

Chapitre 4. Matériaux avancés

Chapitre 4 : Matériaux avancés

Les matériaux avancés désignent les matériaux fonctionnels, les matériaux à haute performance, les matériaux à haute valeur ajoutée, etc. Ils constituent une famille large de matériaux qui concernent de nombreux domaines d'application. Ils répondent à des besoins de hautes performances telles qu'une forte résistance mécanique, thermique ou à la corrosion par exemple.

Les matériaux actifs désignent les matériaux intelligents agissant directement sur leur environnement en ayant par exemple des propriétés antibactériennes, antistatiques, dépolluantes, autonettoyantes ou présentant des propriétés de conversion d'une énergie en une autre (matériaux pyroélectriques, piézoélectriques...).

Ces matériaux, qui sont opposés aux matériaux de commodité, ont en commun de posséder des fonctionnalités supplémentaires par rapport à la fonction première qu'ils apportent. Ils permettent ainsi d'améliorer les propriétés globales du système dans lequel ils sont intégrés comme par exemple la durabilité, l'efficacité, l'innocuité.

Pour bénéficier d'un référentiel exploitable, on se basera sur le marché des matériaux à haute valeur ajoutée. Les matériaux inclus dans cette catégorie ont les particularités suivantes :

- Nécessitent des connaissances poussées pour être développés et produits ;
- Possèdent des propriétés nouvelles, supérieures, sur mesure pour des applications structurales ou fonctionnelles ;
- Ont le potentiel de contribuer à donner des avantages compétitifs sur le marché ;
- Ont le potentiel d'adresser les grands challenges sociétaux définis, dans des programmes internationaux.

Les matériaux avancés couvrent les familles classiques de matériaux (polymères, matériaux métalliques, céramiques) et les nouvelles catégories de matériaux (matériaux composites, semi-conducteurs).

Oxford Research cite également la classification proposée par *Moskowitz* qui précise davantage les matériaux concernés :

- ✓ Matériaux de bioingénierie ;
- ✓ Alliages avancés ;
- ✓ Céramiques avancées ;

- ✓ Polymères techniques ;
- ✓ Polymères organiques pour l'électronique (OPE) ;
- ✓ Autres matériaux pour l'électronique ;
- ✓ Revêtements avancés ;
- ✓ Nanopoudres ;
- ✓ Nanocarbones ;
- ✓ Nanofibres ;
- ✓ Couches minces ;
- ✓ Composites avancés.

Quelques exemples sont donnés ci-dessous afin d'illustrer les types de matériaux concernés.

- ✓ Alimentation : emballages actifs (perméabilité/imperméabilité à l'eau, à l'oxygène, à l'éthylène par exemple) ;
- ✓ Habitat : verre électrochrome, matériaux dépolluants, textiles luminescents, matériaux à changement de phase pour l'isolation, surfaces photovoltaïques intégrées ;
- ✓ Santé : matériaux à libération contrôlée (thérapeutique, diagnostic), vecteurs thérapeutiques, dispositifs médicaux implantables ;
- ✓ Sécurité : exosquelette pour la défense en fibres de carbone et alliages de titane ;
- ✓ Mobilité : composites pour l'allègement des pièces ;
- ✓ Loisirs & culture : textiles intelligents (pour jeux immersifs par exemple).

Le sujet est donc très vaste. Ce chapitre retrace les principaux matériaux par nature et par application, sans que les matériaux ou les débouchés n'aient toujours de relations entre eux.

4.1 Matériaux métalliques

Le développement de nouveaux matériaux est principalement destiné aux marchés suivants : aéronautique, production d'énergie (matériaux constitutifs des turbines), stockage de l'hydrogène, construction navale, médical.

Il s'agit par exemple de superalliages et d'intermétalliques. Les superalliages sont des alliages qui ont une excellente résistance mécanique et une bonne résistance au fluage à haute température (typiquement 0,7 à 0,8 fois sa température de fusion). Les intermétalliques se distinguent des alliages classiques par leur microstructure. L'un des enjeux liés aux alliages à

haute performance est l'amélioration des performances spécifiques rapportées à la densité dans une optique d'allègement des structures, très présente dans l'aéronautique.

De plus, la reproductibilité des propriétés des alliages est un fort enjeu pour garantir la fiabilité des pièces. Pour cela, le contrôle de la microstructure est essentiel. Cela se traduit donc par le choix d'un procédé d'élaboration adéquat et pour lequel les mécanismes qui entrent en jeu sont bien compris.

4.2 Composites

Les composites sont notamment clés pour l'automobile, l'aéronautique et l'énergie éolienne. Ils répondent bien au besoin d'allègement des pièces et allient également de bonnes propriétés mécaniques. Les enjeux pour ces matériaux sont les suivants :

1. Augmentation de la durabilité et de la recyclabilité :
 - ✓ L'augmentation de la durée de vie passe par la tenue dans le temps des matériaux mais aussi par la mise au point de matériaux réparables.
 - ✓ L'introduction des composites s'est largement faite en substitution de matériaux métalliques, qui ont vu aussi de leur côté leurs performances croître. Mais toutes les caractéristiques des matériaux ne peuvent être substituées. La durabilité et la recyclabilité des composites en sont des exemples frappants.
 - ✓ En termes de recyclabilité et de réduction de l'empreinte carbone, l'introduction et le déploiement des fibres végétales dans ces matériaux représentent une tendance forte. Pour le moment, malgré les premiers succès d'intégration, ces fibres restent marginalement utilisées car elles posent des problèmes de fabrication, de durée de vie (faible résistance à l'humidité en général) et d'émission d'odeurs caractéristiques non acceptables (par exemple pour des véhicules particuliers).
2. Augmentation de la cadence de production :
 - ✓ Ce n'est pas un sujet nouveau concernant les composites. Les développements en cours portent essentiellement sur le développement de CND (Contrôle Non Destructif) adaptés à de fortes cadences, telles qu'on peut en trouver dans l'automobile.

4.3 Biomatériaux

Concernant les dispositifs médicaux de type prothèse ou implant, les enjeux matériaux s'articulent autour de trois thèmes :

- Durabilité.
- Fonctionnalisation.
- Production.

La longévité des dispositifs et la restauration partielle des fonctions des tissus ou des organes sont clés. Notamment, afin d'améliorer la durée, la compréhension des cinétiques de (bio)résorption et l'étude de la toxicité des produits de dégradation permettra d'avancer sur cet aspect.

La maîtrise des propriétés de surface à l'échelle nanométrique (mouillabilité, adhésion des cellules, distribution des charges, (an)isotropie) est clé afin de garantir une meilleure intégration du dispositif dans le corps.

En termes de production, la reproductibilité des propriétés d'un lot à l'autre et la maîtrise des coûts de production (notamment à travers l'approvisionnement en biomatériaux à des coûts compétitifs) permettront d'améliorer la phase de production de ces dispositifs.

Pour les systèmes de libération contrôlée des médicaments, un système de biomatériaux capables de délivrer un médicament spécifiquement dans un tissu ou une cellule est requis. Une large littérature est aujourd'hui disponible montrant une libération contrôlée du principe actif à l'endroit souhaité. Il manque néanmoins de données relatives à leurs performances in vivo pour passer aux étapes de recherches cliniques

4.4 Verres et céramiques

L'industrie des verres et celle des céramiques proposent des matériaux avancés pour de nombreuses applications. L'industrie est fortement guidée par les impacts environnementaux, pour les marchés cibles d'une part, mais aussi pour leurs propres procédés, fortement consommateurs d'énergie et d'eau. Les développements des technologies de fours en particulier permettront de répondre à ces défis.

Les grands défis de ces deux secteurs sont aussi liés à l'augmentation de la durabilité des matériaux, afin de diminuer l'impact environnemental de la production sur l'ensemble de la durée de vie du produit. Le développement des techniques de recyclage est une attente majeure pour diminuer cet impact environnemental, avec par exemple des techniques de mise en forme basées sur la compaction de poudres.

Le développement de capteurs ou de matériaux actifs intégrés dans les céramiques forment les « céramiques intelligentes » capables de détecter la présence d'occupants et de mettre en place un éclairage ou un chauffage en conséquence.

Enfin, au niveau mondial, le secteur de l'énergie tire le développement de nouveaux verres (et de leurs revêtements) et de nouvelles céramiques techniques aussi bien pour l'énergie solaire (photovoltaïque, thermique) que pour l'éolien. Les céramiques sont aussi particulièrement exploitées pour les applications en santé.

4.5 Nanomatériaux

Les nanomatériaux ont connu ces dernières années de nombreux développements. Toutefois, les plus grandes avancées ont été réalisées au niveau de la recherche fondamentale. Au niveau industriel, le principal enjeu pour le développement des nanomatériaux est de créer de nouveaux procédés de production intégrés dans une chaîne de valeur des nanomatériaux.

Les enjeux court terme des nanotechnologies consistent à consolider les modèles de prédiction des propriétés des nanomatériaux, leurs procédés de production et leur intégration aux chaînes de production existantes.

En termes de fabrication, la priorité est de contrôler les propriétés des nanomatériaux lors de la fabrication et de développer des techniques bas coût pour les manipuler à l'échelle nanométrique et ainsi les intégrer comme constituants de systèmes nanoassemblés.