

**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

Les nanomatériaux produits de façon intentionnelle par l'Homme à des fins d'applications précises et possédant des propriétés spécifiques sont nommés « **nanomatériaux manufacturés** ».

Parmi ces nanomatériaux manufacturés, certains sont produits depuis déjà de nombreuses années dans des tonnages importants tels que le dioxyde de titane, le noir de carbone, l'alumine, le carbonate de calcium ou la silice amorphe. D'autres plus récents sont fabriqués dans des quantités moindres tels que les nanotubes de carbone, les quantum dots ou les dendrimères.

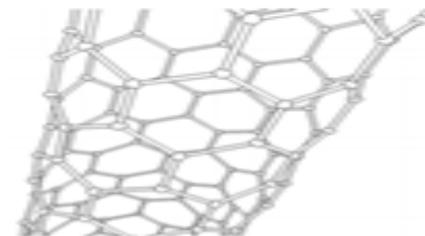
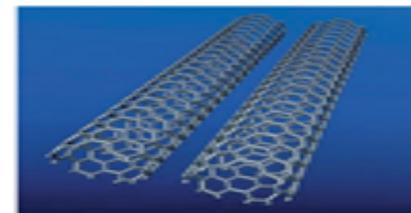
Il existe également des nanomatériaux produits par l'Homme de façon non intentionnelle, appelés parfois **particules ultra-fines**, issus de certains procédés thermiques et mécaniques tels que les fumées de soudage ou de projection thermique, les émissions de moteurs à combustion, etc.

Enfin, des particules ultra-fines naturelles sont présentes dans notre environnement, à l'image des fumées volcaniques ou des virus.

Les nanotubes de carbone (NT) : un matériau au cœur des nanotechnologies

Objet fascinant pour les scientifiques
Très nombreuses applications envisagées

- **Renfort mécanique**
- **Émission de champ**
- **Électronique**
- **Biologie / Médecine**



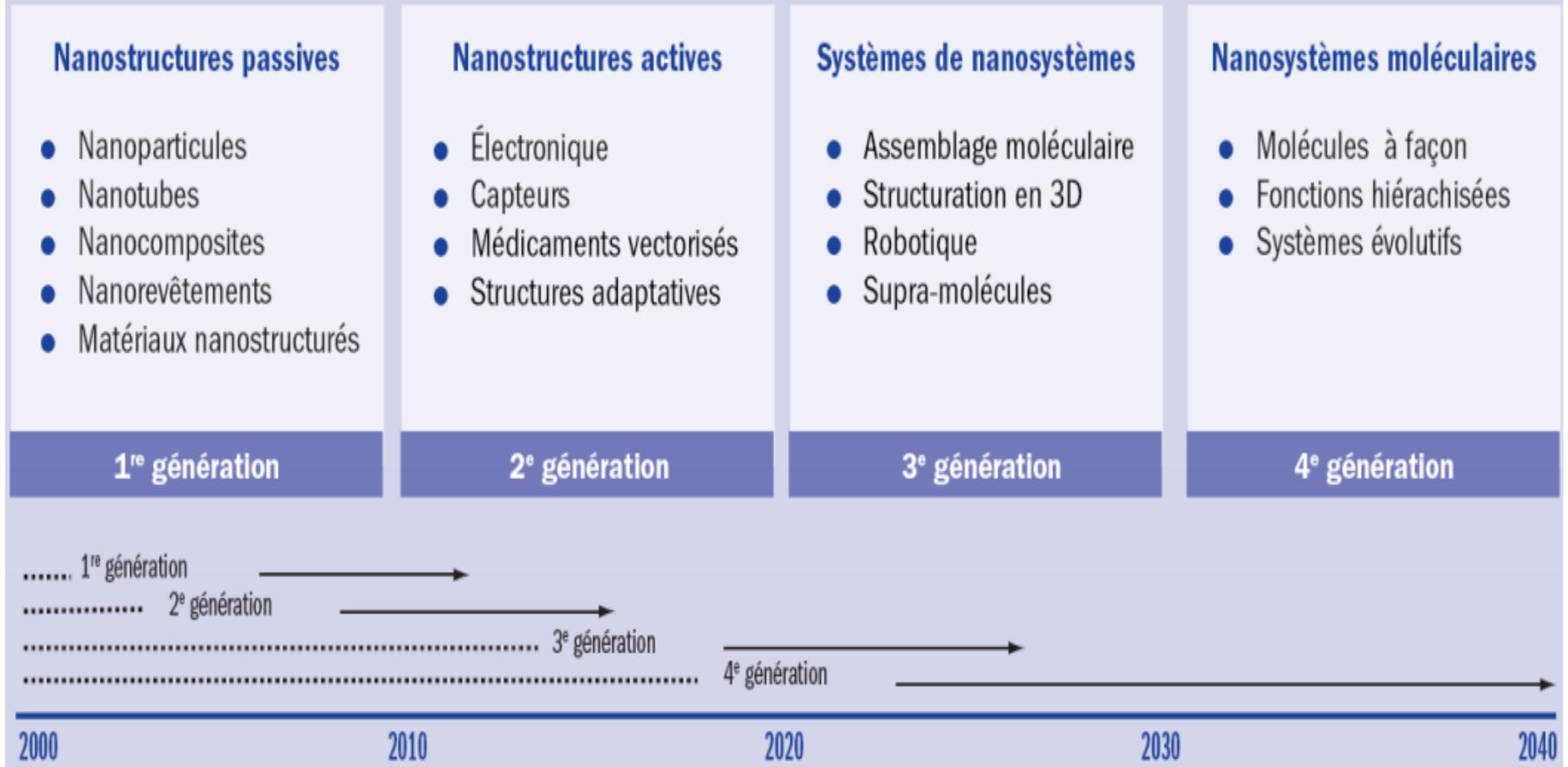
RECAPITULATION

Tableau 1 : La définition des nanomatériaux

Type de nanomatériaux	Définition
<i>Les nanomatériaux</i>	Un nano-matériau est composé ou constitué de nano-objets (dont la taille est comprise entre 1 et 100 nm) qui présentent des propriétés spécifiques de l'échelle nanométrique.
<i>Les nano-objets</i>	<p>Les nano-objets peuvent se présenter sous la forme de particules, fibres ou tubes (on parle de charges ou renforts), de couches minces ou de constituants structurels.</p> <p>Ils sont utilisés soit en tant que tels soit en vue d'élaborer des matériaux. Ces matériaux peuvent être regroupés selon 3 familles de produits :</p> <ul style="list-style-type: none">• les matériaux nano-chargés ou nano-renforcés,• les matériaux nano-structurés en surface,• les matériaux nano-structurés en volume.
<i>Les matériaux nano-renforcés</i>	Les nano-objets sont incorporés ou produits dans une matrice pour apporter une nouvelle fonctionnalité, ou modifier des propriétés physiques. Les nano-composites en sont un bon exemple.
<i>Les matériaux nano-structurés en surface</i>	Les nano-objets constituent les éléments de revêtements de surface. Les procédés de fabrication de ces revêtements de surface s'appuient sur des principes de dépôt physique (PVD, faisceau d'électrons, ablation laser...) ou chimique (CVD, épitaxie, sol-gel).
<i>Les matériaux nano-structurés en volume</i>	Les nano-objets peuvent également être les éléments de matériaux massifs qui, par leur structure intrinsèque nanométrique (porosité, microstructure, réseau nanocristallin) bénéficient de propriétés physiques particulières.

GÉNÉRATIONS NANOTECHNOLOGIQUES

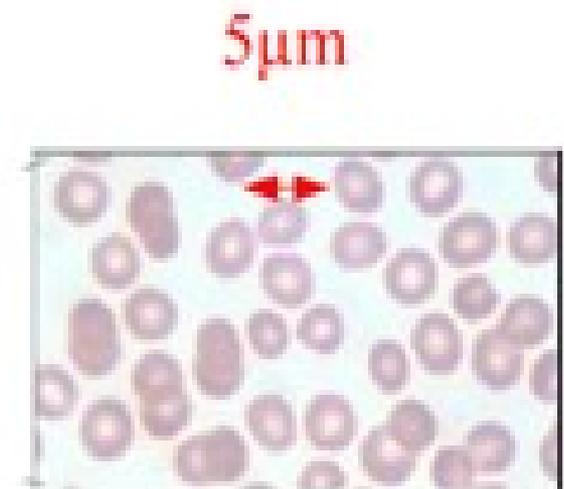
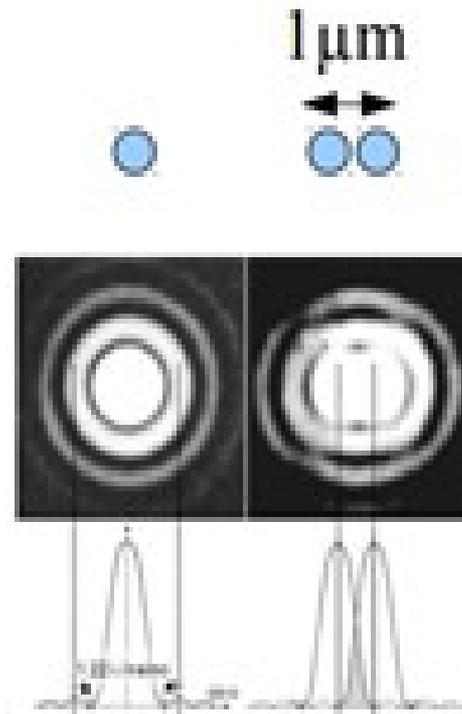
Développement des nanotechnologies - Les 4 générations de nanostructures/nanosystèmes



Haut Conseil de la Santé Publique (HSCP) : « *Nanotechnologies et santé publique* » ; Éric GAFFET, Directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) - *Nanomaterials Research Group* ; septembre 2008

MODALITES D'OBSERVATION DES NANO-OBJETS (LES NANOPARTICULES) ?

On ne peut pas « voir » des objets plus petits que $\sim 1\mu\text{m}$ avec de la lumière



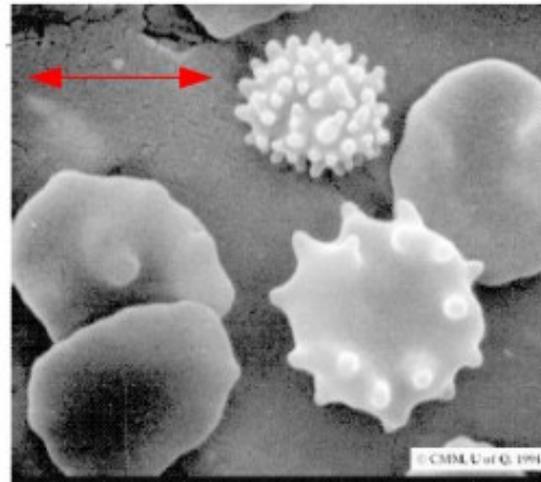
Globules rouges
X 400

Utiliser les électrons pour voir

La nature ondulatoire des électrons est utilisée pour l'imagerie haute résolution

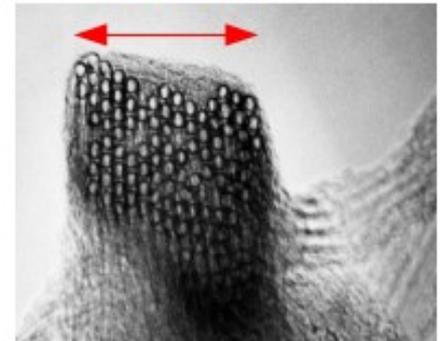


$5 \mu\text{m} = 5000\text{nm}$



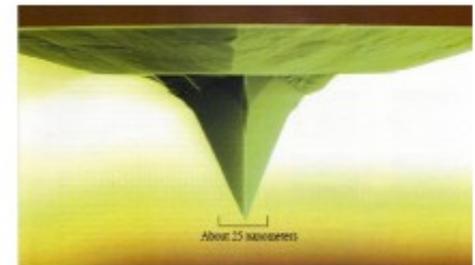
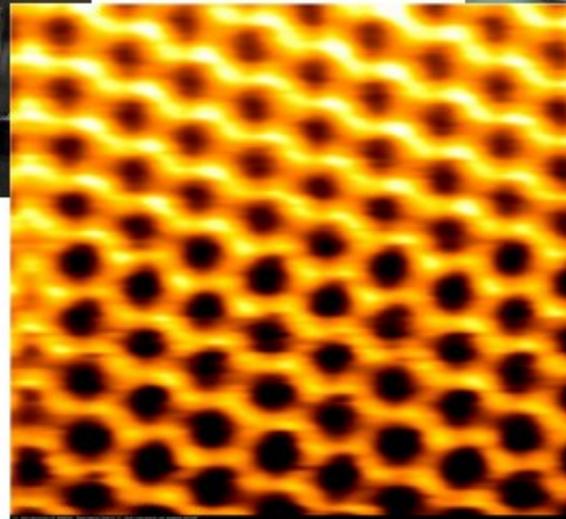
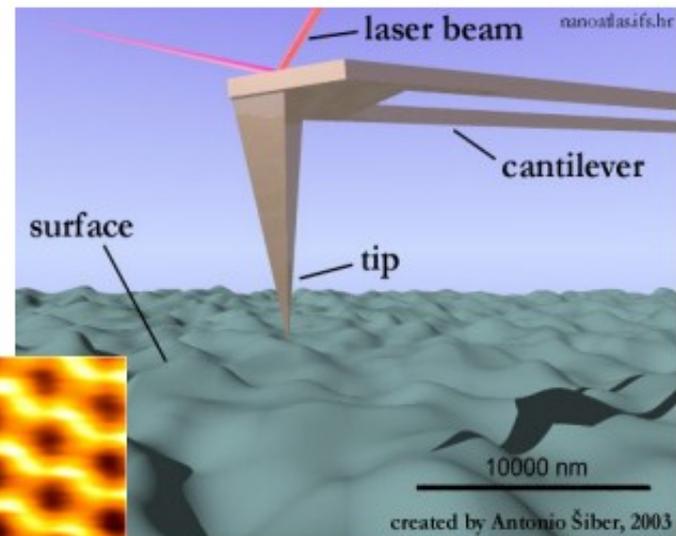
Globules rouges
X 4000

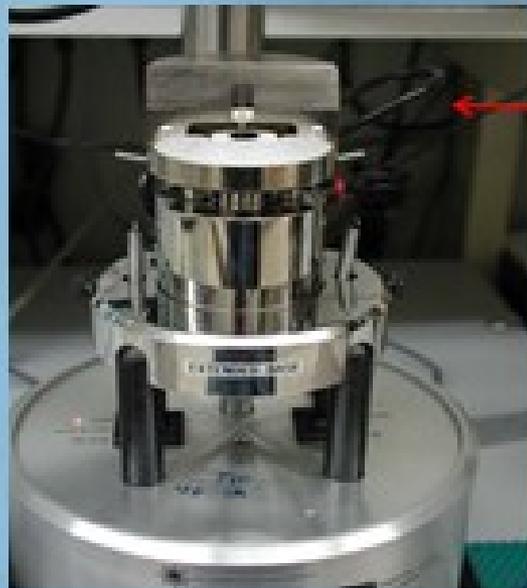
20 nm



Microscope à sonde locale

Microscope à Force Atomique (AFM)
Microscope à Effet Tunnel (STM)





Le STM

Le AFM



Il existe actuellement deux moyens de les identifier parmi des milliers d'atomes : le STM (Scanning Tunnel Microscope) ou microscope à effet tunnel et le AFM (Atomic Force Microscope). Le STM est composé d'une pointe si fine qu'elle est constituée de quelques atomes. Utilisant l'effet quantique en déplaçant la pointe sur la surface de manière contrôlée (ordinateur) il parvient à voir des atomes à leur propre échelle. Actuellement des études sont menées pour trouver d'autres outils : résonances magnétiques nucléaires, épitaxie par faisceau moléculaires et beaucoup d'autres*

PROPRIETES DES NANOMATERIAUX (NANOPARTICULES)

Tableau 3.1. Quelques propriétés physico-chimiques pertinentes des nanoparticules / nanomatériaux

Composition chimique	pureté, coating	P.ex. argent, carbone, silicium La composition chimique de la nanoparticule peut être différente de celle du coating ou de la capsule. Le coating peut ainsi influencer les propriétés de la particule (p.ex. vitamines aquasolubles qui deviennent solubles dans les graisses une fois encapsulées et vice versa). De plus, des impuretés peuvent être présentes.
Dimensions des particules	taille : différentes dimensions	Pour une sphère parfaite, on se base sur le diamètre, mais les nanoparticules peuvent présenter différentes formes et morphologies ('bucky ball', tube, 'fibre' ou bâtonnet, cristal ou amorphe, libre ou agrégat/agglomérat, etc.).
	structure primaire/secondaire	Les nanoparticules (dimensions primaires) peuvent former des agglomérats ou des agrégats (dimensions secondaires).
	distribution des tailles	Les nanoparticules se présentent rarement sous forme par exemple d'une poudre composée de particules d'une taille bien déterminée, mais constituent un ensemble de particules de différentes tailles.
	concentration en particules et en masse	Nombre de particules et masse des particules par volume (dispersion) ou par masse (poudre).
Propriétés de surface	rapport surface/volume	En général, plus ce rapport est grand, plus la particule est réactive.
	chimie de surface	Les nanoparticules peuvent interagir avec leur matrice, ce qui est susceptible de modifier la réactivité de surface, mettant ainsi en avant de nouvelles fonctionnalités.
	charge de surface	Le potentiel zêta (potentiel électrocinétique dans les systèmes colloïdaux) sera notamment déterminant pour la stabilité des nanosystèmes (suspensions, émulsion).

1.1.2 Propriétés

Les nouvelles propriétés obtenues avec les matériaux de taille nanométrique sont très variées :

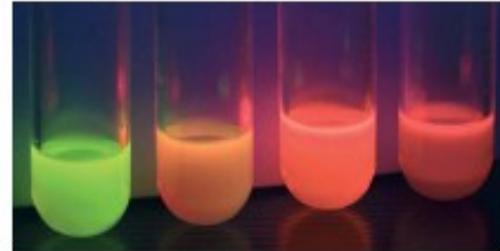
- l'effet sur les propriétés mécaniques se traduit par un phénomène de superplasticité ;
- les propriétés électriques peuvent être modifiées considérablement en terme de conductivité de matériaux réputés isolants ;
- les propriétés optiques du matériau sont améliorées du fait des dimensions des nanoparticules inférieures aux longueurs d'onde de la lumière visible ;
- les propriétés de transfert thermique peuvent être améliorées par ajout de nanoparticules ;
- l'incorporation d'argile augmente les propriétés de barrière vis-à-vis de l'eau et des gaz ;
- le comportement au feu des polymères peut être amélioré par utilisation de nanocomposites silicate-polymère ;
- la variation de dimension des domaines cristallins a un effet très important sur les propriétés magnétiques des matériaux ;
- les propriétés catalytiques des matériaux sont modifiées à l'exemple des nanoparticules d'or dans la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone.

Nanomatériaux : sous quelle forme ?

Nanopoudres agrégats, agglomérats

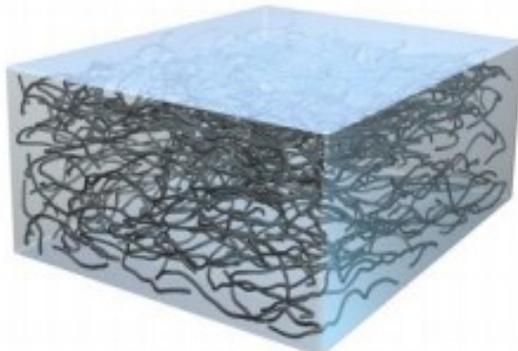


Solutions



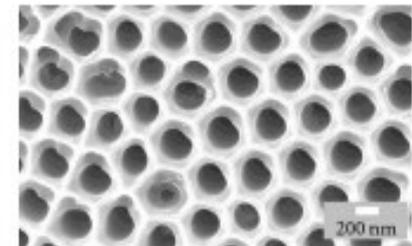
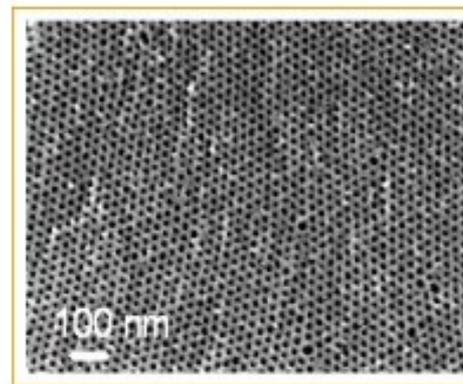
Matériaux contenant des nanoparticules

En volume, en surface



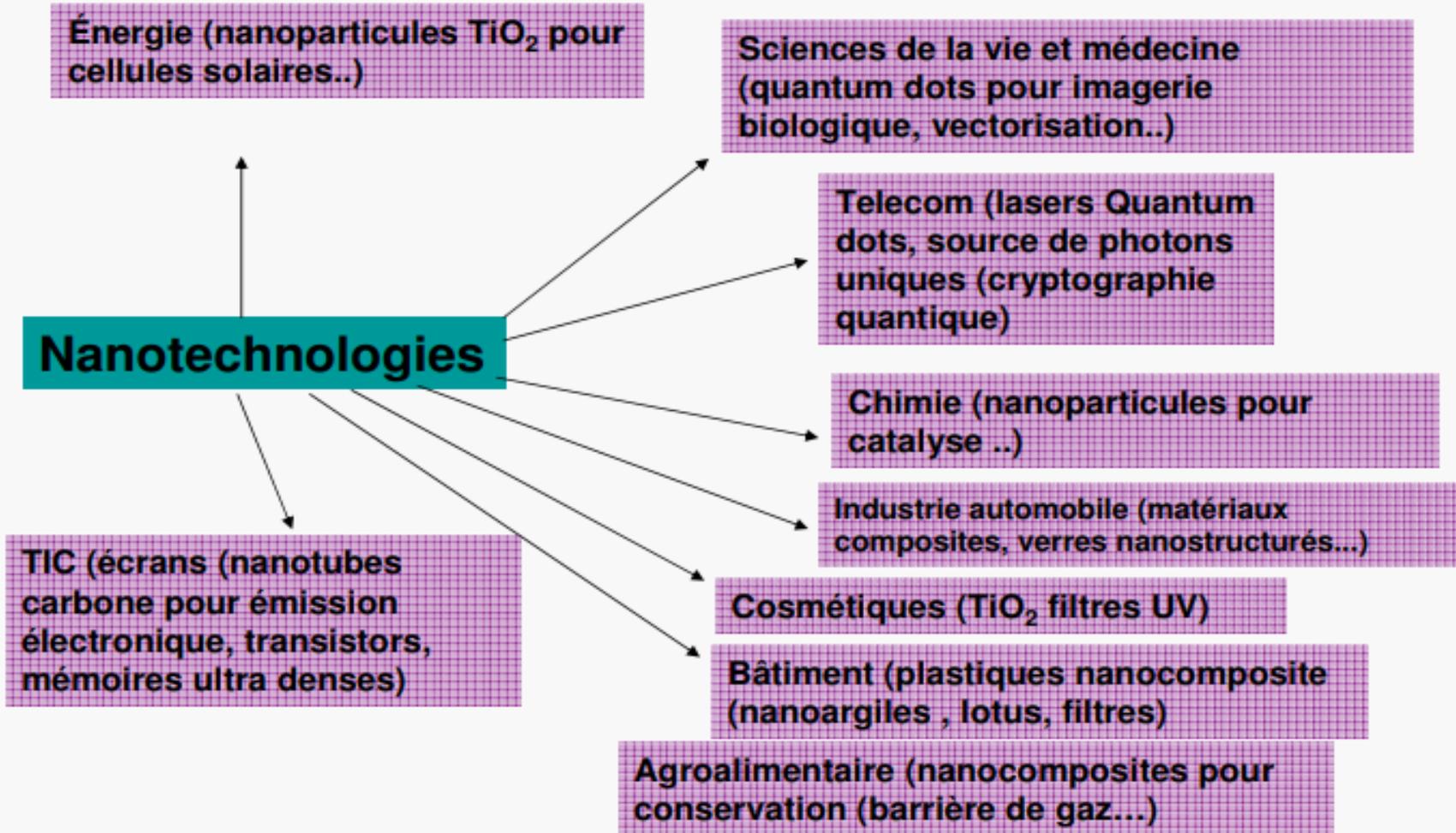
Matériaux nanoporeux

Structuration interne



DOMAINES D'APPLICATIONS DES NANOTECHNOLOGIES

Foisonnement des applications potentielles



Nanotechnologies: usages et applications

Nanomatériaux

Transport Cosmétiques Médical



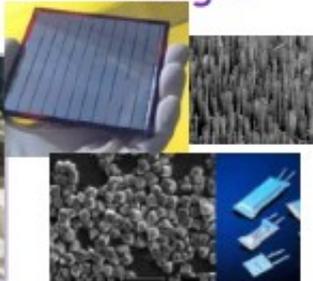
Alimentation



Bâtiment



Energie



Loisirs

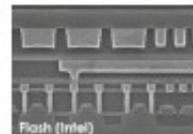


Textiles intelligents

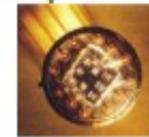
Risques sur santé et environnement ?

Nanodispositifs

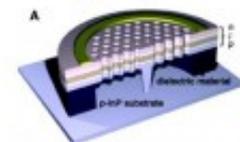
Nanoélectronique



Transistors, Mémoires, capteurs...



Optique

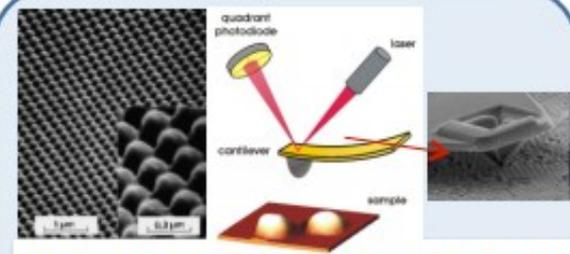


Nano laser

Invasifs

Vie privée, Questions éthiques

Techniques



Nanostructuration, mesure

Ouvrant indubitablement des perspectives très prometteuses, les nanotechnologies se sont déjà immiscées dans notre environnement quotidien.

Les secteurs d'activité utilisant les nanomatériaux pour des applications commerciales sont :

secteur d'activité	exemples d'applications actuelles et envisagées
automobile aéronautique & espace	<i>matériaux renforcés et plus légers ; peintures extérieures avec effets de couleur, plus brillantes, anti-rayures, anticorrosion et anti-salissures ; capteurs optimisant les performances des moteurs ; détecteurs de glace sur les ailes d'avion ; additifs pour diesel permettant une meilleure combustion ; pneumatiques plus durables et recyclables</i>
électronique & communications	<i>mémoires à haute densité et processeurs miniaturisés ; cellules solaires ; bibliothèques électroniques de poche ; ordinateurs et jeux électroniques ultra-rapide ; technologies sans fil ; écrans plats</i>
chimie & matériaux	<i>pigments ; poudres céramiques ; inhibiteurs de corrosion ; catalyseurs multifonctionnels ; vitres anti-salissures et autonettoyante ; textiles et revêtements antibactériens et ultra résistants ; membranes pour la séparation des matériaux (traitement de l'eau) ; couches ou multicouches fonctionnelles : isolation thermique</i>
pharmacie biomédical & biotechnologie	<i>médicaments et agents actifs ; surfaces adhésives médicales anti allergènes ; médicaments sur mesure délivrés uniquement à des organes précis ; surfaces biocompatibles pour implants ; vaccins oraux ; régénération des os et des tissus ; kits d'autodiagnostic</i>
cosmétique	<i>crèmes solaires transparentes ; pâtes à dentifrice plus abrasives ; maquillage et notamment rouge à lèvres avec une meilleure tenue</i>
santé	<i>appareils et moyens de diagnostic miniaturisés et nano détection ; tissus et implants munis de revêtements améliorant la biocompatibilité et la bio activité ; capteurs multifonctionnels ; analyses d'ADN ; membranes pour dialyse ; destruction de tumeurs par chauffage ; thérapie génique : nanovecteurs pour transfert de gènes ; microchirurgie et médecine réparatrice : nano-implants et prothèses</i>
énergie	<i>cellules photovoltaïques nouvelle génération ; nouveaux types de batteries ; fenêtres intelligentes ; matériaux isolants plus efficaces ; photosynthèse artificielle (énergie «verte») ; entreposage d'hydrogène combustible</i>
environnement & écologie	<i>diminution des émissions de dioxyde de carbone ; production d'eau ultra pure à partir d'eau de mer ; pesticides et fertilisants plus efficaces et moins dommageables ; couches non toxiques fonctionnelles de capteurs pour la dépollution environnementale ; récupération et recyclage des ressources existantes ; analyseurs chimiques spécifiques</i>
défense	<i>détecteurs et correcteurs d'agents chimiques et biologiques ; systèmes de surveillance miniaturisés ; systèmes de guidage plus précis ; textiles légers et qui se réparent d'eux mêmes</i>
secteur manufacturier	<i>ingénierie de précision pour la production de nouvelles générations de microscopes et d'instruments de mesure et de nouveaux outils pour manipuler la matière au niveau atomique</i>

3) Quelle est l'une des premières applications de la nanotechnologie ?

Cela semble un peu paradoxal, mais non la nanotechnologie est utilisée dans des cordes de raquettes de tennis pour obtenir une solidité plus importante. Les cordes de tennis sont composées de nanotubes de carbones. Ceux-ci sont aussi les principaux composants des fuselages des fusées. (Car ils sont très résistants à la chaleur, à la pression).



4) Qu'est-ce que la nanomédecine et quel est son but ?

On parle de nanomédecine lorsque la nanotechnologie est utilisée dans la médecine.

La nanotechnologie a pour but de soigner l'homme sans endommager les cellules que celui-ci aurait abîmées avec un autre outil comme le scalpel, qui est disproportionné.



Résultat de l'expérience

Standard evolution

Zone ou le gel HA a
ete introduit



Nous pouvons voir que la fracture qui était présente dans ce tibia du Patient X a été rebouche avec le gel HA. Cela a permis une réparation en 3 semaine au lieu d'un temps d'environ 3 a 6 mois. Nous allons de ce fait si comparer les 2 différentes méthodes: La réparation normal et la réparation avec la nanotechnologie

Le GEL D' HA

Nous allons étudier le moyens mis au point par le Dr Schwartz : le gel HA. Ce gel contient des nano cristaux. Sa formule chimique est :



Ces cristaux remplissent la fracture. De même composition que les cellules osseuses, il va prendre leur place.

L'os, par l'action de ce gel, va être réparé vite. Il faut compter environ 3 semaines au lieu de 3 à 6 mois.

METHODES DE PRODUCTION

Les nano-objets et nanomatériaux manufacturés sont élaborés selon 2 approches :

- *l'approche ascendante (ou bottom-up)*, issue des laboratoires de recherche. Précis et contrôlé, ce processus de construction des nano-objets et nanomatériaux est effectué au niveau particulaire, c'est à dire atome par atome ou agrégat par agrégat, et reproduit de façon exponentielle. Le produit ainsi obtenu possède une structure complètement maîtrisée.

Apanage des pays industrialisés, cette méthode fait appel à des procédés chimiques et physiques (pyrolyse laser, micro-ondes, réactions en phase vapeur, etc.) ;

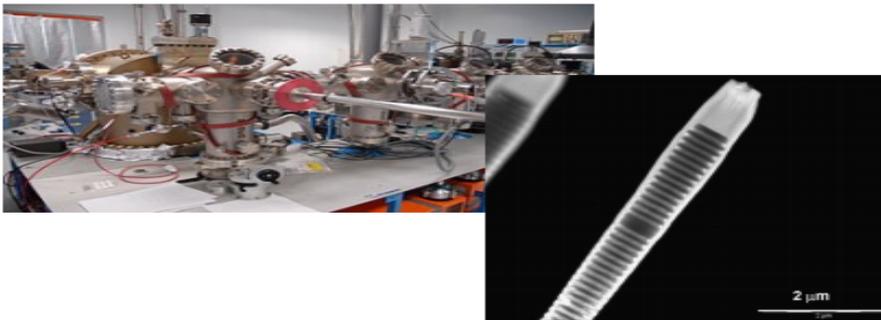
- l'*approche descendante* (ou *top-down*), issue de la microélectronique. Processus industriel obtenu grâce à la miniaturisation des matériaux microstructurés et l'optimisation des technologies de synthèse, il permet la production en masse des nanomatériaux (fractionnement jusqu'aux dimensions nanométriques). Le contrôle de l'état nanométrique s'avère cependant plus délicat à obtenir.

Voie d'accès aux nanotechnologies des pays émergents, cette approche fait principalement appel à des procédés mécaniques (mécano-synthèse, forte déformation par torsion, etc.).

Approche « bottom-up »

On dépose les atomes un par un suivant des masques

Très précis, mais très long et coûteux

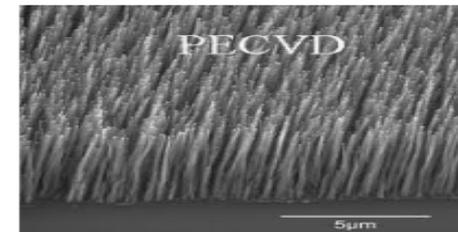


LPN, CNRS

Approche par auto-assemblage

On utilise la stabilité naturelle de certains édifices atomiques

Beaucoup plus rapide, peu coûteux, mais moins souple



PMC, École Polytechnique
Forêt de nanotubes de carbone

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 dots 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>	<p>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.</p> <p>L'ablation laser, la décharge plasma ou la décomposition catalytique sont des techniques plus spécifiquement utilisées dans la fabrication de nanotubes de carbone.</p> <p>Enfin, des couches minces d'épaisseur nanométrique peuvent être réalisées par PVD (Physical Vapor, Deposition).</p>
<i>La voie chimique</i>	<p>Les techniques de fabrication par voie chimique les plus couramment utilisées sont :</p> <ul style="list-style-type: none">• 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>	<p>Les techniques mécaniques d'élaboration des nanomatériaux sont :</p> <ul style="list-style-type: none">• <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.

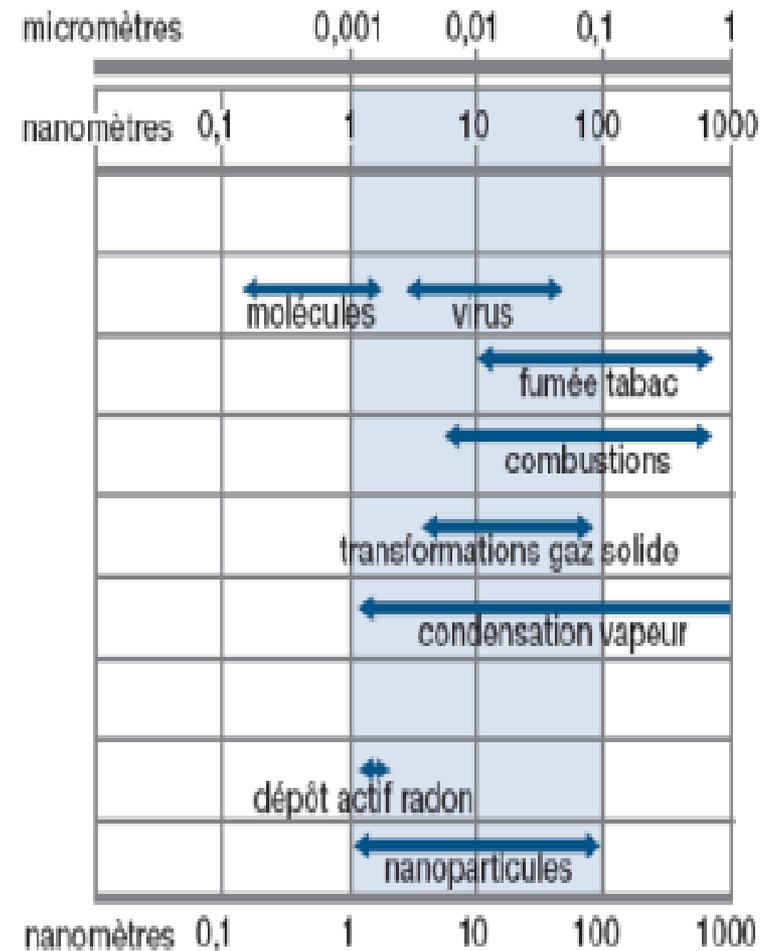
La législation européenne actuelle relative aux denrées alimentaires est sévère et semble suffisante pour couvrir les produits élaborés à l'aide des nanotechnologies. Néanmoins, il y a encore une série d'inquiétudes, en premier lieu concernant les aspects toxicologiques des nanomatériaux. Ainsi, le développement 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

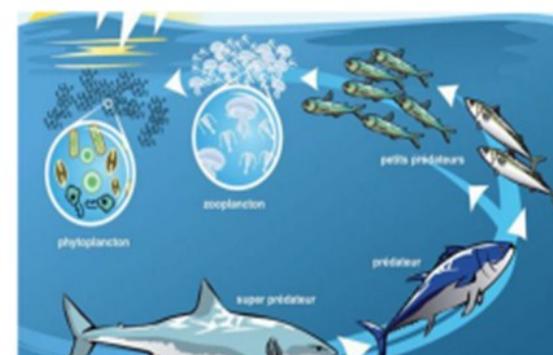
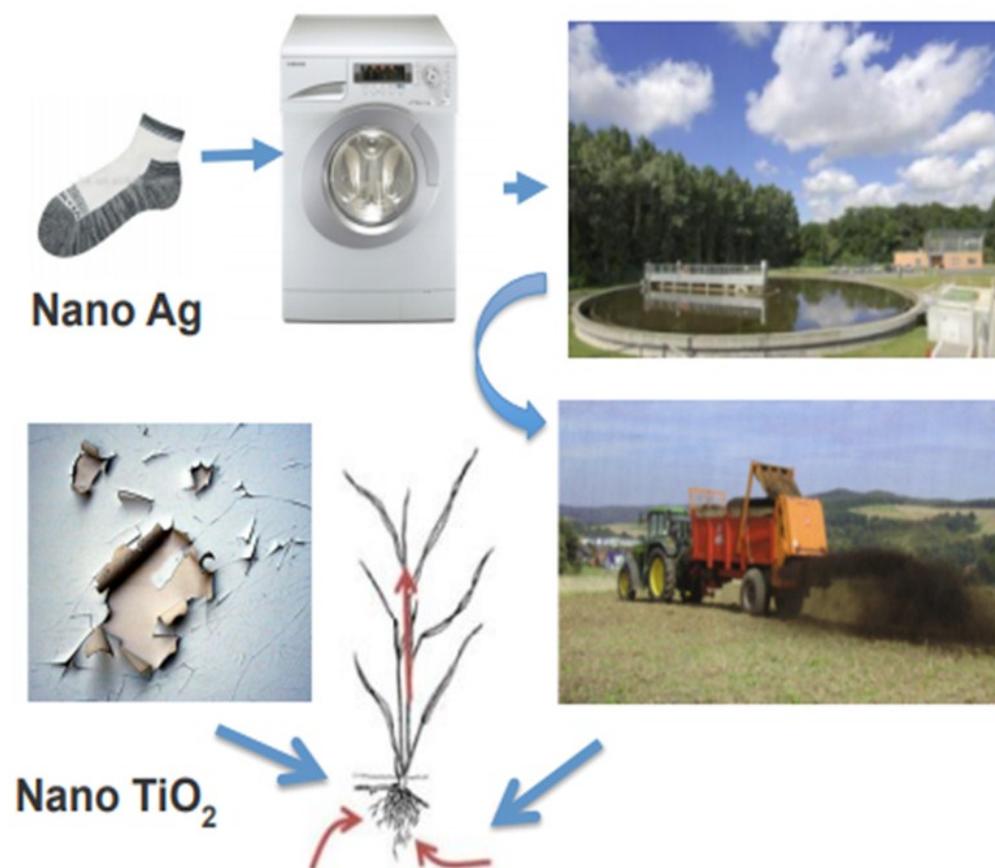
- Un monde **très vaste** à peine entrevu
- Un domaine de convergence des sciences (bio, chimie, physique...)
- Des **applications très nombreuses**, des plus utiles aux plus futiles
- Vers une démultiplication de la « puissance » des objets
- Des risques **environnementaux** à mieux évaluer

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.

