Fibres de carbone	3	25	75
	Fibres d'aramide	4	20	80

3.2 Répartition par technologie de transformation

La compression SMC et les procédés de moulage au contact représentent plus de 1 milliard d'euros, soit plus de 50% du marché français. Les procédés RTM, RIM et drapage, malgré leur faible utilisation, représentent néanmoins une **part de marché importante** (plus de 100 M€ chacun) du marché français car ils sont utilisés dans la réalisation de composites HP de valeur élevée.

Marché français des composites par procédé



CHAPITRE 6
DEFIS & OPPORTUNITES

1 ENJEUX DES MATERIAUX COMPOSITES

Les premiers composites ont fait leur apparition au cours de la **seconde guerre mondiale**. Leur histoire ne remonte pas à plus de cinquante ans, et ils ont déjà accumulé plus d'une douzaine de procédés de mise en œuvre, soit plus qu'il n'existe de grandes techniques de transformation des métaux développées au cours des 150 ou 200 dernières années.

Aussi, les **transformateurs** rencontrent-ils de **nombreuses difficultés** pour dimensionner leurs produits avec une totale prédictibilité. Le développement d'**outils logiciels** de conception et de simulation constitue un axe important d'évolution tandis que les concepteurs de bureaux d'études et les organismes normatifs de secteurs industriels doivent faire un réel effort pour intégrer, dès le stade de la conception, la spécificité des composites par une approche fonctionnelle permettant de mieux identifier les caractéristiques attendues et demandées aux composites.

Les composites se distinguent des autres produits plastiques de synthèse par des caractéristiques qui leur permettent, avec des propriétés intéressantes d'inaltérabilité et de faible poids, de concurrencer les métaux, grâce justement aux possibilités qu'ils offrent de réaliser un matériau spécifiquement adapté aux performances demandées et d'optimiser le couple prix-performances, au contraire du métal ou du bois qui doivent s'adapter à l'usage que l'on veut en faire. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes. Leur spécificité reste cependant inégalement appréhendée par les concepteurs et leur recyclabilité reste insuffisante. Face aux solutions traditionnelles (bois, acier, aluminium), ils doivent s'imposer par de nombreux atouts fonctionnels.

Comparée aux 18 millions de tonnes de métaux ouvrées chaque année, l'industrie des composites n'est encore aujourd'hui qu'une petite industrie : elle ne représente que 300 à 350.000 tonnes de produits finis. En France, 400 à 450 entreprises consacrent toute leur activité à la transformation des matériaux composites et elles n'emploient qu'une vingtaine de milliers de salariés. Et pourtant, ses applications concernent à peu près toutes les activités humaines : transports (avions, trains, automobiles, bateaux, aérospatiale), sport, électricité et électronique, médical, bâtiment...

La législation sur l'obligation de recyclabilité des composites devrait être mise en vigueur dès 2004 dans le secteur de l'automobile, qui représente plus de 30% de leurs débouchés. Du fait de leur composition hétérogène, la recyclabilité des composites se heurte au problème de la séparation de la matrice et des fibres pour lequel aucune solution satisfaisante n'est encore pleinement opérationnelle, ni économiquement viable. Les résines thermodurcissables ne sont pas réutilisables en tant que telles, la seule valorisation possible est sous la forme de charges à très faible valeur ajoutée pour résines, bitumes et ciments. Les matrices thermodurcissables sont réutilisables, mais les propriétés mécaniques des composites ainsi formés sont dégradées.

Face à l'enjeu majeur que constitue la recyclabilité des composites issus des VHU (véhicules hors d'usage), principal marché d'application des composites en volume, et en dehors de quelques programmes spécialisés et de quelques unités de recyclage, la mobilisation des acteurs de la filière est insuffisante. Une prise de conscience de la part de l'ensemble de ces acteurs semble nécessaire.

Les procédés de transformation des composites en moule ouvert créent d'autres contraintes, liés aux problèmes d'exposition du personnel aux émanations de produits organiques volatils (COV), en particulier le styrène. En Europe, l'exposition admissible est limitée par des réglementations nationales variables d'un pays à l'autre. Sous la pression des industriels scandinaves et allemands, qui appliquent des normes plus strictes qu'en France, une harmonisation des réglementations nationales est évoquée. L'abaissement des normes actuellement en vigueur en France, constituerait, pour les transformateurs en moule ouvert, une contrainte supplémentaire.

L'absence de modélisation et de normalisation précise des matériaux composites peut constituer un frein pour l'optimisation du dimensionnement des pièces face aux matériaux traditionnels, dont la caractérisation fait l'objet de normes nationales ou européennes. La mise en œuvre d'un programme national de caractérisation pourrait, sans doute, permettre de soutenir la crédibilité des composites face à ces matériaux traditionnels aux comportements bien connus et prévisibles.

La spécificité des composites en termes fonctionnels doit être appréciée dès le stade de la conception afin de déterminer les gains apportés en composites par rapport aux solutions alternatives et de prévoir les essais spécifiques à réaliser. La conception fonctionnelle, opposée à la conception par pièce, est encore inégalement intégrée par les bureaux d'études.

Le développement des composites présente un taux de croissance moyen qui est de l'ordre de deux fois celui du PIB ; c'est donc un secteur plein de promesses, en pleine évolution, encore loin d'avoir atteint sa maturité. Il revient à l'ensemble des acteurs de la filière de prendre en main son avenir et de relever les défis qui peuvent entraver son développement.

2 DEFIS SUR L'INDUSTRIE DES COMPOSITES

2.1 Limitation de l'exposition aux émissions de styrène

2.1.1 **Situation actuelle de la réglementation**

Le secteur des composites doit prendre en compte l'éventualité d'une évolution réglementaire européenne limitant l'exposition du personnel aux émissions de styrène (COV) à un seuil maximum de 20 ppm. Le styrène est largement utilisé dans la production des matériaux composites comme solvant et déclencheur de polymérisation des résines thermodurcissables. Ces résines comprennent entre 30% et 50% de styrène.

L'exposition excessive au styrène présente des risques pour l'organisme¹, mis en évidence par de très nombreuses études épidémiologiques. On peut estimer à 6.250 le nombre de salariés exposés quotidiennement au styrène en France².

Des **recommandations nationales** fixant les valeurs moyennes d'exposition (**VME**) ont été définies. Elles présentent actuellement une certaine disparité entre les grands pays industriels. Pour sa part, la France a retenu une valeur de 50 ppm³ et se situe dans une fourchette :

Valeurs moyennes d'exposition par zone géographique

Pays Industriels	VME Période de 8h / ppm
Royaume Uni	100
France ⁴	50
USA	50
Japon	50
Pays Bas, Danemark	25
Allemagne	20
Suède, Finlande	20

¹ Notamment sur le système nerveux central et le comportement psycho-moteur

² "Emissions de styrène : risques, réglementation, solutions", JC Limasset INRS, Lorient juin 1999.

³ ppm = partie par million

⁴ INRS ND 2098-174-99 Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail - N° 174, 1^{er} trimestre 1999

Des travaux actuellement en cours au niveau européen, laissent entrevoir une harmonisation des pratiques nationales, avec un abaissement du seuil à 20ppm.

Compte tenu de la disparité des pratiques actuelles, cette évolution peut constituer une source de tensions entre les transformateurs des différents pays. En effet, les pays nordiques et germaniques, qui représentent 45% de la production de composites en Europe et dont les VME sont déjà à 20 ppm, font pression pour que la future recommandation européenne s'aligne sur cette valeur.

2.1.2 Conséquences envisageables d'une évolution de la VME

Alors même que le respect de la recommandation nationale n'est pas aujourd'hui pleinement assuré, la mise en place au niveau européen d'une VME à 20 ppm pourrait représenter une contrainte supplémentaire pour l'activité des transformateurs en **moule ouvert**, en général des PMI, qui transforment **plus de 20% des composites** en France.

Appliquée unilatéralement en UE, cette limitation de la VME pourrait induire une baisse substantielle des marchés, au profit de pays émergents aux normes **plus souples** (VME>100 ppm), comme le Brésil, avec un risque réel de délocalisation **des activités de moulage au contact**.

Une solution consisterait à encourager le **remplacement** des techniques de transformation en moule ouvert par des **techniques en moule fermé**. Toutefois, les techniques de transformation en moule fermé, par exemple le RTM, **ne peuvent que difficilement se substituer** aux méthodes de moulage par contact ou projection pour les **pièces de grande taille** destinées à l'aéronautique et à la construction nautique. Dans certains secteurs, les composites constituent « le » matériau de remplacement des matériaux traditionnels ; il apparaît **incontournable** pour la fabrication de bateaux de plaisance.

2.2 La législation sur l'obligation de recycler les composites

La législation sur l'obligation de recyclabilité des composites devrait être mise en vigueur dès 2004 dans le secteur de l'automobile, qui représente plus de 30% de leurs débouchés.

L'accord cadre du 10 mars 1993, relatif au retraitement des VHU en France, signé entre les professionnels de l'automobile et les pouvoirs publics, prévoit que :

- les déchets issus du traitement des véhicules retirés de la circulation en 2002 ne devront pas dépasser 15 % du poids du véhicule (ou 200 kg/ véhicule hors d'usage),
- les véhicules mis sur le marché à partir de 2002 seront conçus de manière à ne pas produire plus de 10 % de déchets pendant leur destruction,
- les véhicules mis sur le marché en 2015 ne devront pas produire plus de 5 % de déchets.

2.2.1 Description et implications

Les matériaux composites ne sont pas explicitement classifiés dans la liste de l'OCDE, appelée « liste verte/ambre/rouge » (la liste rouge correspond aux produits les plus dangereux), ni dans la liste de la Convention de Bâle qui distingue deux groupes, A et B, ce dernier étant le plus néfaste.

Non classés dans ces listes, les composites sont **assimilés aux produits des listes les plus contraignantes** (la liste « rouge » de l'OCDE, la liste B de la Convention de Bâle).

De ce fait, l'assimilation *de facto* des composites aux produits considérés comme dangereux pour l'environnement entraîne un certain nombre de contraintes concernant la gestion des déchets des composites, en particulier :

- leur mise en décharge est interdite ;
- la valorisation énergétique par incinération est menacée à terme (2 à 5 ans) ;
- le transport international de ces déchets, vers un centre de recyclage, est soumis à une réglementation stricte.

A l'horizon 2015, la législation prévoit, pour les véhicules en fin de vie (VHU), que :

- 85% des constituants devront être réutilisés ou recyclés ;
- 10% des constituants « verts » pourront être valorisés énergétiquement, mais les composites considérés comme dangereux, ne devraient pas pouvoir être incinérés ;
- 5% des constituants, issus de l'opération de recyclage, pourront être mis en décharge.

La durée de vie d'un véhicule étant d'une dizaine d'année, la modification de gestion du cycle de fin de vie des véhicules automobiles devra être **prise en compte dès 2004** par les constructeurs. L'industrie des composites devra alors **justifier** de solutions de recyclage fiables et éprouvées face à des technologies **concurrentes facilement recyclables**, telles que les aciers spéciaux ou l'aluminium :

En l'absence de solutions de recyclage satisfaisantes, les composites pourraient ne plus jouer **qu'un rôle marginal** dans l'automobile, qui représente pourtant en France 36% de leur débouché : il est donc impératif que des solutions aux problèmes de recyclabilité soient trouvées afin de lever cette hypothèque incontournable.

2.2.2 **Prise en compte des difficultés du recyclage**

Le recyclage des composites thermodurcissables (TD) se révèle difficile car la matrice ne **peut être refondue**, et n'est pas réutilisable sous forme de matière première. Les solutions actuelles consistent à les broyer en poudre utilisable uniquement sous forme de charges à faible valeur dans de nouveaux composites. Ces solutions sont handicapées par leur coût qui rendent les charges obtenues peu compétitives.

Du fait de leur **composition hétérogène** (présence de fibres), le **recyclage** ou la revalorisation des **composites thermoplastiques (TP)** pose les **mêmes difficultés** que les composites TD : la revalorisation la plus simple est sous forme de poudres pour charges et bitumes, mais la charge constituée de composites TP recyclés coûte plus cher que la matière première et son utilisation ne peut pas être directement rentabilisée. La solution consistant à séparer les fibres et la matrice TP, bien que techniquement possible, reste encore très coûteuse.

Le recyclage des matrices TP, même séparées des fibres, est **mal maîtrisé** aujourd'hui car les composites thermoplastiques contenant, par exemple, 25% de matière recyclée ont des **propriétés mécaniques très dégradées** et ne peuvent être utilisés que dans des applications n'exigeant que des propriétés mécaniques très faibles (par exemple, des fauteuils de jardins).

Les transformateurs français n'ont pas, dans l'ensemble, pris conscience **des échéances et des difficultés** posées par le recyclage. Ils n'anticipent pas l'entrée en vigueur prochaine de nouvelles réglementations et, **en l'absence de contraintes réglementaires**, n'envisagent pas de développer de nouvelles solutions ; toutefois quelques initiatives se font jour, notamment :

- en France, dans le cadre d'un programmes de recherche financés par Renault, PSA, Menzolit, Vetrotex, Mécelec a développé une filiale de recyclage (MCR) ;
- en Allemagne, Ercom recycle les composites thermodurcissables pour leur utilisation dans les semi-produits SMC/BMC, mais, compte tenu de la législation sur les transports de produits dangereux, n'envisage pas d'accepter les composites provenant d'autres pays européens.

3 DIFFICULTES POSEES AUX CONCEPTEURS

3.1 La prise en compte de la spécificité des composites

Dès le stade de la conception, la spécificité des composites devrait être prise en compte par les bureaux d'études au moyen d'une approche fonctionnelle permettant de mieux identifier les caractéristiques attendues et demandées aux matériaux composites afin de déterminer :

- les gains en pièces et procédés d'assemblage et les traitements économisés ;
- les essais techniques spécifiquement adaptés aux composites à la place des essais traditionnels.

La conception fonctionnelle, opposée à la conception par pièce est encore inégalement intégrée par les bureaux d'études. Toutefois, une certaine évolution des mentalités des concepteurs est perceptible dans les secteurs de la construction navale, de l'aéronautique et de l'automobile.

Cette **difficulté à intégrer** la spécificité des composites n'est pas propre à la culture française : elle se retrouve dans les pays européens et aux Etats Unis. Dans ce pays, l'association des producteurs de composites CFA, publie des guides et organise des formations, destinés aux non-spécialistes.

3.2 Nécessité de développer des outils de simulation

On a constaté que la recherche sur la simulation du comportement des composites SMC/BMC et des procédés de transformation associés a été pratiquement arrêtée pendant une dizaine d'années.

Dans certains cas, l'aéronautique par exemple, les logiciels de conception, de simulation et de dimensionnement des pièces en composites ont été développés en interne, pour des besoins ponctuels ; les modules qui sont issus de cette recherche sont hétérogènes et mal maîtrisés.

La recherche sur la modélisation des procédés de **compression SMC/BMC**, qui représentent **35% des composites** en France, a été réduite au cours de la dernière décennie, mais reprend progressivement.

Les logiciels de conception les plus couramment utilisés par les transformateurs sont **Composic/Sysply** (ESI), **Molflow**, ou certains logiciels développés par des centres de recherche.

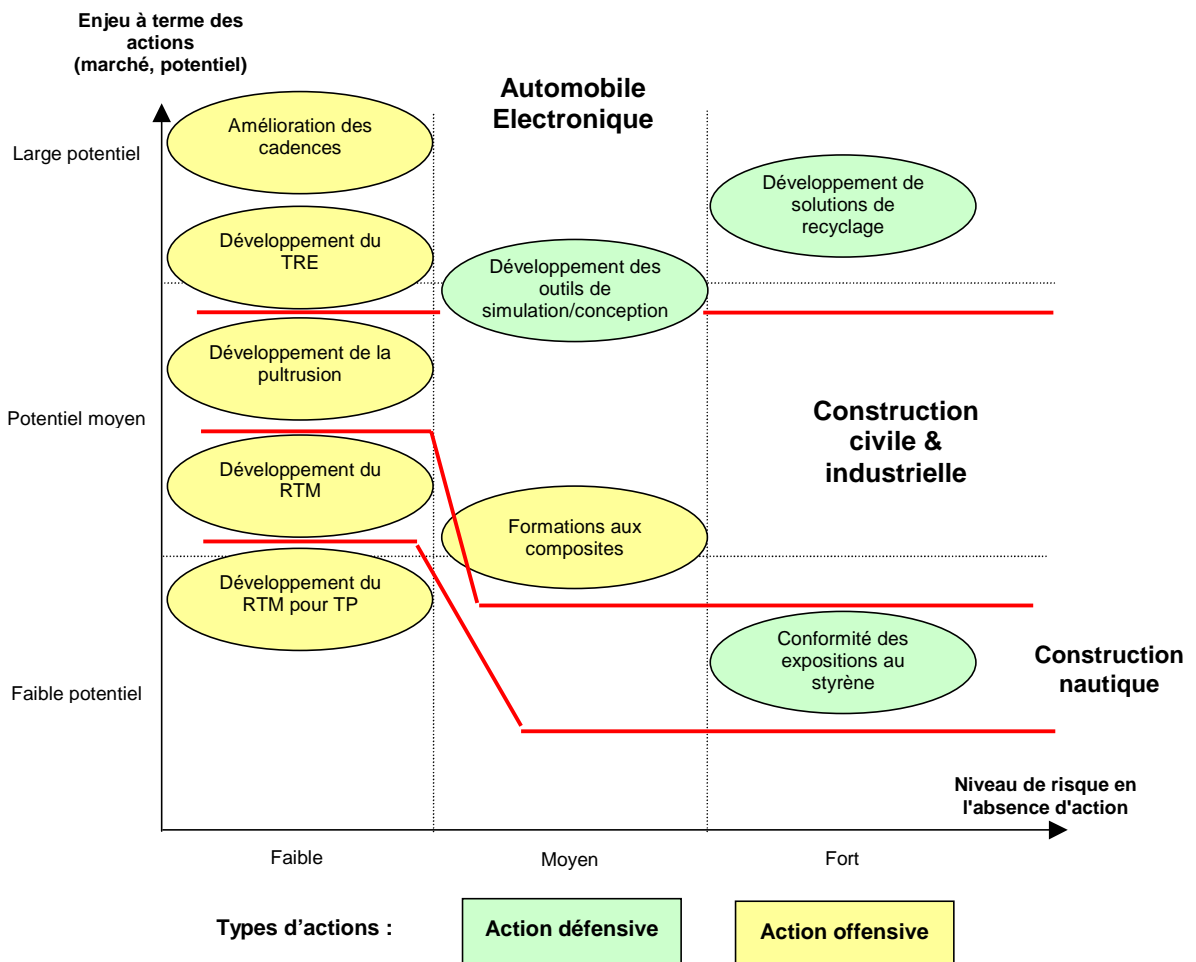
CHAPITRE 7
RECOMMANDATIONS

1 APPUI A LA FILIERE DES COMPOSITES

1.1 Différents types d'actions en fonction de leur objectif

Parmi les actions à entreprendre pour appuyer le développement de la filière composites en France, on peut en distinguer deux types en fonction de leur objectif final :

1. les actions défensives avec pour objectif de **défendre** les composites sur certains marchés,
2. les actions offensives avec pour objectif de les **développer** sur des marchés existants ou nouveaux.



1.2 Choix des appuis au développement de la filière

Le tableau suivant présente la liste des actions envisagées pour assurer le développement de la filière composite classées suivant trois thèmes :

- la gestion environnementale face aux défis industriels,
- le développement de certains procédés, en particulier la pultrusion et le procédé RTM,
- la diffusion de l'approche composite par formation des prescripteurs.

Recommandations

Synthèse des actions d'appui à la filière composite

	Marchés les plus concernés	Taille des marchés concernés	Importance de l'action	Echéance	Situation actuelle en France
Solutions aux défis industriels					
Développement de solutions de recyclage à grande échelle	Automobile Electricité	108 000 tonnes 45 000 tonnes	Essentielle Souhaitable	2004	Solutions existantes mais isolées
Mise en conformité des émissions de styrène avec les directives européennes	Construction nautique Construction	18 000 tonnes 12 000 tonnes	Essentielle Souhaitable	2003	Emissions supérieures de 20 ppm à l'objectif
Développement/perfectionnement des outils de simulation et de conception	Tous les marchés sauf aéronautique	288 000 tonnes	Souhaitable	2003	Retard technologique partiel sur d'autres pays européens
Amélioration des cadences pour compatibilité avec des grandes séries	Automobile Electricité	108 000 tonnes 18 000 tonnes	Souhaitable	2005 2008	Cadences adaptées aux moyennes séries
Développement et perfectionnement de nouveaux procédés					
RTM	Aéronautique Construction nautique Automobile	12 000 tonnes 18 000 tonnes 108 000 tonnes	Souhaitable	2003 2003 2005	Procédé déjà utilisé mais encore minoritaire
Composites thermoplastiques TRE	Automobile	108 000 tonnes	Essentielle	2005	Procédé utilisé mais minoritaire
Procédés Thermoplastiques « HP » de type RTM	Sports et loisirs Aéronautique Matériel médical	18 000 tonnes 108 000 tonnes 3 000 tonnes	Souhaitable Souhaitable Essentiel	2005 2005 2005	Retard technologique relatif en France
	Pultrusion	Construction	12 000 tonnes	Essentielle	2005
Diffusion de l'approche composites					
Formation des bureaux d'études	Ferroviaire Matériel médical	6 000 tonnes 3 000 tonnes	Souhaitable Souhaitable	2005 2005	Approche fonctionnelle insuffisamment appréhendée
Formation des prescripteurs techniques	Construction	12 000 tonnes	Essentielle	2005	Réserves du CSTB et des architectes

2 SOLUTIONS AUX DEFIS INDUSTRIELS POSES PAR LES COMPOSITES

2.1 Programme de développement du recyclage¹

Le recyclage des SMC devrait recevoir un appui de l'ensemble des acteurs de la filière, transformateurs et fournisseurs de matières premières, avec pour objectif d'être en mesure de retraiter 80 000 tonnes/an de matériau en 2005.

Le programme Valcor, initié dès 1994 par PSA, Renault, et des acteurs de la filière composite (Faurecia, Valeo, Matra) pour développer des programmes de recyclage des matériaux composites issus de l'automobile devrait être renforcé afin d'être en mesure de :

- concerner **l'ensemble des transformateurs des composites** utilisés par l'industrie automobile :
- recycler **la totalité des composites SMC/BMC** en France pour l'automobile (40.000 tonnes/an)

Dans le secteur de l'électricité, les nouvelles réglementations devraient également imposer à moyen terme l'obligation de recyclage des matériaux composites. Le tonnage annuel à traiter pourrait alors atteindre entre **80 000 et 100 000 tonnes** de semi-produits SMC/BMC.

Pour résoudre à grande échelle, le défi posé par le recyclage, deux actions pourraient être envisagées :

- **élargir les activités de l'Association Valcor**² à l'ensemble de l'industrie des composites, intégrant, en particulier, les procédés SMC/BMC, très concernés par l'industrie automobile et par les impératifs du recyclage,
- **mettre en place**, dans un Centre Technique existant, **un centre d'étude du recyclage** des composites par types de matériaux : Valcor et MCR pourraient alors être intégrés comme partenaires de ce Centre d'étude.

Resterait toutefois à définir le mode de financement de ce Centre afin de mettre en place les outils permettant de :

- **mutualiser les efforts de R&D** de l'ensemble des acteurs de la filière sur le thème du recyclage et de rendre accessible aux **petites structures** des programmes de recherche de taille significative permettant de maintenir leur activité,
- réaliser les **investissements initiaux** indispensables pour la création d'une unité de recyclage de SMC/BMC,
- **soutenir la capacité d'innovation** du centre et de l'unité de recyclage en réduisant son besoin en financement ; le chiffre d'affaires de la vente des matériaux recyclés pourra être réinvesti dans une augmentation de capacité.

¹ Voir l'analyse du problème au Chapitre 6 sur la situation actuelle de la réglementation française.

² Le Grand Programme Innovant (GPI) Valcor réunit PSA et Renault ainsi que 10 autres partenaires industriels pour développer des techniques de valorisation des matériaux composites à base de polyesters insaturés. Les voies explorées visent la réutilisation des broyats fibreux dans les bétons, bitumes et thermoplastiques. Ce programme est à l'origine de la mise en place, en 1994, d'une unité de recyclage industrielle (Mecelec Recyclage) capable de traiter 3 000 tonnes par an.

Le principal marché des composites concerné par des actions de recyclage représente en France **108 000 tonnes**, soit environ 650 M€ La réussite de cette opération donnerait au marché de l'automobile la possibilité de se développer et d'atteindre 900 M€ à l'horizon 2006.

2.2 Sensibilisation à la mise en conformité des installations¹

Face à l'évolution réglementaire envisageable et à la pratique actuelle, la diminution de l'exposition au styrène constitue un enjeu important pour l'industrie française des composites et notamment pour les **secteurs de l'aéronautique** et de la **construction nautique**. Il paraît indispensable d'inciter les transformateurs de composites utilisant les méthodes de transformation à moule ouvert à évoluer vers des procédés de moulage sous vide ou des procédés de type RTM, plus respectueux de l'environnement.

Il ne semble cependant pas que le styrène soit à l'ordre du jour des discussions du SCOEL². Pour l'instant la valeur limite applicable en France est la valeur indicative de 50 ppm, soit 215 mg/m³ sur 8 heures (identique aux limites admises aux USA). Toutefois, si une évolution réglementaire de l'abaissement de la VME à 20 ppm devait se confirmer, il appartiendrait aux industriels de prendre les mesures permettant de mettre leurs installations en conformité.

Les organisations professionnelles auraient un rôle important à jouer pour s'assurer de la **compatibilité** de la nouvelle réglementation européenne avec les **capacités techniques** et financières des transformateurs français. Elles auraient à mener des actions **auprès des transformateurs** pour les inciter à **évoluer et à innover** vers des procédés plus respectueux de l'environnement. Elles pourraient consister à la mise en place d'un **accompagnement technique**, proposé par une cellule spécialisée au sein du GPIC.

En amont, la formulation par les fournisseurs de résines à faible taux de styrène constitue également un axe d'amélioration à encourager.

Un des marchés très concerné par ces mesures est constitué par le secteur de l'industrie nautique, qui représente, en France, **18 000 tonnes** soit environ 70 M€³ ; ce marché est, en effet, tout particulièrement menacé, car très dépendant de l'utilisation des matériaux composites, pour lesquels il n'existe plus, aujourd'hui, de solutions économiques de remplacement.

3 DEVELOPPEMENT ET PERFECTIONNEMENT DE PROCEDES INNOVANTS

3.1 Appui au développement de l'estampage TRE

En France, l'appui au développement de la technologie d'estampage TRE devrait rendre l'offre française plus compétitive dans l'industrie automobile.

L'estampage de semi-produits TRE pourrait constituer une **solution alternative de la compression SMC** pour l'industrie automobile. Il est encore peu répandu en France (de l'ordre de 3%). L'appui au développement de l'estampage TRE permettrait de donner au secteur français des composites une **avance technologique** dans un marché GD et de faciliter le développement des composites TP, au développement prometteur.

¹ Voir l'analyse du problème au Chapitre 6 sur la situation actuelle de la réglementation française.

² *Scientific Committee on Occupational Exposure Limits*, groupe européen géré par la direction Emploi-Affaires sociales de la Commission.

³ Estimation Nodal

Un programme de recherche pour l'**industrialisation des composites TRE** pourrait réunir les acteurs de la filière concernés par le marché automobile : **constructeurs**, groupes industriels de chimie, transformateurs, éditeurs de **logiciels de simulation**.

Grâce à un développement rapide des équipements de production, le marché des composites TRE pourrait croître de 15% par an et représenter 18 000 tonnes en France en 2006, soit environ 108 M€

3.2 Développer la pultrusion dans le secteur du bâtiment

En France, pour que la pultrusion puisse se développer, il sera nécessaire de sensibiliser les acteurs de la construction à l'égard d'une meilleure utilisation des matériaux composites (Ministère de l'Equipement, CSTB, industriels).

Les éléments pultrudés sont essentiellement utilisés dans la **construction et le génie civil**. Le développement de ce procédé devrait rendre l'offre des composites **plus convaincante** dans le BTP.

Les mesures d'incitation à l'égard des industriels pour la prise en compte des avantages et contraintes du procédé devrait déboucher sur la réalisation **des cahiers des charges** spécifiques.

L'objectif du développement de la pultrusion en France pourrait être de une part d'environ 10% des composites en France, soit **environ 30.000 tonnes**. Le marché induit pourrait atteindre 135 M€

4 DIFFUSION DE L'APPROCHE COMPOSITE

4.1 Promouvoir l'utilisation des composites dans le bâtiment

Inciter les entreprises de construction à investir dans la création de centres de R&D internes devrait permettre à la profession d'acquérir une meilleure compréhension des spécificités des composites et de leurs applications.

Dans leur ensemble, les concepteurs du bâtiment et de la construction industrielle méconnaissent les propriétés spécifiques des composites et de leurs applications dans leur domaine de compétence ; en France, cette situation est aggravée par le sous-dimensionnement **des centres de R&D internes** des entreprises du BTP.

Une structure interne de R&D, propre aux entreprises de construction leur permettrait de développer leur connaissance sur les composites et d'appréhender l'impact des avancées technologiques sur leur activité. De plus elles pourraient développer une **expertise technique** leur permettant de participer activement à la définition des normes techniques

Les entreprises de la construction pourraient également être incitées à confier des programmes de développement à des laboratoires externes ou à s'équiper de structure de R&D par des actions de :

- communication : publication des meilleures pratiques de R&D à l'étranger dans la construction
- soutien à la recherche : présentation des mesures d'aide et de leur utilité.

Une approche plus fonctionnelle des spécificités des composites par les sociétés de construction permettrait de développer massivement leur utilisation dans la construction. Le marché supplémentaire ainsi créé pourrait atteindre en France **42 000 tonnes** de composites, soit près de 200 M€

4.2 Former les concepteurs à l'analyse fonctionnelle

Les concepteurs des bureaux d'études, familiers des matériaux traditionnels, devraient être formés à l'analyse fonctionnelle, indissociable de la culture technologique des composites. En outre, elle constitue un moyen d'accroître la valeur ajoutée par les transformateurs.

La prise en compte de la spécificité des composites doit être encouragée par une **formation au niveau des écoles d'ingénieurs** et des bureaux d'études, afin d'assurer l'émergence d'une **culture « composite »** qui puisse prendre la place qui lui revient à côté des cultures technologiques traditionnelles (bois, béton, acier).

Une formation adaptée des concepteurs peut comporter plusieurs étapes et traiter d'aspects complémentaires intimement liés incluant, par exemple, une initiation aux **concepts de l'analyse fonctionnelle**, la présentation des caractéristiques et des performances comparées des **composites et de leur spécificité** et de ses apports à la conception des pièces et sous-ensembles.

La formation des concepteurs, assurée aux Etats Unis par le CFA, par des publications et des colloques, pourrait être assurée en France par le GPIC.

5 INCITER LES ACTEURS A S'IMPLIQUER DANS LA RESOLUTION DES PROBLEMES DE LA FILIERE

5.1 Inciter les PMI à participer à des programmes de R&D

Les PMI de la filière des composites ont besoin d'être accompagnées dans le maquis des procédures et de disposer, à travers le GPIC ou lors du JEC, d'une présentation claire des dispositifs d'aides dont elles peuvent bénéficier. Dans leurs démarches d'appui à la recherche, les Pouvoirs publics pourraient mettre en place des moyens d'incitation pour aider les PMI qui recherchent des technologies innovantes à :

- privilégier des collaborations avec les centres de recherche nationaux (Ecole des Mines de Douai, Pôle de Plasturgie de l'Est) en remplacement d'actions internes de développement qui sont souvent peu efficaces parce que trop limitées par la taille des entreprises ;
- participer davantage aux **programmes français ou européens** (Eureka, Craft, Performance, ex-Brite Euram) orientés vers la solution d'un besoin fonctionnel de secteur d'application spécifique (composites pour l'automobile, la construction) dans lequel les composites seront **valorisés selon des critères d'analyse fonctionnelle**.

Une présentation des différents leviers d'aide à l'innovation et des axes d'appui dans l'industrie des composites pourrait également être effectuée à travers les canaux de communication spécialisés : les revues (*Composites International*), salons (*JEC*) où des organisations professionnelles (GPIC).

5.2 Associer les fournisseurs de matières premières à la R&D

En **amont de la filière** des composites, les fournisseurs de matière première - les fournisseurs de **résines** (Rhodia, Atofina) et les fournisseurs de **fibres de verre** (Vetrotex), d'aramide (Rhodia) ou de carbone (Soficar) – devraient être **associés plus étroitement et systématiquement** aux programmes de recherches concernant les matériaux composites :

- ils pourraient ainsi se rapprocher des transformateurs de composites, appréhender leurs difficultés concrètes et formuler de nouveaux matériaux mieux adaptés à leurs besoins ;
- une coopération approfondie avec les transformateurs, directement en **contact avec des clients finaux**, permettrait de mieux répondre aux exigences **fonctionnelles**
- les moyens financiers et la capacité de R&D permettraient d'apporter à la filière composites les moyens et la structure indispensable pour soutenir l'effort de développement des transformateurs, dont les moyens sont trop dispersés et les capacités financières trop limitées.

Les fournisseurs de matière première apporteraient, ainsi, une contribution significative à la réflexion de la profession concernant les menaces qui pèsent sur l'industrie de transformation des composites, celle-ci représentant, ne l'oublions pas, une part non négligeable de leur marché (environ 5% en France).

5.3 Développer des outils de caractérisation

La mise en œuvre d'un programme national ou international de caractérisation pourrait, sans doute, permettre de soutenir la crédibilité des composites face aux matériaux traditionnels aux comportements bien connus et prévisibles. L'absence de modélisation précise constitue, en effet, un **frein pour l'optimisation** de la quantité utile de matière et du dimensionnement des renforts des pièces en matériaux composites. L'absence de modélisation et de normalisation précise constitue un **frein pour l'optimisation** du dimensionnement des pièces en matériaux composites.

La normalisation incomplète des composites peut, dans certaines applications, constituer un **handicap par rapport aux matériaux traditionnels** aux comportements bien connus ; ceux-ci ont ainsi réussi à récupérer certains marchés, comme celui des équipements de voitures dans le secteur ferroviaire.

Il ne semble pas qu'une caractérisation systématique des composites ait jamais été entreprise à l'**échelle nationale ou internationale** ; toutefois, quelques programmes locaux partiels de caractérisation sont actuellement en cours de développement par l'IFTH et EADS. La FAA (équivalent américain de la DGA) met à la disposition des transformateurs pour l'aéronautique, le spatial et la défense, une base de données de caractérisation des matériaux composites.

5.4 Renforcer les organismes professionnels

Les organisations professionnelles de la filière composites devraient se renforcer afin de disposer d'une taille leur permettant de jouer un rôle significatif lors des négociations avec les instances réglementaires tant en France qu'en Europe.

Du fait de leur taille et de leur dispersion, les PMI de transformation des composites ne disposent pas d'un grand pouvoir de négociations ; elles sont prises en tenaille entre deux groupes qui exercent de fortes pressions en sens inverse : les **fournisseurs de résines** et les **clients finaux**.

Seulement **un tiers des transformateurs** de composites (environ 400) sont regroupés au sein du GPIC, qui du fait de sa taille réduite ne peut jouer un rôle de **représentation et de décision** auprès des partenaires externes de l'industrie des composites.

Une organisation professionnelle représentative de l'industrie des composites pourrait avoir un prolongement par la création d'une fédération **européenne puissante**, participant à la définition des normes et des axes de programmes de recherche internationaux et disposant d'un pouvoir important de négociation auprès des instances européennes. Actuellement, le GPRMC, réduit à sa plus simple expression, ne peut guère rivaliser avec des organisations professionnelles puissantes, tel l'EuPC qui représente environ 30.000 PMI de la plasturgie en Europe.