

**UNIVERSITE DE RELIZANE
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

INTITULE DU MODULE

**NANOTECHNOLOGIE
ET
NANOMATARIAUX**

Présenté par
Dr. HABIBI Samir

MODULE DE GENIE MECANIQUE
MASTER II
SPÉCIALITÉ GÉNIE DES MATÉRIAUX

STRUCTURATION DU MODULE

- INTRODUCTION
- EPISTÉMOLOGIE
- ECHELLE DU NANOMETRE
- NANOTECHNOLOGIES ET NANOSCIENCES
- DEFINITION DES NANOMATERIAUX
- FAMILLES DES NANOMATERIAUX (TYPES)
(A- NONO-OBJETS / B-MATERIAUX NANOSTRUCTURES)
- GÉNÉRATIONS NANOTECHNOLOGIQUES
- MODALITES D'OBSERVATION DES NANO-OBJETS (LES NANOPARTICULES)
- PROPRIETES DES NANOMATERIAUX (NANOPARTICULES)
- DOMAINES D'APPLICATIONS DES NANOTECHNOLOGIES
- METHODES DE PRODUCTION
(BOTTOM-UP /TOP-DOWN)
- PROCEDES DE FABRICATION
(PAR VOIES MECANIQUE-PHYSIQUE-CHIMIQUE)
- RISQUES LIÉS AUX NANOMATÉRIAUX/ENVIRONNEMENT
- CONCLUSION
- RESUME
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DEUXIEME PARTIE

PROCEDES DE FABRICATION

Depuis un demi-siècle environ, sont apparues des techniques nouvelles de refroidissement rapide, de chimie dite douce, techniques sol-gel par exemple, qui permettent d'accéder à des tailles de grain beaucoup plus faibles.

D'autres méthodes de production sous arc électrique, laser, plasma ou micro-ondes ont permis d'accéder à des matériaux particuliers de très petite taille.

Il a été ainsi possible d'obtenir des tailles de grain de dimensions de l'ordre des tailles caractéristiques des défauts qui gouvernent certaines propriétés comme :

- les dislocations (propriétés mécaniques),
- les parois de Bloch (propriétés ferromagnétiques),
- les phénomènes qui n'interviennent qu'à l'échelle du nanomètre ou en dessous (effet tunnel, effets de « confinement » lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde des particules – électrons, photons – qui interviennent dans le phénomène étudié). Ces dimensions, selon les cas, varient entre quelques nanomètres et 100 nanomètres.

En parallèle de cette démarche de miniaturisation, dite "top-down", se développe une autre démarche, dite "bottom-up", qui consiste à construire de façon contrôlée à partir d'atomes et de molécules de nouveaux édifices et structures. Les procédés d'élaboration de ces matériaux constituent un champ d'investigation nouveau qui reste à développer.

Les procédés actuels permettant l'élaboration de nano-objets sont classés en 3 grandes catégories :

- élaboration par voie physique,
- élaboration par voie chimique,
- élaboration par méthode mécanique.

Compte tenu de la complexité des applications et de l'évolution rapide des techniques, il paraît difficile de donner une liste exhaustive des procédés utilisés ou en développement. Quelques exemples parmi les procédés les plus couramment utilisés pour la fabrication de nano-objets sont présentés ci-après.

Par voie mécanique

Mécanosynthèse

La technique dite de mécanosynthèse consiste généralement à broyer des poudres micrométriques (1 à 30 μm) de plusieurs alliages pour les incorporer.

La caractéristique essentielle de cette technique est de permettre l'obtention de nano-précipités ou nano-objets dispersés de façon homogène au sein de la matrice.

Elle est par ailleurs adaptée à la production de matériaux en quantité qui s'expriment en kilogrammes, voire en tonnes, contrairement aux autres techniques.

Consolidation et densification

Lors d'un travail mécanique intense (métaux et intermétalliques uniquement), le processus qui permet de convertir un matériau pulvérulent en une pièce massive comporte deux étapes : une opération de compactage mécanique et une opération de frittage, libre ou sous charge.

- compactage à froid : Opération qui peut s'effectuer soit par pressage à sec, soit, dans les cas difficiles, par addition d'un lubrifiant ou par pressage humide. Le compactage humide est bien adapté aux céramiques et surtout aux oxydes. Avantage du compactage humide : gain considérable sur la température ou le temps de frittage.
- frittage : opération qui permet, par diffusion atomique à chaud, d'établir des ponts de matière entre les grains et ensuite de réduire la porosité.
- par Compression Isostatique à Chaud (CIC): on réalise ainsi les deux opérations ci-dessus en une seule étape.
- croissance des grains pendant la densification : l'enjeu le plus important pour les procédés de frittage des nanomatériaux est d'éviter la croissance des grains pendant la densification.

Par voie physique

L'élaboration des nano-particules (amas) peut être réalisée à partir d'une phase vapeur. Cette phase est extraite d'un matériau source par chauffage (fusion en creuset ou sans creuset), par bombardement (faisceau d'électrons, pyrolyse laser). Dans la plupart des cas, la vapeur du solide que l'on souhaite former est refroidie par collisions avec un gaz neutre et devient donc fortement sursaturante (condensation en gaz inerte). Le matériau est collecté le plus rapidement possible sur une paroi froide, de façon à éviter la croissance ou la coalescence des amas. Souvent, l'appareil d'élaboration dispose d'un sas réunissant la chambre de collecte des poudres et le dispositif de compaction afin d'éviter toute pollution atmosphérique. Les poudres nanométriques sont en effet très réactives ; elles peuvent même dans certains cas être pyrophoriques¹.

Une autre voie d'obtention de nano-poudres consiste à utiliser l'action de micro-ondes sur des poudres de taille millimétrique. Cette technique a comme avantages d'être non polluante et adaptée à une production en continu de poudres de toute nature.

Par voie chimique

Sont listées ci-dessous quelques techniques de fabrication par voie chimique couramment utilisées.

Les réactions en phase vapeur

Les matériaux précurseurs vaporisés sont introduits dans un réacteur CVD (Chemical Vapor Deposition) dans lequel les molécules de précurseurs sont adsorbées à la surface d'un substrat maintenu à une température adaptée. Les molécules adsorbées sont soit décomposées thermiquement, soit elles réagissent avec d'autres gaz ou vapeurs pour former un film solide sur le substrat.

Cette technique est utilisée pour l'élaboration de certains nanomatériaux tels que les quantum de semiconducteur, les matériaux nanostructurés céramiques, les nanotubes de carbone, le diamant.

Les réactions en milieu liquide

La synthèse en milieu liquide est le plus souvent effectuée à partir d'une solution aqueuse ou organique contenant les réactants. La précipitation des nanoparticules est obtenue par une modification des conditions de l'équilibre physico-chimique. Sont distinguées :

- la co-précipitation chimique, technique facile à mettre en oeuvre et la plus utilisée pour des productions industrielles à fort volume de matériaux de base bon marché,
- l'hydrolyse permettant de produire des particules fines, sphériques avec une pureté chimique améliorée, une meilleure homogénéité chimique et un contrôle de la taille des particules.

Les techniques sol-gel

Les techniques sol-gel permettent de produire des nanomatériaux à partir de solutions d'alkoxydes ou de solutions colloïdales. Elles sont basées sur des réactions de polymérisation inorganiques.

L'intérêt du procédé sol-gel réside dans la possibilité de contrôler l'homogénéité et la nanostructure au cours des premières étapes de fabrication.

Cette technique permet la production de pièces massives mais aussi de dépôts superficiels sur des plaques ou des fibres. Elle est également utilisée pour la production de composites fibreux.

Principaux procédés d'élaboration des nanomatériaux

Type de procédés	Définitions
<i>La voie physique</i>	L'élaboration de nano-particules peut être réalisée par l'action de micro-ondes ou à partir d'une phase vapeur extraite d'un matériau source par chauffage (fusion en creuset ou sans creuset, pyrolyse laser) ou par bombardement. L'ablation laser, la décharge plasma ou la décomposition catalytique sont des techniques plus spécifiquement utilisées dans la fabrication de nanotubes de carbone. Enfin, des couches minces d'épaisseur nanométrique peuvent être réalisées par PVD (Physical Vapor, Deposition).
<i>La voie chimique</i>	Les techniques de fabrication par voie chimique les plus couramment utilisées sont : • les réactions en phase vapeur : Réaction dans un réacteur CVD (Chemical Vapor Deposition), • les réactions en milieu liquide, • les techniques sol-gel.
<i>Les méthodes mécaniques</i>	Les techniques mécaniques d'élaboration des nanomatériaux sont : • <u>la mécano-synthèse</u>, technique de broyage qui permet en particulier l'obtention de nano-précipités ou nano-objets dispersés de façon homogène au sein de la matrice, • <u>les opérations de compactage et de frittage</u>, • <u>les techniques de forte déformation</u> (torsion, extrusion...) développées pour l'obtention de nano-cristaux et nano-structures.

RESUME

Les nanotechnologies sont un domaine prometteur et un des domaines dont la croissance est la plus rapide au niveau de la recherche scientifique, du développement technologique et de l'innovation industrielle. Pour l'industrie alimentaire, les nanotechnologies offrent des nouvelles perspectives intéressantes, que ce soit sur le plan de la sécurité alimentaire et du contrôle de la qualité ou bien de nouveaux ingrédients et de l'utilisation plus efficace d'ingrédients ou de produits phytosanitaires. Toutefois, les nanotechnologies suscitent également des questions auxquelles une réponse doit être donnée rapidement. Dans le présent avis, on fait le point sur la situation actuelle et les lacunes au niveau de la définition et de la classification des nanoparticules. On expose aussi l'état actuel des connaissances à propos des aspects toxicologiques, des applications (réelles ou potentielles) et de l'évaluation des risques des nanotechnologies et des nanomatériaux dans la chaîne alimentaire. Les problèmes posés par la communication vers les consommateurs et leur perception à propos de ces nouvelles technologies sont aussi abordés à côté des aspects stratégiques.

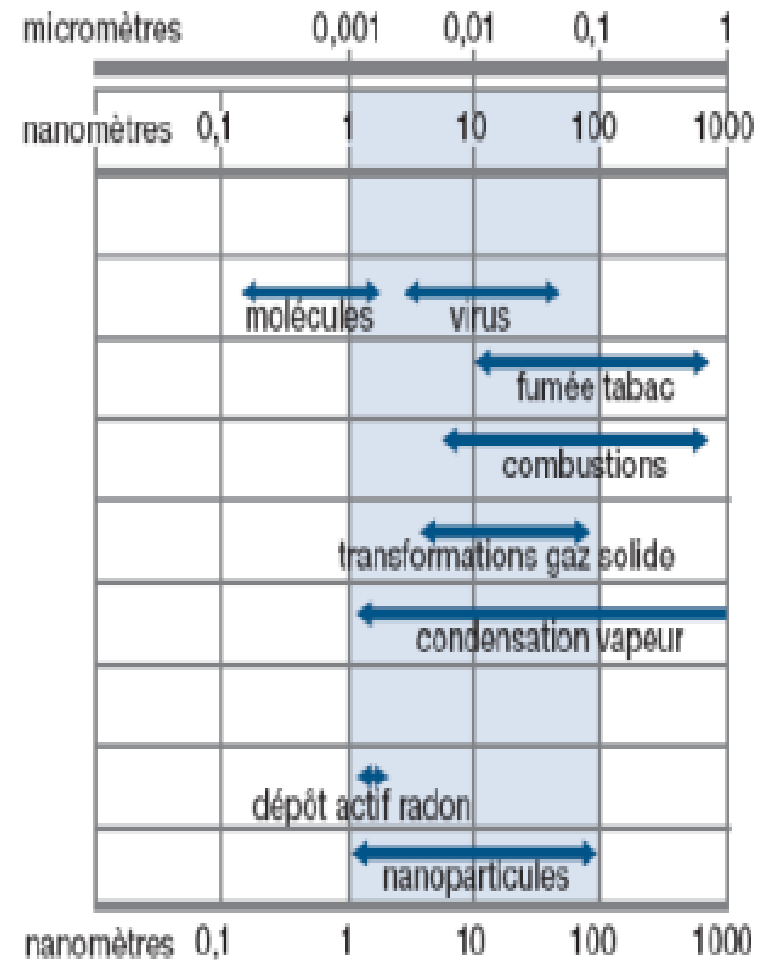
La législation européenne actuelle relative aux denrées alimentaires est sévère et semble suffisante pour couvrir les produits élaborés à l'aide des nanotechnologies. Néanmoins, il y a encore une série d'inquiétudes, en premier lieu concernant les aspects toxicologiques des nanomatériaux. Ainsi, le développement et la validation de tests fiables sont d'une importance cruciale pour l'évaluation objective de leurs propriétés toxicologiques potentielles et pour leur détection et caractérisation dans les denrées alimentaires. Enfin, une communication transparente vers le consommateur, tant par les industries que par les autorités, est indispensable pour une implémentation réussie de ces "nouvelles" technologies.

Perspectives

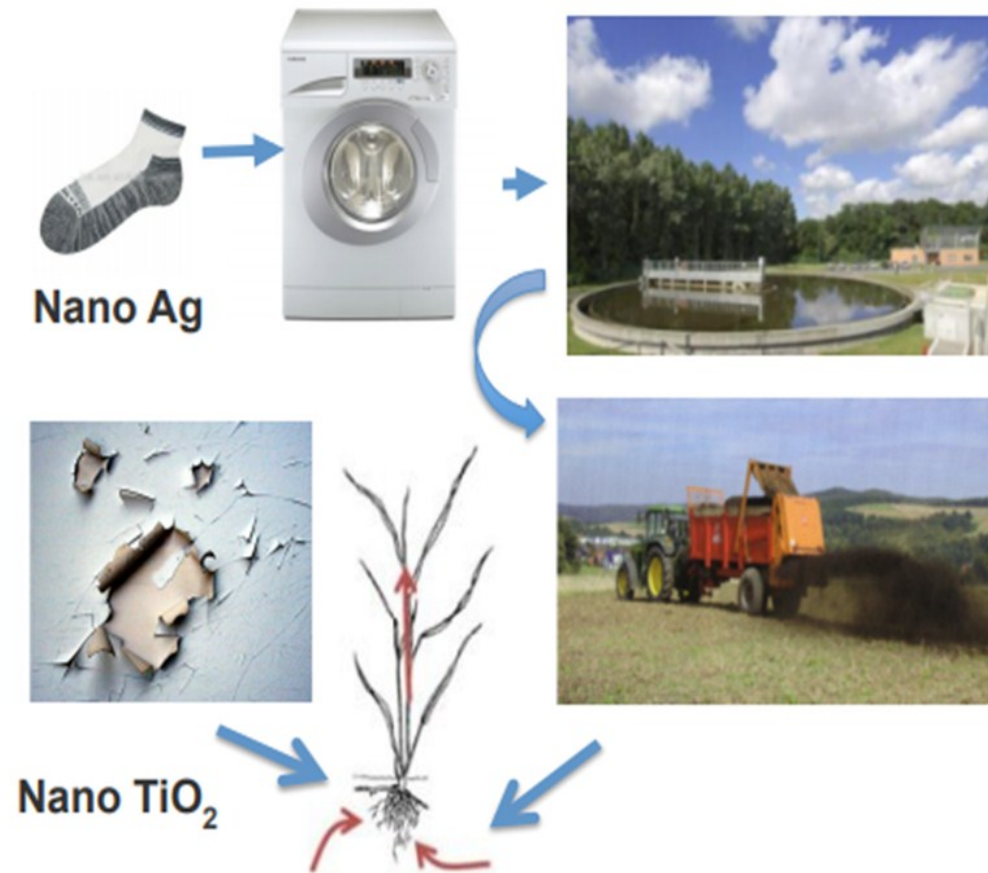
- Un monde **très vaste** à peine entrevu
- Un domaine de convergence des sciences (bio, chimie, physique...)
- Des **applications très nombreuses**, des plus utiles aux plus futiles
- Vers une démultiplication de la « puissance » des objets
- Des risques **environnementaux** à mieux évaluer

LES RISQUES LIÉS AUX NANOMATÉRIAUX

- De nombreuses interrogations sur les risques liés à l'utilisation des nanomatériaux
- Possibilité d'un rejet par les consommateurs ?
- Particules nanométriques :
 - Capacité d'atteindre les ramifications profondes des voies respiratoires
 - Capacité de traverser les barrières biologiques, comme les membranes cellulaires.
- Augmentation de la réactivité de certains matériaux (inerte → chimiquement actif)



Risques pour l'environnement ?



Un intérêt qui peut-être limité par les conséquences de la dissémination des nanoproducts dans notre environnement.



Nanoparticules et nanomatériaux, Synthèse et caractérisation

Les nanoparticules sont définies comme un objet dont les trois dimensions sont à l'échelle nanométrique. L'utilisation croissante des nanoparticules est liée au fait que les propriétés des matériaux changent quand la taille des objets se rapproche du nanomètre, de par la plus grande proportion d'atomes exposés sur la surface du matériau.

Les nanomatériaux, qui regroupent à la fois la famille des nanoobjets et les matériaux nanostructurés, constituent une source formidable d'innovations pour l'ensemble des secteurs industriels. A ce jour, plusieurs milliers d'objets de la vie courante tirent parti des propriétés spécifiques associées aux nanomatériaux, qui s'expliquent par la plus grande proportion d'atomes exposés sur la surface du matériau.

La diffusion et la commercialisation rapide de ces nouveaux matériaux permet autant d'espérer des solutions technologiques innovantes que d'apporter de nouvelles questions sur les risques émergents pour la santé et l'environnement.

Les outils analytiques pour étudier cette nouvelle matière sont relativement récents et aussi particuliers que les applications des nanoparticules et nanomatériaux qui en découlent.

Références utiles

- Dossier Web - Les nanomatériaux - : www.inrs.fr/dossiers/nanomateriaux.html.
- - Production et utilisation industrielle des particules nanostructurées -, ND 2277, 2007.
- - Les nanotubes de carbone : quels risques, quelle prévention ? -, ND 2286, 2008.
- - Les nanoparticules : un enjeu majeur pour la santé au travail ? -, EDP Sciences, 2007.
- Point des connaissances - Les silices amorphes -, ED 5033, 2007.
- - Particules ultra-fines et santé au travail. 1-Caractéristiques et effets potentiels sur la santé -, ND 2227, 2005.
- - Particules ultra-fines et santé au travail. 2-Sources et caractérisation de l'exposition -, ND 2228, 2005.
- Réalité Prévention n°9 : - Nanomonde : la nouvelle frontière de la prévention -, 2005.
- Travail et Sécurité n°652 : dossier intitulé - Le nanodéveloppement sous surveillance -, 2005.
- 30^{ème} congrès national de médecine et santé au travail, Symposium INRS :
- Les nanoparticules, un enjeu en santé au travail -, 5 Juin 2008.

