

L'Institut Supérieur de Technologie (IST) est une formation d'ingénieur généraliste en apprentissage alternant périodes de formation et missions en entreprise. La démarche pédagogique de l'école est d'apprendre par les projets. Dans ce cadre, la Gestion de Projets et la Formation Humaine proposent la construction d'une journée à thème technique. Cette journée est l'occasion de mettre en place des rencontres privilégiées avec des professionnels et des universitaires. Il s'agit par cette méthode, d'amener les étudiants à se questionner sur les différents enjeux techniques, sociaux et économique. La journée du 29 mai 2007, sur les matériaux composites, clôture un cycle de recherche sur 6 mois. Le matin, des stands ont été animés par les étudiants, et l'après midi des débats ont été organisés entre experts du domaine professionnels et universitaires.

Notre société dite « de consommation » oblige les industries à toujours aller de l'avant, à se développer dans l'optique d'une amélioration perpétuelle. Ceci dans le seul but de survivre et de conquérir « des marchés ». Les matériaux composites font alors l'unanimité. Parce qu'ils peuvent être façonnés en ajustant leurs propriétés aux exigences spécifiques d'une application, ils constituent des solutions de choix dans des secteurs aussi variés que les transports (automobile, aéronautique, ferroviaire, naval militaire et de plaisance), le bâtiment, la mécanique, l'électrotechnique, les sports et loisirs, et le matériel paramédical.

Selon le dossier Industrie et Technologie¹ : « *Que vous officiez dans le secteur de l'automobile, de l'aéronautique ou de l'espace, dans les sports et loisirs ou encore dans le BTP, vous utilisez déjà où vous viendrez un jour aux matériaux composites* », la filière des composites a pris ces dernières années un essor considérable, elle se présente aujourd'hui comme l'une des concurrentes principales de la filière des métaux. Or que connaissons-nous de ces nouveaux matériaux qui, dans un contexte de développement durable, transforment nos objets, nos produits, nos usages. Autrement dit, pourquoi les matériaux composites se développent si rapidement au point de créer des filières spécialisées accompagnées par des engagements publics et privés ? Quelles incidences ces filières ont-elles sur le développement économique local, national et international ?

Cette synthèse n'a pas pour ambition de définir les matériaux composites d'un point de vue scientifique et technique. Son objectif est d'établir un état des lieux des enjeux et du recyclage en présentant de manière synthétique les points de vue échangés lors de cette journée.

Définition des Matériaux Composites

Le **matériau composite** est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion). Le nouveau matériau ainsi constitué possède des propriétés que les éléments seuls ne possèdent pas. Il est constitué d'une ossature appelée **renfort** qui assure la tenue mécanique et d'une protection appelée **matrice** qui est généralement une matière polymère (résine thermoplastique ou thermodurcissable) qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers le renfort.

Nous pouvons distinguer deux familles de composites :

- Les composites de "**Grande Diffusion**"(GD), les plus courants sont constitués de résines polyesters avec des fibres de verre. Ils représentent actuellement les plus gros volumes de l'emploi avec un bon compromis performance/coût, voisin de ceux des métaux.
- Les composites à "**Haute Performance**"(HP), moins courants, sont issus surtout des associations de fibres longues de verre, carbone, ou aramide avec des résines époxydes, ou de thermoplastiques

¹ Industrie & Technologie – Dossier du 20/07/2006, n°880 - <http://www.industrie-technologies.com>

spécifiques. Ils sont assez onéreux et sont utilisés pour des applications particulières qui demandent des comportements spécifiques.

Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels : mécanique (rigidité, résistance à la fatigue), chimique (résistance à la corrosion) et physique (alléger les structures, isoler de la chaleur, de l'électricité). Ces principales performances peuvent être résumées par leur légèreté, leur maintenance réduite, leur durée de vie plus longue et leur liberté de mise en forme. Ce produit s'adapte aux innovations et permet de créer de nouveaux marchés.

Sur le marché mondial, les composites croissent d'environ 6% par an depuis 1994. La production pourrait atteindre 10 millions de tonnes en 2006 selon les estimations de Nodal Consultant. Malgré leurs qualités reconnues, leur chiffre d'affaires (2,5 M€) est bien loin derrière les métaux (23M€), les plastiques (26M€).

Contexte / Secteurs d'activités

Les matériaux composites sont de plus en plus présents dans notre environnement ainsi que dans de nombreux domaines d'activités. Les principaux secteurs porteurs sont les industries du sport et des loisirs, aéronautique et médical. On estime que ces secteurs pourraient croître de 5 à 10% par an. Les secteurs de l'automobile, de la construction civile et nautique ont eux, un développement incertain. Les secteurs de la construction électrique, industrielle et ferroviaire ont un développement stabilisé et répondent à une croissance de 2% l'an.

Nous nous intéresserons principalement aux matériaux composites à matrices therm durcissables au regard de l'importance des enjeux de développement industriel et du devenir des déchets de ces matériaux. Nous observerons plus particulièrement évoqué les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile.

L'aéronautique utilise principalement des composites « hautes performances » constitués d'une matrice époxyde associée à un fort taux de renforts en fibre de carbone. Malgré un coût élevé, ils permettent la fabrication de pièces de structure primaires pour leurs performances, leurs qualités de légèreté et leurs souplesses de forme. Ils affichent également une bonne résistance à la corrosion ce qui devrait réduire à terme les frais de maintenance. De plus, les composites allègent la structure de l'avion et améliorent la rentabilité des appareils. L'utilisation des composites passe progressivement de pièces de structure secondaire à des pièces à fortes exigences mécaniques; aujourd'hui certaines pièces principales de la structure des avions sont en composite. Les avantages pour l'avionneur d'utiliser les composites s'expliquent par leur résistance au feu et limitent ainsi les émissions toxiques, tout particulièrement pour les composites à matrice époxyde. De plus, les composites permettent d'adapter le matériau aux fonctions de la pièce en utilisant des pièces multifonctions ; ils évitent la pose de multitude de rivets source de faiblesse. Cependant, les méthodes d'assemblage de pièces en composite et leur médiocre résistance aux chocs constituent les principaux handicaps des composites dans le secteur aéronautique.

Le secteur de l'automobile utilise à 95% des composites therm durcissables à résine polyester et fibres de verre. Les avantages des composites dans ce secteur relèvent d'une facilité d'entretien, une grande liberté dans la conception et un gain dans la consommation d'énergie dû à une réduction de poids. Les constructeurs automobiles ne semblent pas pressés d'adopter les composites dans la structure des véhicules tel qu'on peut

l'observer dans l'aéronautique. En effet, ils avancent des arguments techniques et économiques qui les laissent en situation d'attente face au marché. Avec la montée en cadence de l'aéronautique, la fibre de carbone subit une véritable augmentation de son coût sur les marchés mondiaux. Cette instabilité économique freine l'engouement pour les matériaux composites. Une autre réticence renvoie au contrôle de la qualité en production et les possibilités de réparation. L'avenir des matériaux composites dans l'automobile pourrait passer par le développement de fibre naturelle comme le chanvre pour obtenir un composite moins cher.

Enjeux Techniques

Les matériaux composites imposent, de par leur composition fibre/matrice, un grand bouleversement dans les industries. En effet, toutes les étapes spécifiques à leur emploi requièrent un profond changement d'état d'esprit par rapport aux matériaux classiques.

Du point de vue de la fabrication, les matériaux composites sont une grande avancée. Ils permettent d'obtenir un produit pratiquement fini sans nécessiter une succession d'usinages. Cependant, il est très difficile, voire impossible, de reprendre la pièce pour y effectuer d'autres opérations. Le choix du procédé de transformation est guidé à la fois par la nature du matériau (thermoplastique ou thermodurcissable), la forme de la pièce à réaliser, les performances visées et les impératifs de production en terme de quantité et de cadence.

Contrairement aux matériaux monolithiques, la conception de pièces en composite demande de connaître précisément la future utilisation. Du fait de l'anisotropie de la structure (cas des renforts à fibres longues), le concepteur doit s'assurer que la pièce résiste à tous les modes de sollicitations. Les matériaux composites imposent aussi un grand nombre de procédures particulières. La validation à l'aide d'essais à chaque étape de conception (choix des fibres, de la résine, adhésion entre les deux, ...), appelée « Pyramide d'essais », est primordiale lors de l'étude de pièces en composite (P. MESLEM, Assystem France).

En conséquence, ils requièrent des efforts d'équipements (salles blanches, ...) et une formation spécifique du personnel.

Enjeux Economique et Social

Aujourd'hui, les matériaux composites coûtent chers tout au long de leur cycle de vie. Les entreprises qui s'y engagent sont obligées de penser le produit dans son processus global. Il est nécessaire de « Penser Composite » (P. OLIVIER¹). Cela engendre donc des coûts plus élevés à la vente des pièces².

Un des problèmes économiques principal de ces matériaux est la gestion des déchets. Un gain financier serait possible grâce à une vente des déchets (C. CARRE)³. Il s'agirait de faire des économies en ne produisant pas de déchets ou en minimisant le coût de la collecte (B. PEREZ)⁴.

A. PARISSÉ⁵ nous a démontré qu'une entreprise se fait payer pour vendre ses déchets d'aluminium ou d'acier, alors qu'il est nécessaire de payer pour faire recycler du composite, de 300 à 1200 € la tonne.

¹ Philippe OLIVIER : Maître de conférence à l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Membre de l'AMAC (Association pour les Matériaux Composites).

² « le coût des matériaux traditionnels comme l'acier, le bois ou l'aluminium est de 1,5 à 5 € par kg, et celui du composite est de 3 à 38 € », Extrait de l'étude Digitip 2001 réalisée par le groupe Nodal Consultant

³ Christophe CARRE : Airbus France

⁴ Bernard PEREZ : Sita Solving

⁵ Alain PARISSÉ : Compositec

De plus, au niveau régional, plusieurs projets ont été mis en place afin de promouvoir le développement des entreprises. L'Etat et la région ont dépensé 23,5M€ pour le Plan ADER¹ qui a pris fin en décembre 2004 : il a permis de financer plus de 1000 projets pour 429 PME sous-traitantes. Le Plan ADER II a le même objectif, mais il doit aussi aider à la création d'entreprises, ce qui nécessite des investissements dans des équipements coûteux. En 2007, la DRIRE et la Région Midi-Pyrénées amplifient leur soutien à la filière composite régionale en poursuivant le projet « Objectif Composite », lancé en 2006. Ce projet se décline en 2 volets, à savoir d'une part, la Mise à Disposition d'Experts Composites (MADEC), portée par l'UIMM Midi-Pyrénées et d'autre part, le lancement d'un appel à projets R&D régional (EPICEA²).

Enjeux Sociaux

Les problèmes que l'on peut rencontrer d'un point de vue économique, sont également à prendre en considération en fonction des contraintes sociales. Les industries françaises n'ont pas un recul suffisant sur ce type de production : on mesure mal les risques sanitaires, malgré la connaissance des dangers de certaines substances employées. Même si des protections sont largement utilisées, elles ne garantissent pas forcément contre des effets nocifs.

La forte expansion des matériaux composites génère des préoccupations majeures sur le plan sanitaire. Les technologies de fabrication des matériaux composites actuelles s'avèrent dangereuses particulièrement au niveau pulmonaire. Même si les données disponibles indiquent une exposition faible, l'OMS reconnaît l'existence d'un risque croissant avec le développement de matériaux composites contenant de nouvelles fibres plus fines (comme les nanomatériaux). L'exposition à certaines matières peut entraîner des risques d'allergies de par la teneur en allergènes de certaines matrices. Pourtant, les causes directes de ces symptômes chez les personnes en contact avec les matériaux composites ne sont pas clairement identifiées. Les précautions prises actuellement sont le port de masques, gants et lunettes de sécurité.

Un autre risque connu est l'émission de styrène. Ce composé organique toxique est largement utilisé dans la production de matériaux composites, malgré l'adoption de réglementations. Cependant, l'harmonisation des seuils minimaux au niveau européen n'est pas effective.

Toutes ces informations incitent à la prudence. Les industriels sont conscients de ces dangers comme en témoigne Vincent POUGET³ (Goodrich Aerospace). Les risques encourus par les opérateurs et techniciens sont au mieux limités par les protections. Aucune étude ne renseigne sur le caractère dangereux des matériaux composites. De plus, les réglementations d'hygiène et de sécurité vis-à-vis de ces matériaux s'avèrent inexistantes. Autant de préoccupations qui, au nom du principe de précaution, pourraient ralentir le développement des matériaux composites dans nos industries.

Recyclage et Projets

Actuellement, plus de 90 % des déchets de production en composites thermodurcissables sont mis en centre d'enfouissement technique (CET), avec un coût en forte augmentation et la menace d'une interdiction

¹ Action pour le Développement des Entreprises Régionales

² Emergence de Projets Innovants Composite portés par des Entreprises Aéronautiques

totale pour les déchets considérés comme «non ultimes». Les directives européennes sur les VHU¹ et les DEEE² vont entraîner à court terme le recyclage d'une proportion importante de produits en fin de vie. Face à ce constat, les industriels de la filière composite se mobilisent au sein de plusieurs projets³:

- **RECYCOMP**, pour mettre en place des solutions de valorisation. Ce projet est structuré en deux parties : Recycomp1 et Recycomp2.
- **RECYCARB**, pour faire l'état des lieux des solutions de valorisation disponibles ou en développement pour les déchets de fibres de carbone sèches.
- **PAMELA**, pour mettre en place une première plate-forme de démantèlement des avions en fin de vie.

Une première phase de RECYCOMP a été conduite en 2002, par l'Agence Rhône-Alpes pour la maîtrise des matériaux en collaboration avec la Fédération de la Plasturgie. Elle comporte une étude du gisement de déchets composites en Rhône-Alpes et un état des lieux des solutions de valorisation. Cette phase a été soutenue par quatre partenaires industriels⁴. En janvier 2004, le projet est entré dans une seconde phase, plus opérationnelle, portée par Compositec⁵. Aujourd'hui dix partenaires industriels représentatifs de l'ensemble de la filière composites sont rassemblés autour de ce projet⁶.

L'objectif de **RECYCOMP 2** est de contribuer à la mise en place de filières de valorisation techniquement et économiquement viables, pour les déchets en composites therm durcissables issus dans un premier temps, de la production et, à terme, des produits en fin de vie. Les solutions étudiées à ce jour concernent essentiellement les déchets en polyester/fibres de verre, représentant la majorité du gisement recensé. D'autres essais avec des matériaux plus spécifiques, issus de l'électrotechnique comme les déchets époxy/silice, sont aussi à l'étude.

Le projet travaille également à la valorisation des composites renforcés par des fibres de carbone qui présentent un intérêt particulier en raison de la valeur des renforts et pour lesquels les solutions de valorisation sont encore peu avancées. Des connexions avec d'autres projets au niveau national (par l'intermédiaire du GPIC⁷) et européen (Green Label – société ECRC⁸) sont également établies.

Le projet **RECYCARB** a pour but de faire un état des lieux des solutions de valorisation actuellement disponibles ou en développement pour les déchets de fibres de carbone sèches et les déchets de composite et de pré-imprégnés. Une étude du gisement des déchets de production et des produits en fin de vie au niveau européen est en cours. Les débouchés pour les fibres de carbone recyclées seront également recherchés. Ce

¹Véhicules Hors d'Usage

²Déchets d'Équipement Électrique et Électronique

³<http://www.compositec.com/page.php?page=DT1110979052&lang=fr&codej=français&time=20070628100951>

⁴ Cray Valley, MCR/Inoplast, Saint Gobain Vetrotex International, Schneider Electric.

⁵Centre de ressources assistant et favorisant le développement de l'industrie des matériaux composites, <http://www.compositec.com>

⁶Ashland Polyester, Corima, Cray Valley, Italdry, MCR/Inoplast, Plastic Omnium, Sadac, Saint Gobain Vetrotex International, SDE/Schneider Electric, Soficar.

⁷Groupement de la Plasturgie Industrielle et des Composites, <http://www.gpic.com>

⁸European Composite Recycling Services Company

projet mené par Compositec, en collaboration avec l'ARAMM¹ et JEC², est soutenu financièrement par l'ADEME³ et rassemble huit partenaires industriels⁴.

Pour illustrer ce besoin en solutions de recyclage, nous avons cité le projet **PAMELA** (Process for Advanced Management of End-of-Life of Aircraft), piloté par Airbus, qui prévoit de mettre en place une première plate-forme de démantèlement des avions en fin de vie sur le site aéroportuaire de Tarbes. Le démantèlement du premier A 380 (cellule de test statique), composé à 25% de matériaux composites, est prévu en 2007.

Les Techniques de Recyclage

Ces projets ont donné suite à plusieurs solutions de recyclage. Actuellement, la majeure partie des déchets en composites est incinérée. Le reste est broyé à deux reprises d'une façon spécifique afin d'obtenir un produit fini à caractère fibreux ou pulvérulent, pouvant ensuite être réutilisé dans différents domaines tels que les bâtiments, les thermoplastiques et autres matériaux composites. Outre l'incorporation des fibres dans d'autres matrices, d'autres solutions de valorisation⁵ ont déjà été élaborées parmi lesquelles on compte la **co-combustion en cimenterie, la thermolyse, et la pyrolyse en bain de sels fondus**.

En effet, la **co-combustion** de déchets composites en cimenterie permet de valoriser à la fois le contenu énergétique du matériau et la partie minérale (charge et renfort) qui se retrouve incorporée dans le ciment. C'est la filière qui actuellement est capable de valoriser un volume conséquent de déchets.

La **thermolyse** consiste à séparer les différents éléments par la chaleur. Pour cela, on réalise une combustion des déchets sans flamme, c'est-à-dire sans oxygène. Les déchets passent préalablement par une étape de broyage puis sont ensuite séchés pour réduire leur teneur en eau pour enfin être placés dans un four rotatif à une température comprise entre 450° et 750°. Suite à cette opération, les composants organiques se séparent en deux constituants, l'un gazeux et l'autre solide. Les constituants solides formés de cendres (carbone) et de matières stables (verre, sels, métaux) sont décomposés et récupérés à leur tour. Les cendres sont réduites en un résidu de « coke » équivalent à du charbon maigre. Une tonne de déchets bruts génère 240kg de « coke », résidu pouvant être directement valorisé comme combustible non polluant pour la sidérurgie, les cimenteries, les centrales électriques ou les chaufferies.

La **pyrolyse en bain de sels fondus** consiste en des réactions de dépolymérisation et de dégradation se déroulant à des températures comprises entre 400°C et 500°C et permet d'obtenir des produits pétrochimiques de valeur ajoutée intéressante à partir de résidus organiques. Les produits de dégradation sont en général des gaz, du liquide, des goudrons et du coke. Le gaz est utilisé comme énergie calorifique pour une auto alimentation du procédé. Les parties liquide et solide peuvent être récupérées après traitement. L'avantage du procédé est qu'il permet d'obtenir des produits propres.

¹ Agence Rhône-Alpes pour la Maîtrise des Matériaux, <http://www.agmat.asso.fr>

² Groupement pour la promotion des composites, <http://www.jecomposites.com>

³ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, <http://www.ademe.fr>

⁴ Airbus France, Corima, Daher Lothellier, EADS CCR, Hexcel Composites, Hexcel Reinforcement, Porcher Industrie et Soficar.

⁵ Solutions connues d'après le Guide des déchets, phase 1 : l'incinération en UIOM (Unités d'incinération des ordures ménagères), l'incinération industrielle, la co-incinération en cimenterie, le recyclage matière par broyage, la pyrolyse à haute température, la thermolyse, la pyrolyse en bain de sels fondus et la dépolymérisation chimique.

<http://www.compositec.com/page.php?page=DT1111066943&lang=fr&codej=français&time=20070523122000>

Il est important de souligner qu'actuellement il existe peu de filières de recyclage de matériaux thermoplastiques. En effet, les thermoplastiques sont recyclables, mais dès lors qu'intervient l'insertion de composants dans les matrices, ils sont aussi difficiles à valoriser que les thermodurcissables.

Grâce à ces solutions de recyclage, on peut entrevoir des perspectives de traitements de ces matériaux dans une démarche de « développement durable ». Toutefois, ces solutions demeurent à l'état embryonnaire et incitent à élaborer de nouvelles techniques de recyclage plus performantes et moins onéreuses par le développement d'une vraie filière du recyclage des composites. Cependant, la question des moyens financiers reste posée.

Les difficultés

Une première difficulté renvoie au financement de la filière et questionne l'engagement de l'Etat dans le soutien à la création d'activités orientées dans le traitement des déchets et des produits composites en fin de vie.

La seconde difficulté concerne la logistique. En effet, il est particulièrement difficile de mettre en place une collecte pour recycler les déchets composites. La forte disparité des centres de revalorisation répartis sur plusieurs pays demande une entente entre Etats mais aussi des moyens matériels importants pour le transport de ces déchets. Par ailleurs, il est capital de mettre en place des circuits de récupération des différents gisements de déchets, fortement dispersés eux aussi. A moyen terme, il est probable que des normes soient établies afin d'obliger les industriels à pratiquer au quotidien un recyclage des déchets composites.

Une troisième difficulté touche à la reconnaissance de la valorisation matière qui n'est pas reconnue au niveau européen pour la co-combustion en cimenterie contrairement à la valorisation énergétique. Cette reconnaissance pérenniserait cette solution, la plus à même aujourd'hui d'admettre une grande quantité de déchets.

Conclusion

Le recyclage reste un grand défi pour la filière des matériaux composites. Le potentiel de croissance élevé de ces matériaux risque fort d'être entravé par les futures évolutions réglementaires sur la valorisation des produits en fin de vie. Même si des solutions semblent apporter des réponses aux problèmes actuels du recyclage, la filière doit penser des innovations afin d'envisager de réelles perspectives de développement. L'implication de l'Etat dans les pôles de compétitivité associée à l'engagement de grands donneurs d'ordre laissent augurer des ouvertures dans ce sens par la dynamisation économique et technique de nouvelle filière en cohérence avec les principes d'un développement durable.