

Point de vue sur les nanotechnologies.

L'opinion d'un acteur

En quoi les nanotechnologies sont-elles similaires ou différentes des technologies du XX^e siècle ? En quoi est-ce nouveau ? Quels sont les modèles de développement qui doivent être préférés ? Ces questions sont abordées ici avec le recul des quelques années passées au chevet des mondes complexes et interactifs de la chimie minérale, de la chimie organique, de la physico-chimie et des applications. Le point de vue d'un acteur, concepteur et fabricant de nanotechnologies, à travers quelques exemples de développement réussis, permet de proposer quelques facteurs clef de succès pour l'ensemble des filières industrielles.

par **Bruno Echalié**, Marketing et Innovation,
Rhodia Rare Earths and Silica Systems

Si l'on en croit le battage médiatique de ces deux dernières années, les nanotechnologies semblent être arrivées sur le marché il y a très peu de temps. On pourrait même

croire qu'elles ne nous ont pas encore atteints. Promesses pour demain. Pourtant en répertoriant ce qui procède du monde du nanométrique « selon les définitions admises », on s'aperçoit qu'elles sont beaucoup plus mûres que ce que l'on croit généralement. Depuis des années déjà, Rhodia, comme d'autres grands groupes chimiques, conçoit, produit et commercialise des nanoparticules mises en œuvre dans des systèmes hétérogènes dans lesquels l'effet de diminution de la taille est clé pour les performances. Mesurée à l'échelle des grandes évolutions techniques, la chose semble toutefois s'accélérer. On peut parler de révolution en cours, mais seule l'histoire le dira. Un symptôme : on entend maintenant les spécialistes du domaine parler de « nano », nom commun, terme générique, voire acronyme, bref un mot familier.

Panorama

Etre dans le monde des nanotechnologies veut dire travailler à l'échelle moléculaire ou atomique pour créer des

structures plus grandes, agrégations d'atomes, qui possèdent des propriétés très différentes des atomes ou molécules individuelles et très différentes aussi des agrégats plus gros (même si ceux-ci ont déjà une taille infime de quelques microns).

La conception, la manipulation, l'utilisation de particules aussi petites que 5 nm est une science qui ne relève plus de la seule chimie des solutions, ni des sciences physiques classiques. A ces échelles les lois physiques changent et permettent à la chimie de s'exprimer différemment.

Pour une particule de grande taille (c'est-à-dire > 1 micron typiquement), les propriétés massiques dominent. Pour une particule nanométrique, la surface est un paramètre de premier ordre. Les domaines de la catalyse automobile (métaux précieux supportés), de l'enregistrement magnétique (nano particules de métaux ou d'oxydes de Fer, de Chrome), de la photographie (halogénures d'argent) se sont développés depuis de nombreuses années sur ces concepts de nanoparticules.

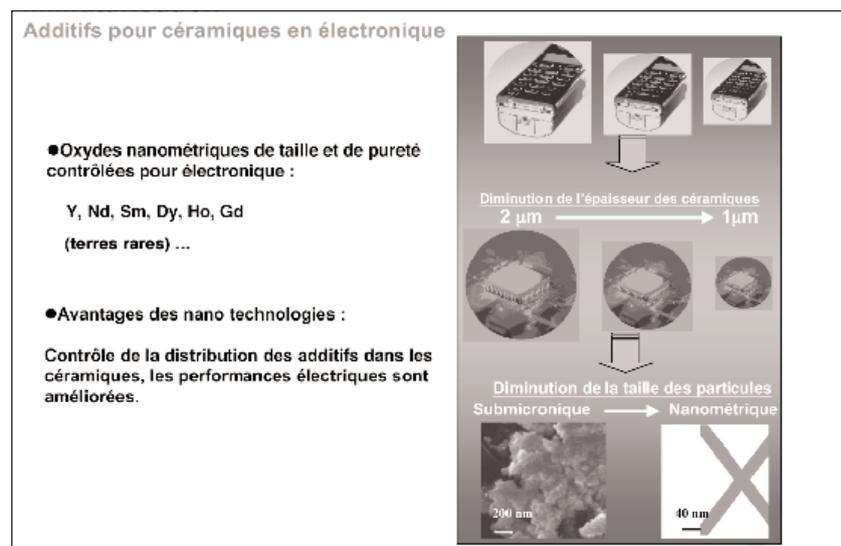


Figure 1 - Miniaturisation - Des particules nanométriques de pureté contrôlée pour répondre aux besoins de diminution des épaisseurs des circuits intégrés.

Les principales performances ou intérêts entrevus pour les nanotechnologies courantes peuvent être classés en :

- Miniaturisation ,
- Réactivité (par exemple réactivité chimique, stockage de gaz),
- Invisibilité (les particules sont beaucoup plus petites que la longueur d'onde de la lumière et plongées dans un milieu (un plastique par exemple) elle ne sont plus visibles en étant toutefois actives (Figure 1),
- Obtention de nouveaux intermédiaires pour de nouveaux matériaux (Figure 2).

Le champ d'application des nanotechnologies est aussi vaste que l'on veut : de l'électronique miniaturisée (couches de moins de 200 nm d'épaisseur pour des capacités miniatures), en passant par la vectorisation d'actifs anti-cancer voire des détecteurs miniaturisés de spores d'Anthrax, jusqu'au stockage de carburant pour pile à combustible. De fait, les nanotechnologies sont présentes, du moins à l'étape des recherches, dans tous les domaines d'activité humaine.

Un consensus partagé par les industries, les bureaux d'étude marketing spécialisés, les organismes financiers, est d'avancer un chiffre d'affaire des nanotechnologies de l'ordre de 54 milliards d'Euros en 2002 qui atteindrait 220 milliards en 2010.

On parlera dans cet article plus spécifiquement des nanoparticules pour application dans les polymères ou sous forme de dispersion dans un liquide vecteur : dans les plastiques, les vernis, les peintures et les crèmes solaires par exemple. On peut prendre comme définition du sujet un matériau final 3D plutôt que 2D (par exemple une couche ultramince obtenue par dépôt sous vide). Le matériau 3D selon cette définition est composé d'une matrice organique dans laquelle se trouve une dispersion de nanoparticules. (Figure 3)

Pour quels marchés ?

Une grande partie de la démarche d'innovation de Rhodia - de par son implication forte dans les marchés automobile, pneumatiques, hygiène et cosmétique, alimentaire, consommation, produits pour le bâtiment, fibres textiles etc. - est naturellement tournée vers des produits à large diffusion. Ses connaissances en chi-

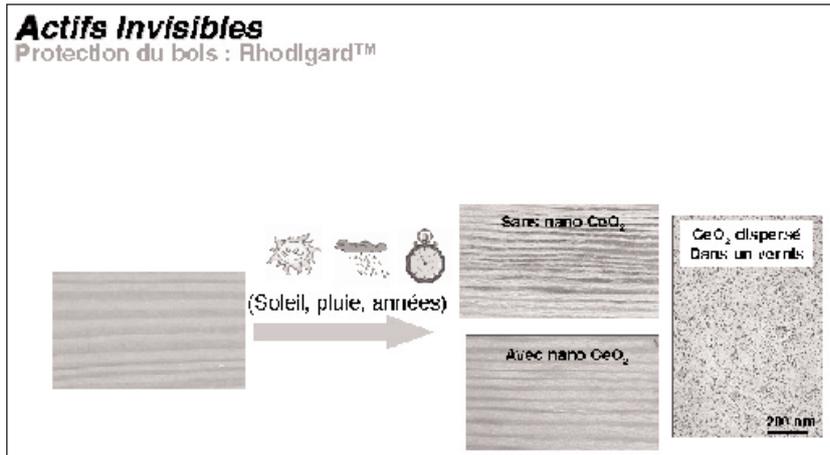


Figure 2 – Des nanoparticules en suspension pour un effet filtre UV optimum, sans altération de la transparence.

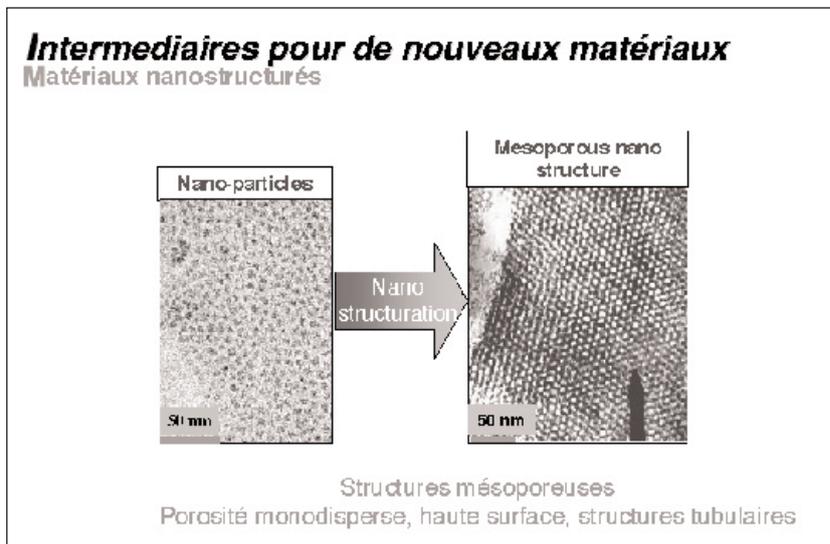


Figure 3 – Intermédiaires pour de nouveaux matériaux à structure méso poreuse. Contrôle de la porosité (mono dispersité), haute surface et structures tubulaires possibles.

mie minérale de spécialité (chimie des Terres Rares), son implication forte en synthèse de silices ou de composés minéraux, à base de phosphore notamment, lui permettent de se tourner vers les marchés de l'électronique (lumino-phore, précurseurs pour céramique), vers les marchés de l'optique (polissage) ou autre secteur de pointe. Tout cela ne saurait se faire sans l'apport des technologies organiques (polymères, dispersions, tensioactifs, chimie organique) maîtrisées également par Rhodia.

Sans évidemment nier l'innovation des Nanotechnologies, l'examen de quelques voies d'accès déjà utilisées ou en cours d'investigation, montre que, pour au moins une grande part, les nanotechnologies de demain utiliseront

des procédés et des équipements identiques ou proches de ceux d'aujourd'hui. La production de composés chimiques, qu'ils soient nano ou pas, requiert pour l'essentiel des capacités de stockage, de l'énergie, des fluides, des réacteurs, des tuyaux et des pompes, des ingénieurs procédé et de production, des équipements de conditionnement et de logistique, bref tout ce que l'on trouve aujourd'hui dans une usine d'un Groupe de Chimie (espace dont la définition par le mot est un peu réductrice car on y fait autant de physique que de chimie, autant, sinon plus de recherche de procédé et d'application que de synthèse de produit). La révolution n'est pas là. Bien sûr les toutes nouvelles technologies telles que les nano tubes de carbone

posent encore des problèmes de production a priori très différents et ne sont pas encore au stade de la production à grande échelle. Mais qui peut dire quel sera le procédé le plus économique de demain pour ces curiosités de laboratoire d'aujourd'hui ? On rapporte que le premier gramme de Polychlorure de Vinyle coûtait plus de 10 000 €. Les procédés étaient perçus à l'époque comme très compliqués, risqués, voire infaisables... Le PVC est bien un produit de commodité aujourd'hui. Regardons donc ce qui fonctionne déjà, qui sera présent dans notre vie pour demain matin et essayons de dégager les facteurs clés de succès.

En quoi est-ce différent ?

Un des problèmes inhérent aux nanotechnologies, c'est la conception dès le départ d'un matériau à l'échelle nanométrique et qui le reste dans l'application finale après transformation. A titre d'exemple imaginons un vernis pour bois : un oxyde de Cérium nano particulaire a toutes les fonctions requises pour filtrer les UV et prévenir des dégradations du soleil, tout en préservant l'aspect naturel du bois. Mais comment l'introduire, le disperser, être sûr que l'additif minéral ne va pas décanter au fond du pot, réagir avec les autres constituants ? L'expérience montre que, pour chaque milieu, une vectorisation spécifique est généralement nécessaire. Encore faut-il connaître les cahiers de charges de l'application, les contraintes industrielles de l'utilisateur, les réglementations. Il y donc nécessité d'un rapprochement très fort du fabricant et de l'utilisateur final. Inutile de développer un nouveau produit sans validation à chaque étape. Le produit « fini » n'est plus modifiable. C'est trop tard. Des partenariats sont indispensables. C'est classique aujourd'hui pour le monde industriel mais c'est peut être encore plus vrai pour les nanotechnologies.

On peut dire que les nanomatériaux ne sont pas des matières premières comme les autres. Ce sont déjà des produits semi-finis. La morphologie de la nanoparticule est déterminée par les premières étapes de la synthèse, par la qualité des matières premières, par des variations parfois infimes des conditions

de réalisation qu'il faut savoir maîtriser à l'échelle industrielle. On voit beaucoup de superbes produits à l'échelle de l'éprouvette. Mais qui sont impossible à industrialiser de façon reproductible à l'échelle de quelques tonnes.

Pour maîtriser ces difficultés, les coûts de développement sont élevés. Trouver l'idée, la bonne, par essai et erreur, nécessité d'explorer plusieurs voies en parallèle, réaliser les tests d'application qui nécessitent souvent de grandes quantités de produit pour être représentatifs. Puis essais d'extrapolation en pilote, et enfin passage à l'échelle industrielle. L'ensemble n'est pas nouveau, mais le domaine l'est et parfois des technologies clés manquent. On peut citer un exemple qui se comprend bien : il n'est pas très difficile de séparer dans un seau l'eau du sable. Il en va tout autrement lorsque les particules ont une taille de 5 nm, même sous centrifugation à 7000 g et les tensioactifs classiques ne fonctionnent plus toujours de la même manière à cette échelle.

En quoi est-ce nouveau ?

Les nanotechnologies sont intéressantes par la combinaison des nouvelles fonctions qu'elles apportent et qu'aucun autre moyen ne permet d'apporter aujourd'hui : transparence et absorption UV, rigidité et faible densité, transparence et barrière, liquide à très haut taux de solide actif, fonctionnalité exacerbée par les très grandes surfaces spécifiques.

Il s'agit bien de faire des nanoparticules pour répondre à un besoin non satisfait aujourd'hui par les technologies existantes. On ne fait pas des nano pour le plaisir. Les donneurs d'ordre commencent à comprendre les potentialités de

ces nouvelles technologies et expriment maintenant des demandes qui étaient encore des rêves hier : une crème solaire transparente très haute protection ? C'est possible. Un additif solide, mais « soluble » dans le gazole ? C'est possible. Des nouvelles pâtes dentifrices plus efficaces mais moins abrasives ? C'est possible. Des films plastiques transparents mais barrière à l'oxygène ? C'est possible... maintenant et demain.

Quelques exemples de développement réussis qui illustrent la démarche :

Les silices précipitées pour le pneu haute énergie

Depuis une dizaine d'années, des silices de précipitation dites hautement dispersibles (HDS/Highly Dispersible Silica) développées par Rhodia sont de plus en plus utilisées au détriment du noir de carbone traditionnellement utilisé. Ces silices HDS permettent en particulier d'obtenir une amélioration de l'adhérence et une diminution de la résistance au roulement, sans détérioration de la résistance à l'usure.

Ces silices précipitées s'obtiennent en milieu aqueux via la neutralisation d'une solution de silicate de sodium par une solution acide. Cette réaction chimique, dite étape de précipitation, est effectuée dans un réacteur agité. On obtient ainsi une silice hydratée amorphe. La maîtrise de cette étape de précipitation est clé car elle détermine la dispersibilité intrinsèque et les caractéristiques finales de la silice.

La silice est ensuite lavée, séchée et, le cas échéant, mise en forme pour être utilisable dans l'application finale, en particulier pour éviter l'émission de poussières lors de sa manipulation. A l'issue de ce procédé industriel, les

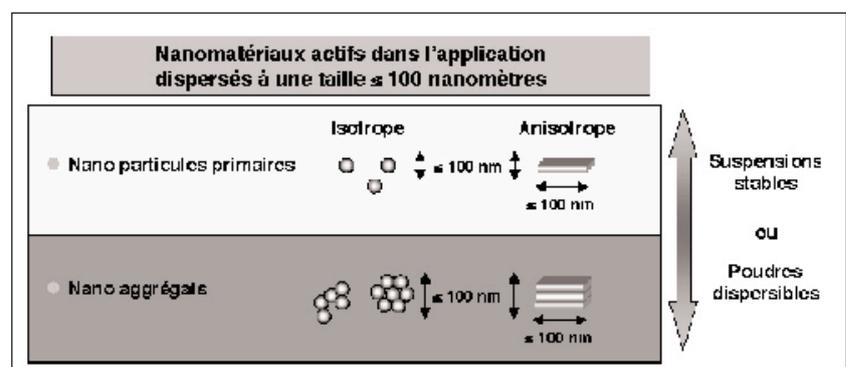


Figure 4 – Matériaux 3D et dispersions – Définitions.

silices précipitées peuvent donc se présenter sous différentes formes : poudres, microperles, granulés... Ces différentes présentations résultent de l'agglomération contrôlée, en aval de la précipitation, d'agrégats de quelques dizaines de nanomètres.

On voit bien que les propriétés finales dans l'application sont pilotées directement par les toutes premières étapes de synthèse et par l'étape de mise en forme finale.

La mise au point des silices de haute dispersibilité (HDS) par Rhodia a permis la mise au point par la société Michelin d'une nouvelle génération de pneumatiques, le « pneu vert », ayant des performances significativement améliorées, d'une part en terme de résistance au roulement – et par voie de conséquence sur la consommation du véhicule –, et d'autre part de tenue de route (adhérence) sur sol mouillé ou enneigé (Figure 4). L'introduction de nanoparticules inorganiques, et en particulier de silices, est vite apparue plus généralement comme un moyen de modifier les polymères, afin de donner naissance, via un choix judicieux des composants et de la méthode d'élaboration, à des matériaux manifestant des propriétés mécaniques améliorées. De nombreux développements sont en cours, qui doivent conduire à de nouveaux plastiques plus performants, tant pour des applications dans les matériaux massifs que dans les fils ou fibres : les matériaux Nanocomposites.

Les nanocomposites lamellaires

Les matériaux Nanocomposites représentent aujourd'hui une branche très active de la Recherche avancée. Le développement de nouveaux matériaux composites (thermoplastiques ou thermodurcissables) est fortement lié au développement de charges et renforts, au mode d'incorporation de ceux-ci. Les applications vont de l'automobile aux engins spatiaux, en passant par l'emballage de denrées périssables. Les charges et renforts micrométriques employés aujourd'hui permettent d'améliorer toutes les propriétés d'usage thermique, mécanique, tenue au feu, propriétés électriques, tenue chimique, propriétés barrière etc.

Toutefois ces potentialités ont leurs limites : densité élevée, perte de transparence, difficultés de mise en œuvre. Depuis 1993 et plus nettement depuis 1998, l'ensemble de l'industrie a commencé à s'intéresser à une nouvelle classe de charges nanométriques (une dimension de l'ordre du nanomètre), conférant aux matrices polymères un nouveau profil de propriétés qui n'était pas atteint jusqu'à présent. Le premier intérêt est le rapprochement d'ordre de grandeur entre les entités polymériques et ces charges (ordre de grandeur des rayons de gyration des macromolécules). De plus la très grande surface spécifique développée par ces particules (plusieurs centaines de m^2/g), combinée aux interactions fortes entre polymère et objets nanométriques, entraînent une nouvelle structuration volumique à toute échelle. On observe une véritable modification en profondeur du matériau, mise en évidence soit par des techniques d'observation (MET, MEB) soit par des techniques dérivées (WAXS, DMA, DSC par exemple). Il s'agit alors plus d'un nouveau matériau homogène à l'échelle sub-micronique que d'un mélange hétérogène à l'échelle du micron.

La taille des nanoparticules est si petite, la surface développée si grande, que la modification du matériau est évidente dès l'addition de quelques % voire quelques dixièmes de % de nanoparticules. Le matériau est nanostructuré dit-on. Cette modification en profondeur respecte d'autres qualités telles que la transparence, la fluidité, les propriétés chimiques, etc. Une sorte d'alliage organo-minéral. A titre d'exemple, on calcule que l'addition de 1 % de nanoparticules minérales de 5 nm dans un polymère donne une densité de l'ordre de 400 millions de milliards de particules par cm^3 .

Un consensus partagé par le monde industriel donne un volume de l'ordre de 500 000 tonnes de Nanocomposites à l'horizon 2009. Déjà quelques applications ont vu le jour (PA6 pour barrière, PE-EVA pour câble, essais divers en automobile). Le tonnage en 2003, modeste, est estimé à quelques milliers de tonnes. Compte tenu des enjeux, les informations, les rumeurs et les effets d'annonce sont nombreux, la confidentialité très forte et il est difficile de donner des

chiffres très précis. De nombreux colloques, conférences internationales, réseaux ont vu le jour depuis quelques années. A noter que le temps moyen de développement de matériaux nouveaux est en général de l'ordre de 5 ans minimum et de dix ans en règle générale car la chaîne de valeur (du matériau jusqu'à l'application finale) est complexe et fait intervenir un très grand nombre d'acteurs qui ont chacun leur délai de réaction propre de l'ordre d'au moins un an, de 3 à 5 ans pour l'automobile.

Selon la nature de la matrice, thermoplastique ou élastomère par exemple, les performances de matériaux renforcés par des charges minérales se déclinent différemment : dans les thermoplastiques, elles conduisent en général à une augmentation de la rigidité, mise à profit pour améliorer le comportement du polymère à haute température, augmenter sa dureté. Pour des applications emballage ou transport de fluide on s'intéresse également beaucoup aux propriétés de barrière aux gaz ou aux liquides. Comment les améliorer ?

Sans être la solution universelle à toutes les questions posées par les utilisateurs de plastiques, les nanocomposites font progresser nettement ce domaine très compétitif et très mature. L'industrie s'intéresse depuis plus de dix ans à des nanoparticules d'un genre particulier : les lamellaires nanométriques, dont les représentants les plus connus sont les argiles de type Montmorillonite par exemple.

Point fondamental : le compromis de performances auquel on peut aspirer est dépendant de la qualité de l'état de dispersion des nanoparticules au sein du composite. C'est réussir, à l'échelle du nanomètre, à faire se disperser spontanément dans les trois dimensions un jeu de cartes dont les cartes seraient assez collantes. Il s'agit donc non seulement de maîtriser la synthèse ou la préparation des nanoparticules, mais aussi de contrôler leur mise en œuvre dans le matériau. Pour cela, on a recours à des techniques d'intercalation (mettre de la crème dans un mille feuille) : on gonfle par des molécules courtes les espaces entre les feuillettes pour favoriser l'effeuillage –exfoliation– des lamelles. Les Montmorillonites, matériaux naturels présentent des propriétés très intéress-

santes mais cela ne va pas sans difficultés : technique connue et maîtrisée dans les PA6 mais couleur jaune (produits miniers non purs à 100%, emploi d'ammonium d'intercalations peu stables thermiquement etc.). Ou bien succès partiel dans les Polyoléfines type PP mais alors usage de PP fonctionnalisés en grande quantité, ce qui va en sens contraire de l'économie recherchée, tout en pénalisant les propriétés mécaniques. Un autre registre de difficultés réside dans la complexité de préparation : les montmorillonites traitées ammonium sont faciles à obtenir en suspension, mais la séparation solide/liquide est très difficile.

C'est en répondant à ce double défi de la préparation ou de la synthèse contrôlée de minéraux lamellaires que Rhodia contribue au développement de nouveaux nanocomposites (Figure 5).

La dépollution des automobiles

Depuis les années 1980, les systèmes catalytiques de dépollution des automobiles à essence ont permis de diminuer les émissions de CO, NOx, et hydrocarbures imbrûlés au niveau de quelques dizaines de ppm. Ils mettent en œuvre des métaux précieux, le véritable catalyseur, nano dispersés sur un support mixte d'alumine et d'oxyde mixte de cérium et de zirconium, éventuellement dopés. Mais le développement de ces systèmes ne s'est fait que grâce à la mise au point de poudres texturées à l'échelle nanométrique, qui ont permis de garder des surfaces spécifiques élevées à haute température, et donc des réactivités suffisantes et constantes pendant la durée de vie du catalyseur (160 000 kilomètres au moins).

On arrive ainsi à construire, par agrégation contrôlée de particules, des structures dites méso poreuses, de taille de pore contrôlée (par exemple 3.5 nm), stables à 800°C.

Plus récemment, et en tirant profit de l'expertise ainsi développée sur la synthèse des oxydes de cérium et en l'adaptant à la mise en œuvre de dispersions stables, les nanoparticules d'oxyde de cérium, pures ou dopées par du fer, ont trouvé une nouvelle application dans la

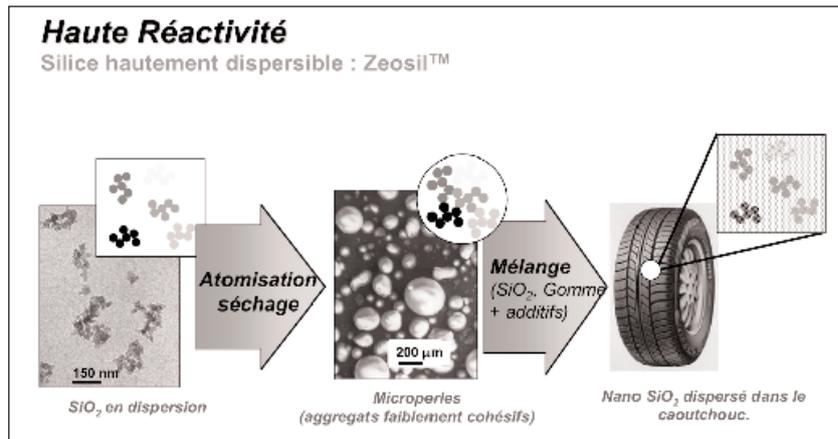


Figure 5 – Une application pratique des nanoparticules pour une conduite plus sûre et plus respectueuse de l'environnement. Verrou : la dispersion.

dépollution des moteurs diesel, qui consiste à consommer les particules de suies issues de la combustion incomplète des moteurs diesels (les fameuses fumées noires !).

En effet, récemment, des filtres à particules ont été développés pour piéger les suies issues de la combustion du gazole en sortie du moteur. Sans intervention extérieure, le filtre se colmate, ce qui entraîne simplement l'arrêt du moteur par étouffement. Ces filtres n'ont donc de réelle utilité que s'il est possible de les régénérer de façon régulière. Rhodia a proposé d'utiliser un catalyseur à base de cérium, permettant d'abaisser de façon sensible la température d'autoinflammation des suies.

L'utilisation d'un additif à base de nanoparticules d'oxyde de cérium de 5 nm a permis une avancée majeure : parfaitement dispersé dans le gazole, le catalyseur est alimenté en continu dans la chambre de combustion et se retrouve piégé au cœur même des particules de suie. Une fois dans le filtre, ces parti-

cules de suie sont oxydées par l'oxyde de cérium. L'efficacité de ce catalyseur nano particulaire est telle que le simple ajout de moins de 10 ppm d'additif dans le gazole permet la combustion complète des suies en quelques minutes. Aujourd'hui, deux litres de suspension d'EOLYS™ permettent une dépollution efficace d'un moteur diesel pendant 120 000 à 150 000 kilomètres. Les nouvelles générations d'additif en cours de mise au point fonctionneront jusqu'à 240 000 kilomètres.

Mais ce développement n'a été rendu possible que par la combinaison de plusieurs expertises :

- les nouveaux développements en synthèse minérale, et la capacité de contrôler, par des méthodes de préparation en voie humide, les tailles de particules (de 5 à 100 nm, mono disperses autour d'une taille donnée),
- l'apport de la physico-chimie des milieux dispersés, qui a permis de stabiliser les suspensions de nanoparticules, en milieu aqueux acide ou basique,

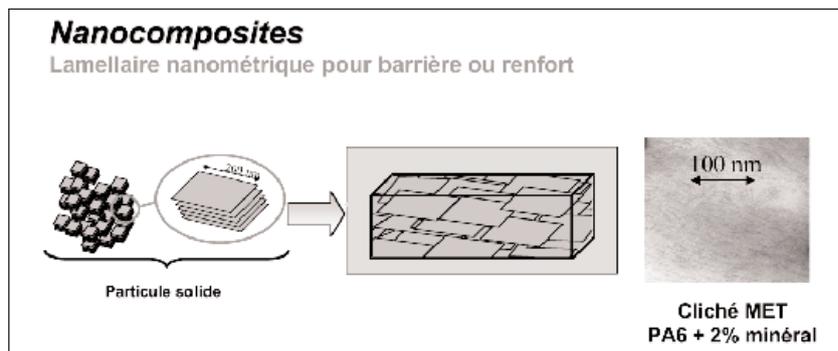


Figure 6 – Les Nanocomposites : une avancée pour les polymères – Structuration des matériaux à l'échelle du nanomètre. Un verrou : la dispersion.

voire organique grâce à la possibilité d'effectuer un transfert de phase, et surtout à forte concentration - jusqu'à 400 g/l - alors que dans les méthodes traditionnelles de synthèse les suspensions de petites particules sont en général très diluées. La stabilisation des nanoparticules en milieu organique permet d'obtenir des suspensions colloïdales stables et parfaitement compatibles avec les différents gazoles du marché (par exemple solubles sans problème de démixtion). On voit ici encore que le produit nano particulaire est dessiné dès le début du projet par la prise en compte très en amont des contraintes d'emploi (ici le système carburant - moteur - échappement). Une modification du produit très en aval ne permettant généralement pas de « revenir en arrière » pour l'adapter. A cette échelle nanométrique, tous les détails comptent, pourrait-on dire.

Quels atouts pour réussir ?

La force des grands groupes chimiques peut se décliner en trois points :

- *Expertises en Recherche et Développement* avec des équipes multidisciplinaires, développées depuis des décennies. Les liens noués avec les laboratoires de recherche publics, en France comme à l'étranger, contribuent de façon déterminante à l'émergence de nouveaux concepts, procédés, applications. A prendre en compte également : les jeunes pousses, souvent issues de la Recherche publique, financées par des collectivités ou des capital-risqueurs. On l'a vu au long des exemples, les nanotechnologies ne sont pas une nouvelle science mais la combinaison de la plupart d'entre elles.

- *Expertise industrielle* : Les grands groupes chimiques savent aussi comment disposer de matières premières à coût compétitif. Les investissements

majeurs sont déjà réalisés, on l'a dit plus haut, et s'accompagnent de savoir-faire complets en maîtrise des procédés et des risques associés. Ces Entreprises maîtrisent les expertises en écotoxicologie et impact sur l'environnement. On sait toute l'importance qu'il faut accorder aux études d'impact Hygiène Environnement Sécurité pour développer un système de développement durable.

- Enfin une *approche marché*, dont l'importance est encore plus fondamentale aujourd'hui qu'hier. On ne vend plus un produit, une formule chimique, mais une fonction nécessaire à une application, un marché donné. D'où l'importance des partenariats avec des clients stratégiques. Comment savoir ce qu'il faut faire, si l'on ne sait pas ce que le client veut ?

De plus, on ne part pas de rien : un courant d'affaire existant permet de passer en douceur d'un produit à un autre, sans rupture de financement.

Il y a nécessité pour réussir de commencer en premier lieu par la sélection de marchés de taille suffisante et de choisir des partenaires dotés de ressources importantes en R&D, application et/ou connaissance marché, aidés par des laboratoires de recherche travaillant les compréhensions de fond. Les nanotechnologies posent le décor d'un champ d'investigation passionnant pour relever les défis posés. Les programmes-cadres d'aide publique sont à ce stade des moteurs d'innovation déterminants.

Que choisir ? L'analyse par « fonction » est une grille d'analyse intéressante car elle permet d'identifier des fonctionnalités à grand rayon d'action permettant ainsi de concentrer les efforts sur les points durs à résoudre, sur les problèmes généralisables à de grandes familles d'application. Exemple : Pour les polymères nanocomposites (Automobile, emballage, câblerie, etc.) on retrouve les mêmes problématiques de dispersion

des charges. A contrario la fonction ignifugation va concerner la câblerie, l'électronique, le bâtiment etc. Pour les peintures et les vernis un problème commun est la compatibilisation avec la base solvant ou aqueuse, l'inertie chimique, la stabilité du mélange. Une fois ces verrous technologiques résolus en amont, il sera par exemple facile de généraliser les développements Anti-UV pour vernis bois à des vernis ultra durs pour automobile ou pour de nouvelles applications en cosmétique.

Quelques facteurs de succès apparaissent déterminants et rythment la démarche d'innovation. Ces points clés sont repris dans le tableau 1.

Conclusions

Rhodia applique depuis quelques années un modèle de fertilisation croisée à l'échelle du Groupe. Cette fertilisation croisée entre Entreprises - par exemple entre l'Entreprise technologique « Terre Rares - Systèmes Silices et Silicones » d'une part, l'Entreprise Marché « produit pour le bâtiment » d'autre part, associé à une Entreprise spécialisée dans les surfactants - dans un cadre de réseaux d'expertises rassemblant universitaires et industriels partenaires, permet par la coopération des équipes de Recherche, de marketing ou commerciales et de spécialistes de production, rassemblées dans un projet commun pour servir un partenaire clef, de répondre aux défis des Nanotechnologies et de leurs problématiques spécifiques, tel que cela a été décrit ici. ●

REMERCIEMENTS

Un grand merci à Patrick Maestro et Franck Fajardie pour leur aide efficace, les clichés et nos discussions fructueuses.

