

Enjeux et opportunités des nanotechnologies pour le groupe EADS

Les nanotechnologies représentent un enjeu capital et une source d'opportunités nouvelles pour le domaine aérospatial et de la défense, comme il est maintenant évident qu'elles le sont pour d'autres domaines, comme l'électronique ou la médecine. EADS porte le plus grand intérêt aux développements dans le domaine des nanotechnologies, mais également dans celui des nanosciences, tant pour les techniques d'analyse que pour la compréhension et la modélisation des phénomènes.

**par Didier Lang
et Yann Barboux**

Pour David Swain [1], Chief Technology Officer de Boeing, la question ne se pose plus : « Les nanosciences et les nanotechnologies conduiront très vraisemblablement aux ruptures technologiques stratégiques de demain. Ces percées concerneront des métaux nanostructurés, des céramiques et polymères obtenus directement à la côte, des revêtements nanostructurés pour applications dans

les domaines des outils de coupe, de l'électronique, de la chimie et des structures, présentant des propriétés d'isolants thermiques ou de résistance à l'usure. Les possibilités d'applications des nanotechnologies sont énormes. »

L'effort réalisé par Boeing dans le domaine des nanotechnologies est ainsi estimé à plusieurs dizaines de millions de dollars [2].

De la même façon, la NASA a créé un institut de recherche dédié spécifiquement aux nanotechnologies. Ce centre accueille environ 50 chercheurs. Le diagramme (figure 1) présente la feuille de route de l'agence américaine de l'aéronautique et de l'espace dans ce domaine des nanotechnologies : il met également en évidence les principales technologies concernées et les applications potentielles visées. Tout en prenant du recul par rapport à ces communications très volontaristes, EADS porte le plus grand intérêt aux développements dans le domaine des nanotechnologies, mais également dans celui des nanosciences, tant pour les techniques d'analyse que pour la compréhension et la modélisation des phénomènes, considérant, comme David Swain, que les innovations qui en résulteront, ou qui en ont déjà résulté, peuvent avoir un impact considérable sur l'ensemble de ses métiers et de ses produits.

Traitement des surfaces et miniaturisation

En se référant à la liste très exhaustive présentée par la NASA, les principaux enjeux pour EADS sur le moyen terme

concernent deux grands métiers du Groupe : les structures et les systèmes.

Dans le domaine des structures, le développement de matériaux nanostructurés,

ou renforcés de nanoparticules ou de nano-tubes de carbone, permet d'entrevoir de nouveaux sauts technologiques pour

obtenir des structures encore plus légères et plus tolérantes aux dommages. De même, et sans doute à plus court terme, l'introduction des nanotechnologies dans les traitements des surfaces, que ce soit pour améliorer les protections contre le frottement ou contre la corrosion, pour rendre plus efficace la préparation de surface avant peinture ou avant collage, etc... représente un enjeu considérable pour trouver des solutions qui, tout en permettant de satisfaire aux exigences les plus sévères de respect de l'environnement, vont nous faire franchir des étapes décisives aussi bien vis-à-vis de la performance économique de nos processus industriels que de la durabilité de nos produits.

En ce qui concerne les systèmes, les principaux enjeux se situent évidemment, et en premier lieu, dans le domaine de la miniaturisation et de l'intégration de fonctions pour les électroniques et les composants mettant en jeu de l'électronique : systèmes de communication, nanosystèmes électromécaniques, capteurs, actionneurs, capteurs biométriques pour les applications liées à la sécurité, postes nomades...

A un terme un peu plus lointain, les nanotechnologies sont également vues comme pouvant contribuer à traiter les problèmes majeurs que sont pour EADS le bruit (matériaux absorbants nanostructurés, microsystèmes actifs

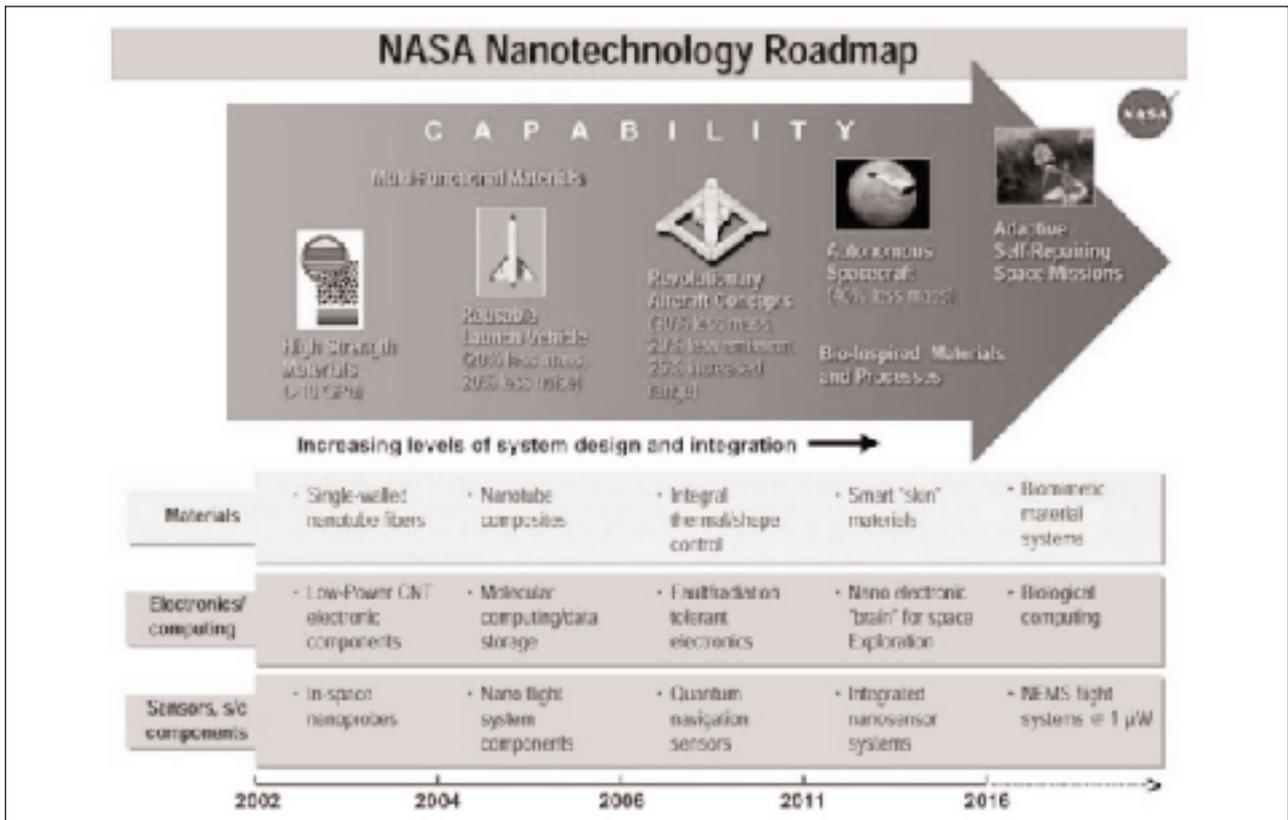


Fig. 1. « Feuille de route » de la NASA dans les nanotechnologies.

ou solutions hybrides) et les émissions de gaz.

Enfin, EADS est également très attentif aux retombées qu'il pourrait y avoir dans le domaine des technologies de traitement de l'information et du signal (réduction des temps de calculs, miniaturisation des calculateurs embarqués, augmentation de la capacité de gestion des grandes masses de données...).

L'importance de ces enjeux explique pourquoi EADS soutient et s'associe aux initiatives de l'Etat français dans le domaine ; c'est pourquoi également le Centre de Recherche Corporate d'EADS a décidé de rassembler ses actions sur ce thème dans un projet fédérateur dont sont extraits les quelques exemples présentés dans la suite de l'article.

La stratégie EADS : découvrir, comprendre et s'appropriier

La recherche industrielle a pour vocation première, non pas de faire naître les principes physiques fondamentaux des technologies du futur, ce rôle étant tradi-

tionnellement dévolu aux laboratoires du monde universitaire, mais d'en évaluer les possibilités d'application sur les produits d'un groupe, d'en anticiper l'intégration.

Ce qui guide la mise en place d'une politique de recherche industrielle, c'est, en dehors de l'identification d'opportunités de nouveaux métiers, la définition d'une vision pour l'évolution des produits :

- en terme de performances, (légèreté, robustesse, fiabilité),
- en terme de flexibilité,
- en terme de gain de coût et de gain de cycle,
- et enfin pour le respect de l'environnement.

En fonction du contexte économique concurrentiel et réglementaire, cette vision peut privilégier l'une ou l'autre des considérations évoquées précédemment : on notera par exemple dans le domaine des structures aéronautiques, que la course à la performance spécifique (gain de masse), a cédé le pas dans les années 90 à la course à la robustesse, puis à la cour-

se à la réduction des coûts et surtout, maintenant, à la réduction des cycles de développement et de fabrication.

Dans cette démarche, l'innovation, pour un industriel comme EADS, correspond à l'intégration à ses produits d'éléments technologiques qui peuvent être proches de la maturité, voire déjà existants, mais

Nous en sommes encore souvent à la phase de « découverte », au mieux à la phase de « compréhension »

qui n'ont pas encore été utilisés dans son domaine d'application. L'innovation n'est pas dans la technologie elle-même mais dans l'utilisation qu'on en fait.

Pour illustrer ce point on peut faire le parallèle avec un exemple dans le domaine du grand public : si le téléphone portable constitue une révolution technologique, l'innovation majeure n'est pas tant au niveau des éléments constitutifs eux-mêmes, que dans leur intégration dans un produit aux fonctionnalités extraordinaires.

La clef du succès de nos actions de recherche consiste donc à nous donner la capacité de détecter très tôt et d'intégrer très rapidement ces nouvelles tech-

nologies qui vont contribuer à améliorer nos produits, à nous procurer un avantage compétitif ou à développer notre portefeuille d'activités. Une des stratégies mises en place pour atteindre ces objectifs de rapidité et de réactivité, outre une organisation en réseau de nos capacités de R&T internes, est de nous appuyer le plus possible, et le mieux possible, sur les laboratoires de recherche publique

Il se confirme un besoin très fort d'outils prédictifs, d'outils de simulation et de modélisation

et de nous associer aux initiatives soit nationales de type RNMP (Réseau National Matériaux Procédés), études DIGITIP..., soit européennes : 6ème PCRD (Plan Cadre Recherche et Développement) de l'Union Européenne.

De façon simplifiée, nous considérons en effet que la mission des équipes de R&T à l'intérieur du Groupe EADS est, avant tout, de découvrir les avancées technologiques, de comprendre le bénéfice qu'il est possible d'en tirer, puis, une fois les applications identifiées, d'entrer dans une phase d'appropriation qui peut comprendre des étapes de validation de concepts (sur la base de prototypes), de développement (d'adaptation de la technologie à nos besoins), d'industrialisation, de qualification puis de certification.

La problématique liée aux nanosciences et nanotechnologies est, pour EADS aujourd'hui, le manque de visibilité quant à leurs performances fonctionnelles à terme. Nous en sommes encore souvent à la phase de « découverte », au mieux à la phase de « compréhension ».

Concernant les applications structurales, par exemple, les laboratoires travaillent sur des concepts pour lesquels l'objectif principal est encore soit d'arriver à une caractéristique physique très supérieure, soit de réunir dans un même matériau ou produit des caractéristiques qui jusqu'alors n'étaient accessibles qu'avec des matériaux spécifiques.

On peut citer l'ajout de 2 % de particules d'argile, sous forme de poudre aux grains de dimensions nanométriques, dans un polyamide qui permettrait d'atteindre une augmentation du module de rigidité et de la contrainte à rupture d'un facteur deux, alors qu'il est

nécessaire d'utiliser au moins 20 % de charges minérales classiques pour augmenter les propriétés d'un polymère. Le bénéfice de l'utilisation de charges nanométriques s'explique physiquement par la morphologie et la taille de ces particules qui sont constituées de

feuilletés de quelques dizaines de nanomètres d'épaisseur et de quelques centaines de nano-

mètres de longueur, ce qui permet d'obtenir une interface de contact très importante entre le polymère et la charge.

Dans ce même domaine des matériaux avancés, on peut également citer :

- L'introduction de 4 % de nanocharges dans un thermoplastique de type polyéthylène qui permet de respecter les exigences de la réglementation FAR25 sur la densité de fumées émises en cas de feu à l'intérieur de la cabine, par la formation d'une couche protectrice qui multiplie par 2,5 la durée d'inflammation.

- L'introduction de nanoparticules ou de nanotubes de carbone dans des matrices céramiques ou polymères pour en modifier les propriétés thermiques ou électriques

- La réalisation de matériaux nanostructurés : en fonction des compositions chimiques et des procédés utilisés pour produire ces nanostructures on peut obtenir soit des augmentations de résistance spécifique, soit des compromis de propriétés mécaniques et physiques (rigidité, ductilité, tenue en température, oxydation, conductivité thermique...) inaccessibles par la métallurgie conventionnelle. Les procédés de mécano-synthèse ou de dépôts chimiques ou physiques (CVD, PVD...), avec des travaux faits en coopération avec des équipes du CEA, ont permis depuis quelques années de confirmer le potentiel qui existe dans ce domaine.

- La génération de nanosurfaces superhydrophobes présentant des angles de contacts eau-surface supérieurs à 160°. Les applications sont, par exemple, la réalisation de surfaces facilement nettoyables. Les travaux concernent les revêtements, la structure de ceux-ci ainsi

que les moyens de caractérisation de ces revêtements.

Dans un autre domaine, celui des systèmes, des nanosenseurs réalisés à partir de couches granuleuses à l'échelle nanométrique et sensibles à certains gaz, ont été développés et testés pour des applications de détection de feu.

Le rôle du Centre de Recherche d'EADS à ce stade, et pour les technologies mentionnées ci-dessus, est de « comprendre », c'est à dire de définir en quoi le fait de disposer, par exemple, d'un polymère aux propriétés thermiques ou de résistance au feu ainsi améliorées pourrait avoir un impact sur les performances des pièces composites que nous utilisons et, à partir de là, de définir un plan de route identifiant les étapes critiques qui permettront d'amener cette technologie à un stade de maturité suffisant pour l'introduire dans nos programmes de développement.

Dans cette phase d'évaluation critique des applications possibles au niveau des produits du groupe, compte-tenu de leur très haut niveau de complexité et de l'extrême variété des briques technologiques qui les constituent, une approche multi-disciplinaire est indispensable : les compétences dans les différents métiers (mécanique, physique, système, calcul...) sont rassemblées dans un réseau, de façon à multiplier le nombre de points d'entrée d'information possible sur les nouveaux concepts, et à structurer le plan d'action autour de thèmes applicatifs, pour préciser la vision des avantages qu'un produit futur, intégrant ces technologies en maturation, pourrait présenter.

Dans cette phase également, du fait de ce problème de visibilité sur les performances fonctionnelles qu'on pourra atteindre à terme et du fait également de cette complexité de nos systèmes, se confirme un besoin très fort d'outils prédictifs, d'outils de simulation et de modélisation, qui vont permettre d'évaluer des propriétés spécifiques, et leur impact sur la performance globale du système, sans passer par une phase expérimentale généralement très longue et onéreuse. La spécificité des effets à l'échelle

nanométrique nous a conduit à identifier ce problème de prédiction des comportements des matériaux nanostructurés ou renforcés de charges nanoscopiques comme un des chemins critiques des phases ultérieures de développement.

La stratégie de partenariat d'EADS : gérer et partager le risque dans le temps

En préalable, et comme pré-requis à cette phase de découverte et d'appropriation par les industriels, il se trouve naturellement une phase plus amont où doivent naître les idées plus fondamentales au niveau des sciences mises en jeu : on est ici dans un niveau créatif piloté non plus par les applications, mais par l'attrait de la découverte scientifique. Cette activité de création, pour être efficace, doit être découplée de la recherche industrielle sur le plan des objectifs et de la gestion, et doit bénéficier d'une certaine liberté. Plus loin du produit commercialisé, elle est forcément plus à risque en terme de « retour sur investissement », notion qui lui est d'ailleurs difficilement applicable dans la mesure où elle vise autant à développer ou à consolider un pôle de compétences qu'à inventer de nouvelles solutions. Par ses caractéristiques de haut niveau de risque et de stratégie d'ancrage de compétences en vue de la création à terme d'emplois, cette activité relève, par nature, du soutien des pouvoirs publics ; et ce d'autant plus qu'à ce stade précoce les retombées attendues sont a priori pluri-sectorielles. L'industriel a, par contre, la responsabilité d'organiser, en partenariat avec les pouvoirs publics, la transition vers les applications potentielles.

Pour cette phase de transition, trois principes guident notre stratégie de partenariat avec les laboratoires de recherche publique et de participation aux actions concertées, que ce soit au niveau national ou au niveau européen :

- Participer à l'orientation et à la structuration des travaux de recherche en faisant connaître nos axes stratégiques de

développement technologique et en spécifiant nos « attentes »,

- Aider à développer des pépinières de savoir et de connaissance au sein des écoles et des universités. Ces pépinières servent de réservoir scientifique pour des travaux d'expertise et contribuent à former les acteurs du tissu industriel. Dans ce cadre, les montages de thèses en partenariat avec l'industrie sont aussi l'occasion de former des chercheurs qui accompagnent la technologie vers l'aval dans l'entreprise,

- Créer et faire vivre un tissu industriel de start-up et de PME sur lesquelles va s'appuyer EADS pour enrichir son processus d'innovation.

Dans ce processus global d'innovation, il nous faut ici évoquer le paramètre « temps », qui est relativement spécifique pour le domaine aérospatial et de la défense.

Si on prend l'exemple d'un matériau destiné à une structure aéronautique, il s'écoule en général de cinq à dix ans entre l'idée nouvelle d'évolution d'un matériau existant et la mise à disposition commerciale de ce matériau amélioré. Une fois que le matériau existe commercialement et se trouve plus ou moins figé dans sa définition, il faut encore dix ans pour :

- La phase d'évaluation des différentes caractéristiques qui vont servir à optimiser le choix matériau par rapport à une spécification,

- Puis, si les résultats sont prometteurs, la phase de qualification, qui va servir à établir une carte d'identité complète du matériau avec ses performances d'utilisation et les éléments garantissant la maîtrise de la qualité,

- Enfin, la phase de certification du concept, au cours de laquelle on va vérifier le comportement structural d'un ensemble complexe.

On voit donc que dans le milieu aéronautique et spatial, il est fréquent que vingt ans séparent la naissance d'une idée du début de son utilisation commerciale.

EADS considère qu'il lui appartient de prendre en charge la deuxième phase de développement, jusqu'à la mise en production ; là, la cible est connue et des estimations de rentabilité de l'effort de R&D peuvent être réalisées. Par contre, il

est de la responsabilité des pouvoirs publics de générer les conditions de naissance des nouvelles technologies et d'accompagner par des aides la phase de transition vers les industriels.

Dans le domaine spécifique des nanosciences et des nanotechnologies, pour lequel les enjeux peuvent être, on l'a vu, fondamentaux, mais qui, on l'a également décrit, se trouve encore pour une grande partie de son périmètre dans une phase « amont », EADS soutient les initiatives publiques aussi bien européennes (priorité NMP du 6^{ème} Programme Cadre), que nationales (action de la DIGITIP, cadre COCOMAT, réseau RNMP). Le rapport préparé par l'Académie des Technologies, auquel nous avons contribué au travers d'un groupe de lecture, cadre d'ailleurs bien le problème et constitue aujourd'hui un excellent document de référence pour les acteurs publics et industriels en alertant sur :

- le potentiel énorme des nanosciences et nanotechnologies en terme d'applications et sur le potentiel de recherche de haut niveau disponible en France pour relever le défi,

- la nécessité d'un effort national de R&D sur le sujet pour garantir demain la compétitivité de nos industries et de nos équipes de recherche,

- le problème actuel de structuration de la R&T en France qui doit être réglé pour obtenir la meilleure efficacité des équipes et des mécanismes d'aide.

Compte-tenu du caractère amont des nanosciences et nanotechnologies, mais aussi des programmes déjà lancés par de nombreux pays et organismes au niveau mondial, les questions auxquelles doivent répondre conjointement industriels et pouvoirs publics sont en effet :

- Pourquoi faut-il faire quelque chose en France ?

- Que faut-il faire ? quelles sont les priorités, en prenant en compte à la fois l'état des besoins industriels, mais aussi le bilan des forces et faiblesses de nos équipes de recherche ?

- Comment doit-on le faire ? ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] David Swain (Boeing) : (from the lecture „Time to Rededicate Ourselves“, First Tuesday Meeting, Chicago, Illinois, September 20, 2001 -)
- [2] Interview with Nathan Thinker (NanoBusiness Alliance) -
- [3] NASA Nanotechnology Roadmap (source : Center for Nanotechnology, NASA Ames Research Center 2001-)
- [4] Nanotechnology in France. (the institute of Nanotechnology (UK) octobre 2003
- [5] Nanotechnologies : une ère nouvelle. L'Usine Nouvelle janvier 2002