



LABORATOIRE DE MAGNÉTISME ET SPECTROSCOPIE DES SOLIDES
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA



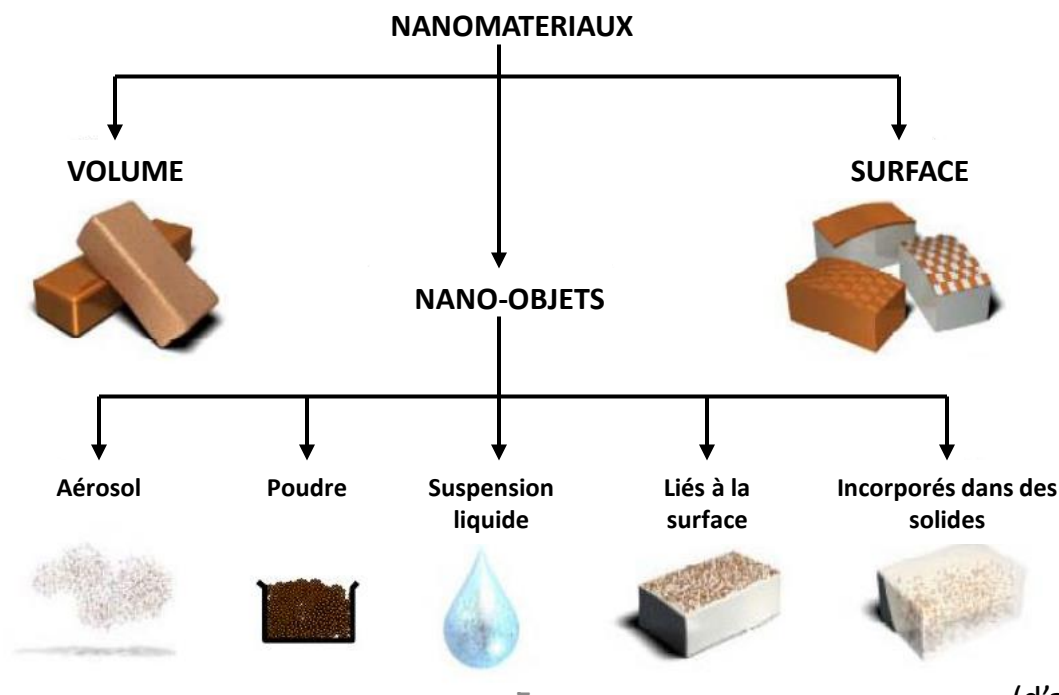
Les nanomatériaux

Prof. Safia ALLEG

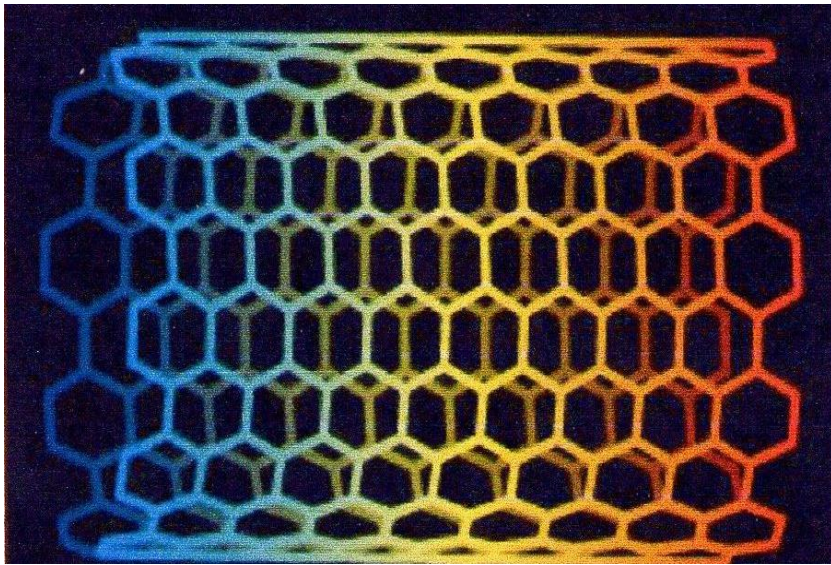
M1-2020

Quelques définitions

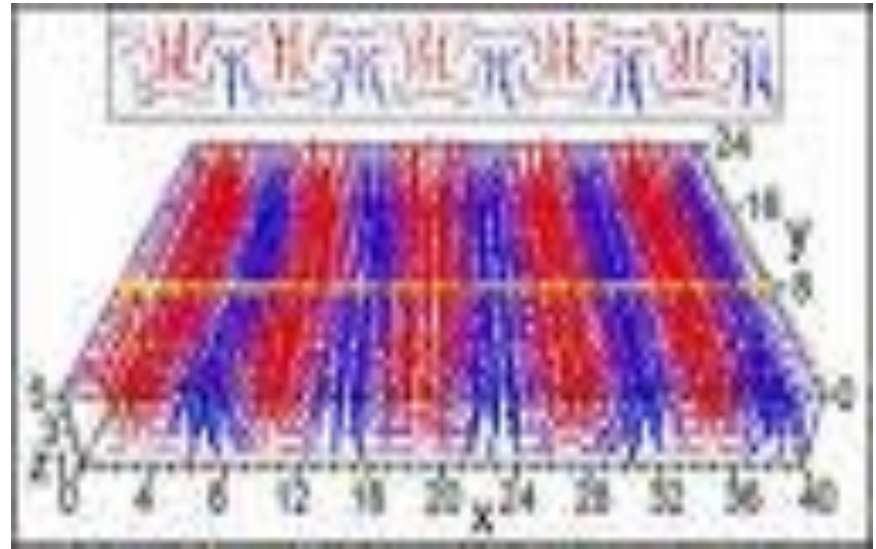
- 1 nm : 1 milliardième de mètre
- Nano-objets (ISO/TS 27687:2008) : objets présentant une, deux ou trois dimensions externes approximativement comprises entre 1 et 100 nm
 - ⇒ nanoparticules, nanofibres, nanofilms, etc.
- Particules ultrafines : nanoparticules produites de façon non intentionnelle.



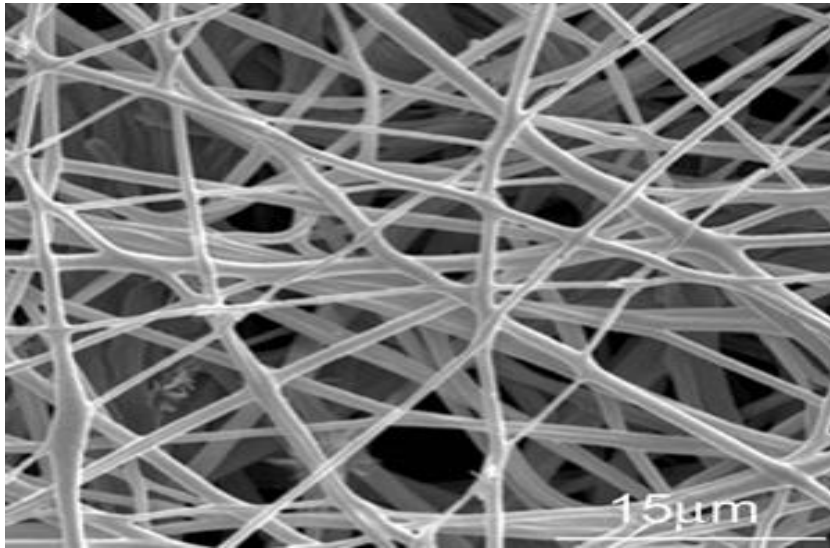
(d'après Witschger et al, 2010)



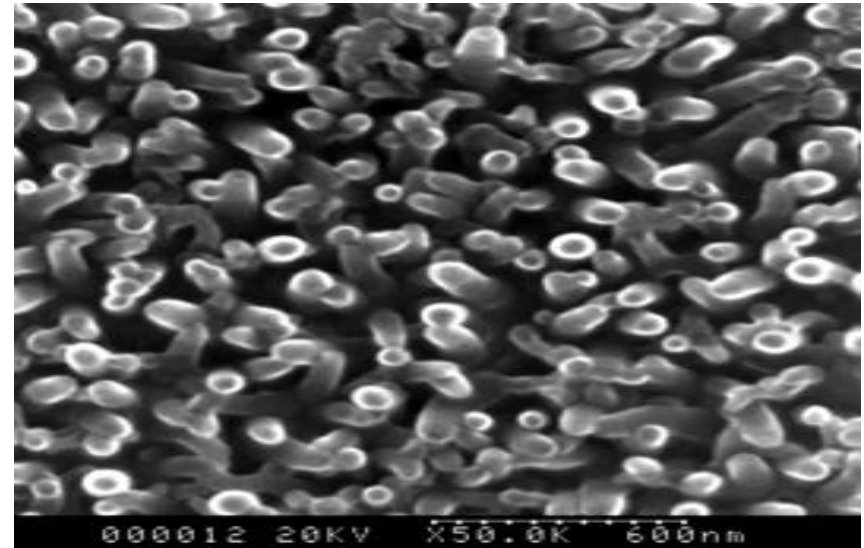
(a)



(b)



(c)



(d)

Présentation de nano-objets : a) nanotubes de carbone ; b) nanofilms ; c et d) nanofibres

Pourquoi s'intéresser aux nanomatériaux ?

- **Diminution de la taille des particules, ce qui conduit à:**
 - L'augmentation de la surface spécifique (m^2/g).
 - L'augmentation de la réactivité de surface.
 - La modification des propriétés physiques et chimiques.
 - L'apparition de nouvelles propriétés biologiques.
- **Quelques exemples d'utilisation**
 - Incorporation de dioxyde de titane (TiO_2) nanométrique dans du béton.
 - **Propriétés autonettoyantes ou dépolluantes;**
 - incorporation de nanoparticules d'argent dans des chaussettes.
 - **Propriétés antibactériennes;**
 - incorporation de nanotubes de carbone (NTC) dans des raquettes de tennis.
 - **Résistance et légèreté (essor industriel important).**

Classification des nanomatériaux

```
graph TD; A[Classification des nanomatériaux] --> B[Matériaux nanorenforcés]; A --> C[Matériaux nanostructurés en surface]; A --> D[Matériaux nanostructures en volume];
```

Matériaux nanorenforcés

les nano-objets sont incorporés ou produits dans une matrice pour apporter une nouvelle fonctionnalité ou modifier les propriétés physiques.

Matériaux nanostructurés en surface

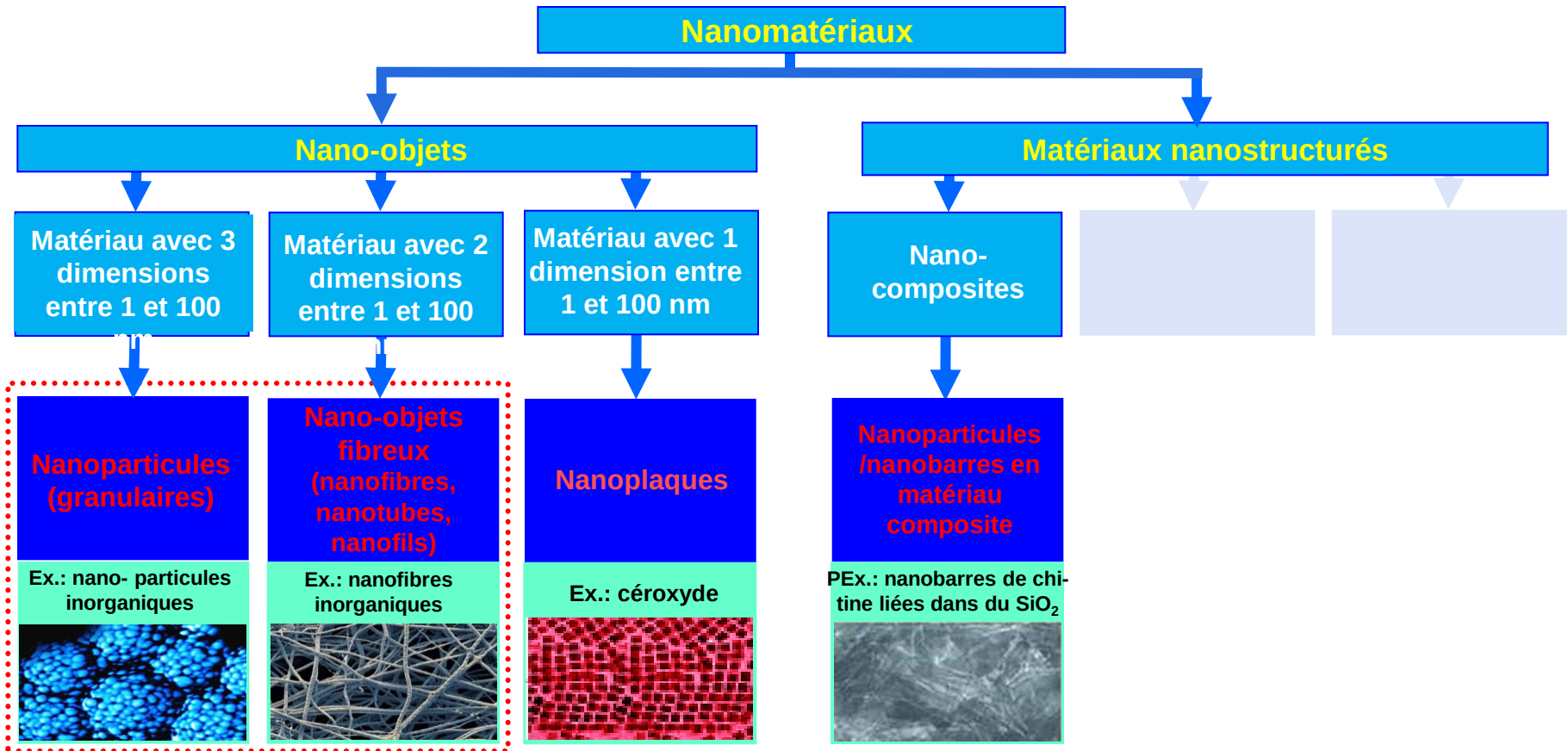
les nano-objets constituent des éléments de revêtement.

Matériaux nanostructures en volume

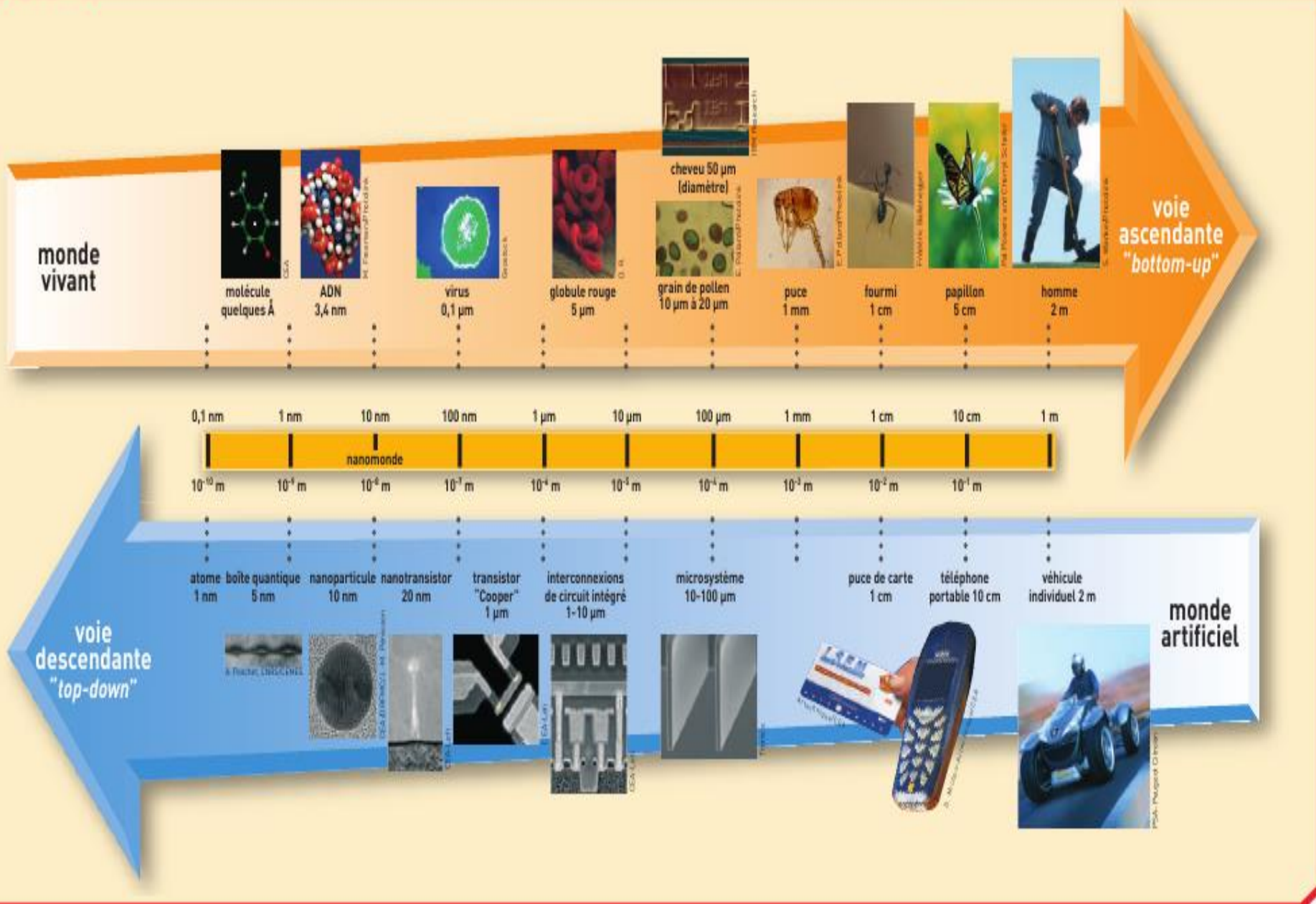
les nano-objets peuvent être les éléments de matériaux massifs qui par leur structure intrinsèque nanométrique bénéficient de propriétés physiques particulières.

Les nanomatériaux et leur classement

(inspiré de la définition ISO, Comité technique 229)



Approches 'top-down' et 'bottom-up'



Synthèse des nanomatériaux

- **Consolidation et densification**

- **Broyage mécanique**
- **forte déformation (HPT, ECAP).**

Approche "descendante" (top-down)



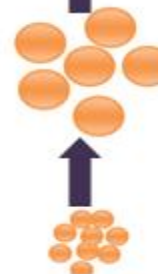
Matériaux massif



Poudres



Nanoparticules



Agrégat/amas

Atomes

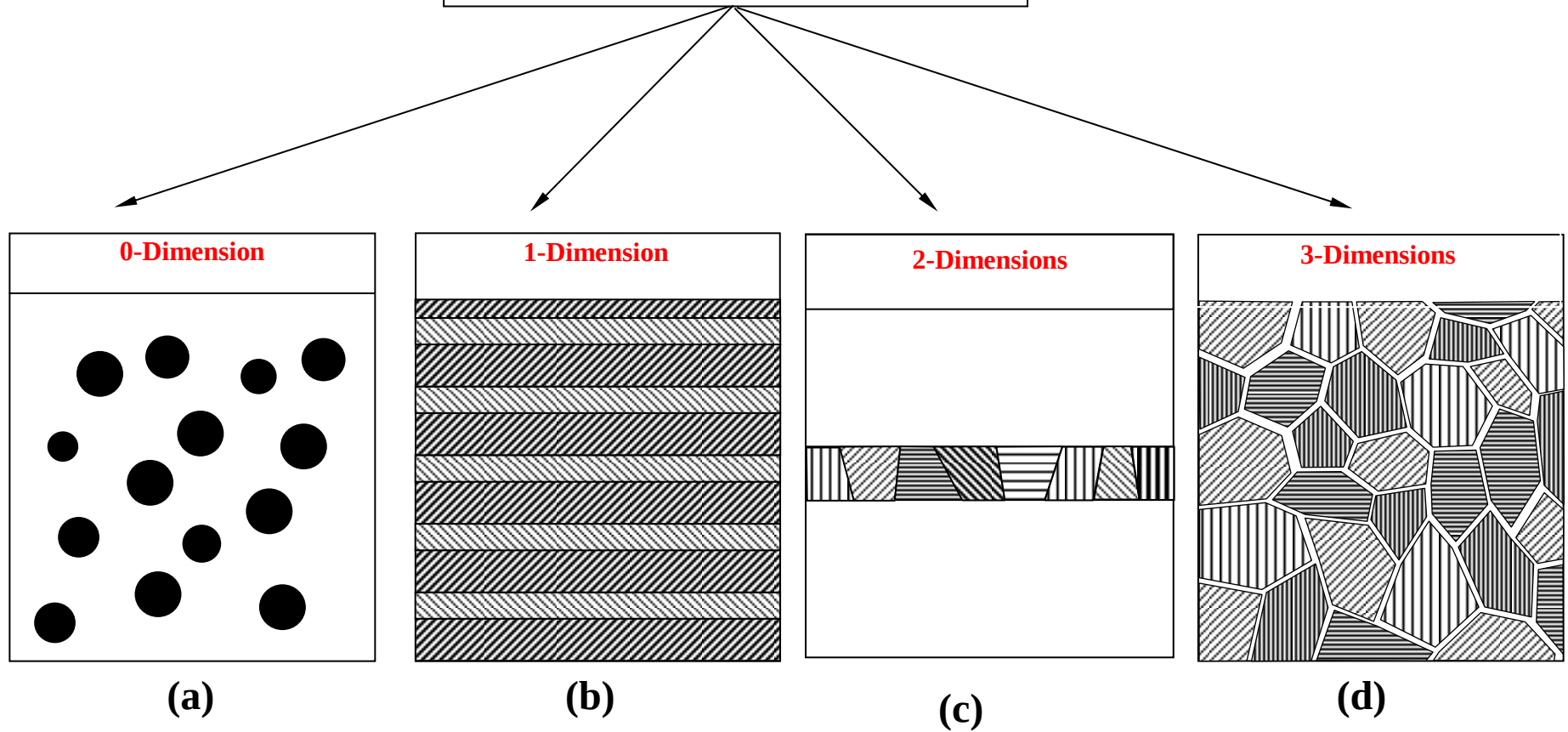
- **Evaporation/Condensation**
- **Plasma thermique**
- **Technique sol-gel**
- **Technique en phase vapeur (CVD)**

Approche "ascendante" (bottom-up)

Méthodes d'élaboration des nanomatériaux

Phase de départ	Technique	Dimensionnalité
Vapeur	Condensation sous gaz inerte	3D
	Physical Vapor deposition (PVD)	1D
	Chemical Vapor Deposition (CVD)	3D, 2D
Liquide	Solidification rapide	2D
	Electrodéposition	1D, 3D
	Réactions chimiques	3D
Solide	Mechanical alloying	3D
	Cristallisation des phases amorphes	3D

Matériaux nanostructurés



*amas ou agrégats ;
multicouches ;
monocouche superficielle ;
matériaux tridimensionnels monophasés.*

Les nanomatériaux se définissent par rapport à leur taille (< 100 nm).



**Propriétés physiques modifiées par rapport
aux matériaux massifs**

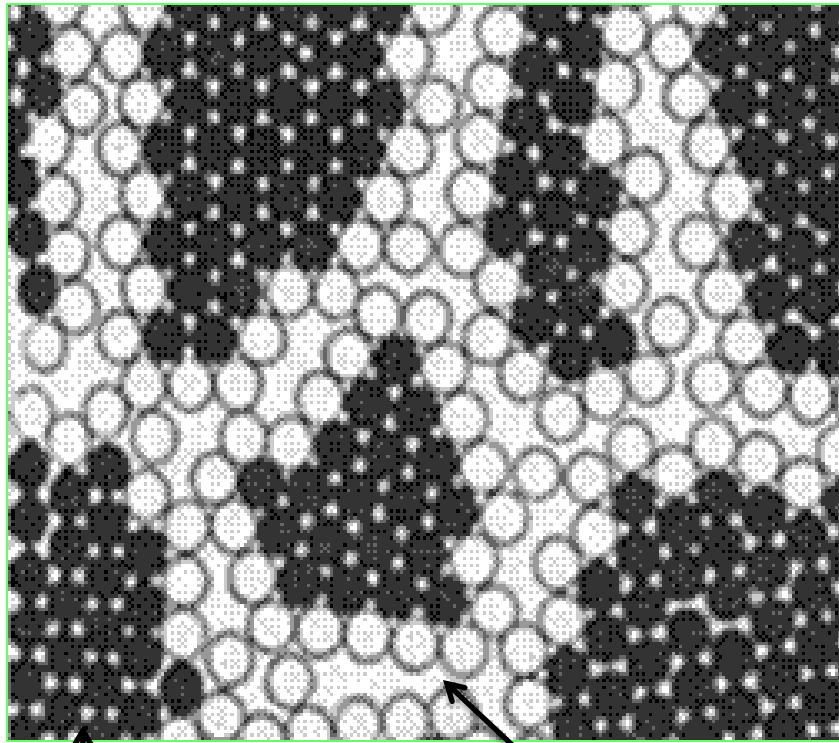
**Une fraction importante des atomes se trouve
dans les joints de grains**

50% → 5 nm ;

30% → 10 nm;

10% → 100 nm

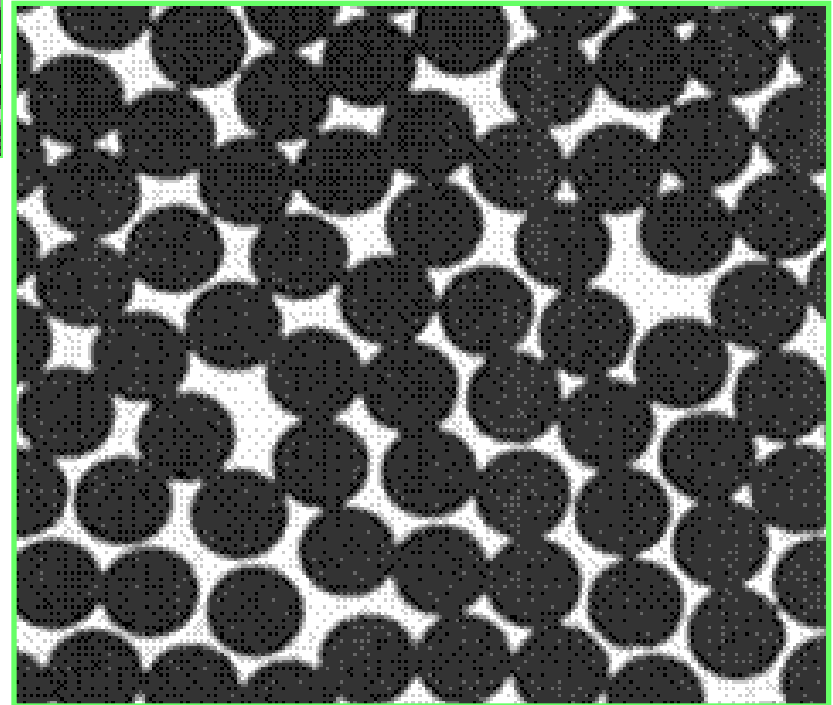
**Structure atomique à 2D d'un
matériau nanostructuré**



Grains

Joint de Grains

**Arrangement atomique
à 2D dans un verre**



Classes des matériaux désordonnés

```
graph TD; A[Classes des matériaux désordonnés] --> B[Les nanomatériaux]; A --> C[Les Verres]; B --> D[Le désordre est introduit d'une façon hétérogène dans le cristal parfait par l'incorporation d'une haute densité de défauts structuraux (joint de grains, dislocations)]; C --> E[Le désordre généré par l'augmentation de l'énergie du cristal d'une façon homogène (effet thermique) est figé.]
```

Les nanomatériaux

Le désordre est introduit d'une façon hétérogène dans le cristal parfait par l'incorporation d'une haute densité de défauts structuraux (joint de grains, dislocations)

Les Verres

Le désordre généré par l'augmentation de l'énergie du cristal d'une façon homogène (effet thermique) est figé.

Principe du broyage

- Innovation de Benjamin dans les années 60, le broyage mécanique a été utilisé pour la première fois pour produire des superalliages à base de Ni contenant des dispersions d'oxydes.
- Il a été étendu à une variété d'alliages.
- Le broyage mécanique est un processus hors équilibre qui permet l'obtention de nanostructures.
- Les phénomènes répétés de fracture, soudage et ressoudage conduisent à:
 - ➡ la déformation plastique sévère des particules de poudres.
 - ➡ un affinement de la taille des cristallites
 - ➡ l'introduction d'une densité importante de défauts structuraux (lacunes, interstices, dislocations, joints de grains, etc.).
 - ➡ la formation de solutions solides, phases amorphes, intermétalliques, phases stables et métastables, etc.

Broyage mécanique haute énergie

- ❑ Le broyage mécanique haute énergie est un processus hors équilibre qui permet l'obtention de nanostructures.
- ❑ Les phénomènes répétés de fracture, soudage et ressoudage conduisent à un affinement de la taille des cristallites et l'introduction d'une densité importante de défauts structuraux (lacunes, interstices, dislocations, joints de grains, etc.).
- ❑ La formation de solutions solides, phases amorphes, phases métastables, intermétalliques, etc. est due à l'interdiffusion des éléments à travers la déformation plastique sévère.

Principe du broyage mécanique haute énergie

Mélange de poudres



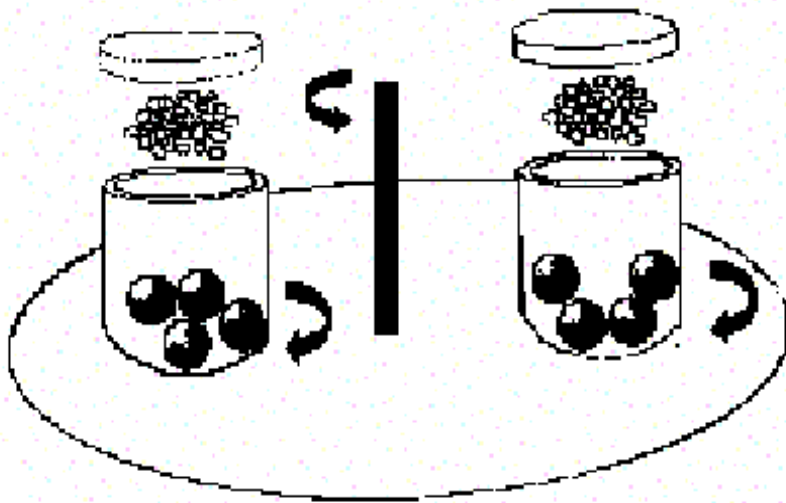
Fracture & Soudage



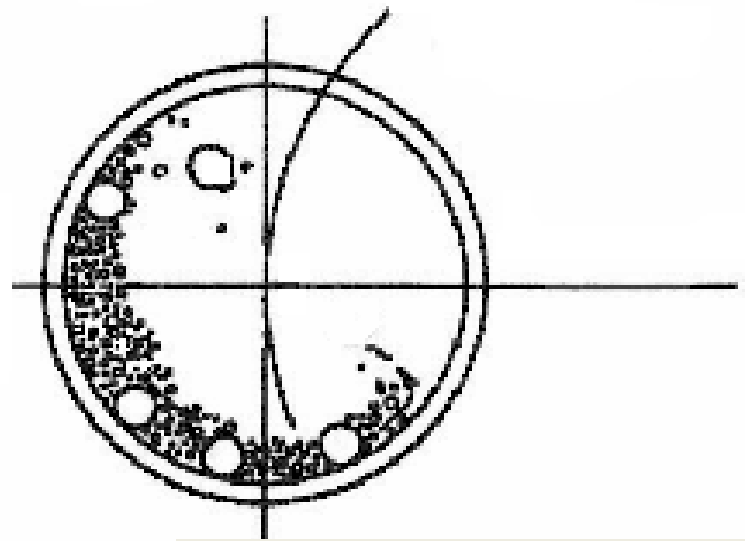
- ✓ Réduction de la taille des grains
- ✓ Augmentation de la densité des défauts



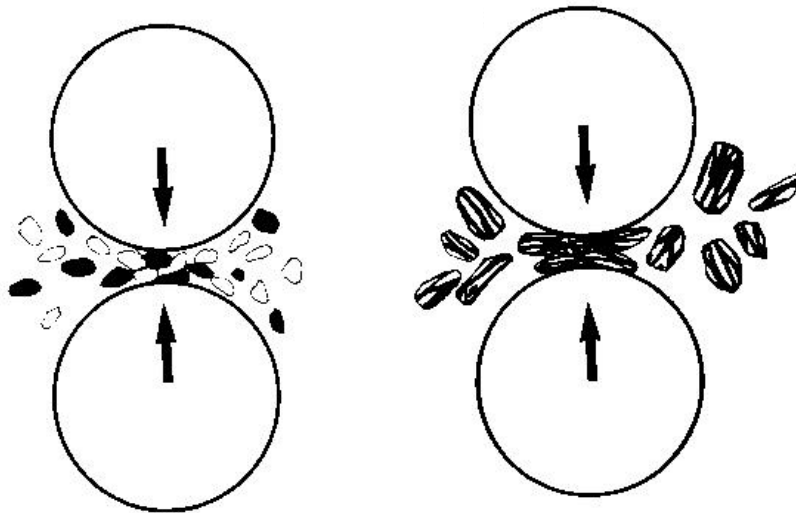
Modification des propriétés physiques



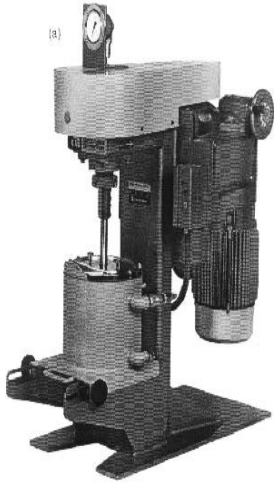
Principe de mise en rotation des jarres



Mouvement des billes à l'intérieur des jarres
(Coupe horizontale)



Différents types de broyeurs



Attriteur



Pulvérisette



Spex



Retch PM400

Paramètres du broyage mécanique haute énergie

1. Nature des poudres de départ

Mélange ductile-ductile

Mélange ductile-fragile

Mélange fragile-fragile

Les composés ductiles sont aplatis par un processus de micro-forgeage. Les plaquettes de particules sont soudées ensemble et forment une structure lamellaire.

Les particules ductiles sont aplaties par les collisions bille-poudre-bille alors que les particules fragiles sont fragmentées. Ces dernières vont se coincer dans les particules ductiles.

La formation de l'alliage nécessite non seulement une fragmentation des particules fragiles pour faciliter la diffusion à courte distance mais aussi une solubilité raisonnable du composé fragile dans la matrice ductile.

Les particules fragiles sont fragmentées et leur taille diminue en fonction du temps de broyage. Quand la taille des particules atteint une valeur critique (très faible), les particules se comportent comme ductiles.

2. Types de broyeurs

Leur différence : nature des chocs induits par les mouvements, capacité, vitesse (énergie) et habilité à réduire la contamination.

Leur caractéristique commune est l'usage de billes.

Le broyeur vibratoire (ex. Spex 8000)

- ✓ *Très énergétique (énergie de collision très élevée: contraintes de compression).*
- ✓ Constituée d'une seule jarre
- ✓ Petites quantités de poudre

Le broyeur attriteur

- ✓ *Moins énergétique*
- ✓ Constituée d'une cuve traversée par un axe équipé de bras vertical qui brassent les billes et les poudres .
- ✓ Grandes quantités de poudre (0,5 à 40 kg)

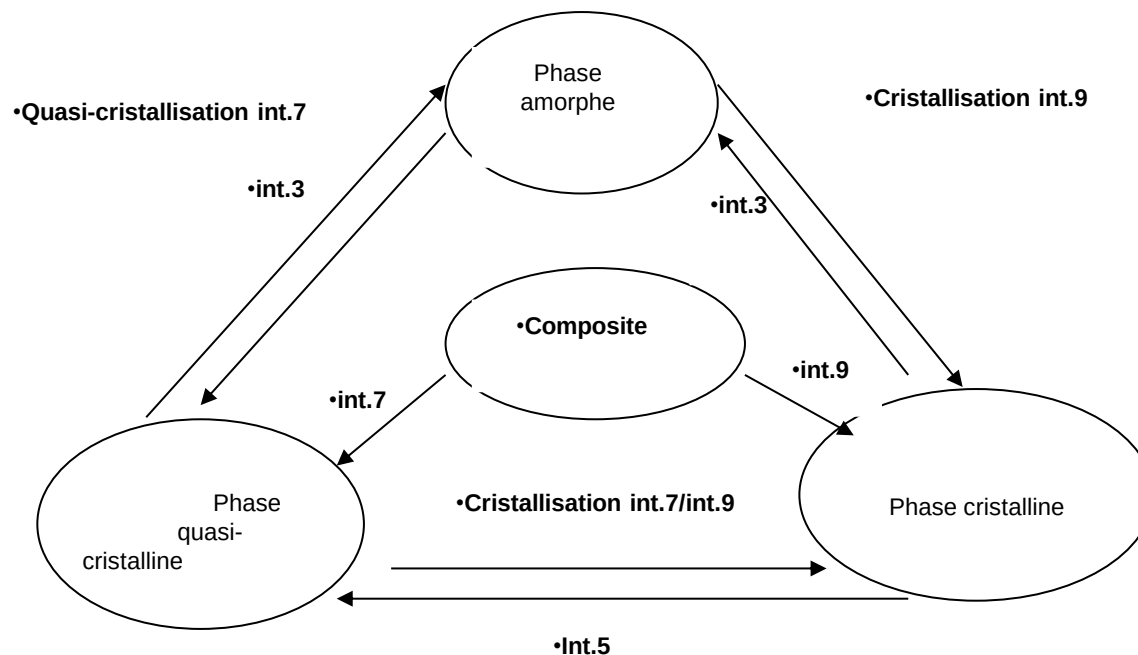
Le broyeur planétaire

- ✓ *Utilisé pour des broyages à grande vitesse*
- ✓ Constituée d'une seule jarre
- ✓ Petites quantités de poudre
- ✓ Effets de friction et de chocs ce qui favorise les contraintes de cisaillement.

3. Intensité du broyage

Ce paramètre, permettant de mesurer l'énergie de broyage, est directement proportionnel à l'énergie de collision des billes et influence de manière significative le produit final.

L'augmentation de l'intensité de broyage fait accroître la vitesse de chocs bille-bille et bille-paroi de la jarre et donc une grande énergie est transférée aux particules et dissipée sous forme de chaleur.



4. Température de broyage

La température à laquelle se fait le broyage est un paramètre très important dans le processus de formation des alliages car les constituants du mélange de la poudre broyée en dépendent.

On distingue deux types de température:

- ✓ **Locale**
- ✓ **A l'intérieur de la jarre**

Selon la nature du produit à broyer, on peut travailler à différentes températures : à l'ambiante (300 K), à la température de l'azote liquide (77 K) ou bien à haute température. La majorité des broyages mécaniques haute énergie est réalisée à température ambiante.

Le cryobroyage a été développé afin :

- de préserver les propriétés des molécules présentes lors de l'analyse en milieu pharmaceutique;
- d'éviter la perte des éléments volatiles lors du broyage du charbon par exemple;
- de ne pas dénaturer les structures des composés à analyser lors de l'extraction de l'ADN.

5. Temps de broyage

C'est le paramètre le plus important dans le processus de broyage mécanique haute énergie.

Il varie en fonction des conditions de broyage à savoir : le type de broyeur, l'intensité de broyage, le rapport masse billes/masse poudre et la température de broyage.

1- Le temps chimique du mélange a été introduit comme étant le temps minimum du mélange de poudres des composés élémentaires.

2- le temps minimum de synthèse (temps de broyage) requis pour atteindre un état stationnaire de la structure et des compositions de phases.

6. Rapport massique billes/poudres

Ce rapport a un effet significatif sur le temps nécessaire pour obtenir une phase particulière.

Un grand rapport implique un grand nombre de collisions par unité de temps et donc un grand transfert d'énergie à la poudre et par conséquent une cinétique de formation des alliages rapide.

7. Atmosphère de broyage

- ❖ L'effet majeur de l'atmosphère de broyage est la contamination de la poudre.
- ❖ Les jarres sont généralement scellées sous gaz inerte tels que l'argon et l'hélium.
- ❖ Différentes atmosphères ont été utilisées durant le broyage à des fins spécifiques (broyage réactif).
- ❖ L'azote et l'ammoniac sont utilisés pour produire des nitrures et l'hydrogène pour produire des hydrures.
- ❖ Le type d'atmosphère affecte la nature du produit final.

8. Contamination de la poudre

La contamination dépend du temps, de l'intensité, de l'atmosphère de broyage et de la différence dans la dureté de la poudre et des outils de broyage.

Les chocs entre les billes et les jarres provoquent la fatigue et l'usure des accessoires de broyage et conduit à l'incorporation de ces impuretés dans les particules de poudre.

La contamination augmente avec le temps de broyage.

Pour minimiser cette contamination, les jarres et les billes doivent être de même matériau que celui de la poudre broyée.

- **Le broyage mécanique haute énergie est un moyen d'étude des réactions à l'état solide.**
- **Faible coût de mise en œuvre et facilité d'élaboration de grandes quantités de matériaux.**
- **La compréhension des mécanismes physiques mis en jeu demeure un grand sujet de discussions à cause de leur complexité.**
- **L'étude des mécanismes de formation des différents composés a révélé la portée de l'énergie cinétique et de l'énergie libérée lors des collisions billes-poudres-billes et billes-poudres-parois des jarres sur les transformations structurales à l'état solide.**
- **Le broyage mécanique haute énergie entraîne un changement dans la microstructure du mélange.**

- La déformation plastique sévère $\Rightarrow$ formation d'une structure lamellaire, puis progressivement une structure à grains nanométriques ou des phases uniformément réparties dans le cas des composites.
- La déformation se développe de manière inhomogène avec des bandes de déformation présentant de très fortes densités de dislocations, séparées par des bandes de cisaillement peu effectuées ;
- Les dislocations se réorganisent en parois séparant des sous-grains faiblement désorientés (sous structure à l'échelle nanométrique) ;
- La taille de la structure est suffisamment faible pour que les glissements aux joints deviennent dominants.
- Les rotations des grains conduisent à une orientation aléatoire des cristallites.

Evolution microstructurale: modèle de Fecht

Stade 1 : introduction de déformations qui sont localisées dans les bandes de cisaillement constituées d'un train de dislocations. Ceci s'accompagne d'un haut degré de contraintes à l'échelle atomique qui peut atteindre une valeur de 1 % pour les métaux et 3 % pour les intermétalliques.

Stade 2 : annihilation et recombinaison des dislocations
⇒ formation d'angles de joints de grains séparant les grains individuels. Les sous- grains, ainsi, formés ont une taille nanométrique.

Stade 3 : orientation aléatoire des grains par rapport aux grains voisins.

La réduction de la taille des cristallites jusqu'à quelques nanomètres est limitée par les contraintes appliquées durant le broyage haute énergie en accord avec la relation de Hall- Petch qui montre que les contraintes, σ , nécessaires pour déformer un matériau polycristallin par déplacement des dislocations, sont liées à la taille moyenne de grains, d , par la relation :

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

où σ_0 et k sont des constantes.

- La présence d'une grande quantité de joints de grains a un effet important sur le comportement de la déformation des matériaux broyés.
- Les JG tendent à durcir le matériau à basse température.
L'effet des JG peut être décrit par la relation de Hall- Petch:
- Dans le modèle de Fecht original, les JG sont traités comme des barrières au mouvement des dislocations.
- Le temps nécessaire pour développer une structure donnée est fonction des poudres de départ et du type de broyeur.
- La vitesse d'affinement de la taille des particules, taille des cristallites, espacement des lamelles, etc., est approximativement une fonction logarithmique du temps de broyage.

Deux termes sont communément utilisés dans la littérature pour désigner le procédé d'élaboration des alliages et composés sous forme de poudres par chocs mécaniques :

1. Mechanical alloying (MA): décrit le processus de broyage d'un mélange de poudres (de différents métaux ou alliages/composés).

- Le transfert de matière est nécessaire pour obtenir un alliage homogène.

2. Mechanical milling (MM): désigne le broyage de poudres de composition stœchiométrique uniforme (métaux purs, intermétalliques, poudres pré-alliées).

-Le transfert de matière n'est pas requis pour l'homogénéisation.

✓Le MM nécessite la moitié du temps requis pour le MA afin d'atteindre le même effet, car les poudres sont déjà alliées et seule une réduction de la taille des particules et/ou autres transformations sont induites mécaniquement.

✓Le MM réduit l'oxydation des mélanges de poudre à cause du court temps de broyage.

✓La destruction de l'ordre à longue distance dans les intermétalliques (production d'intermétalliques désordonnés ou phases amorphes) est appelé désordre mécanique (*Mechanical Disorder*, MD).

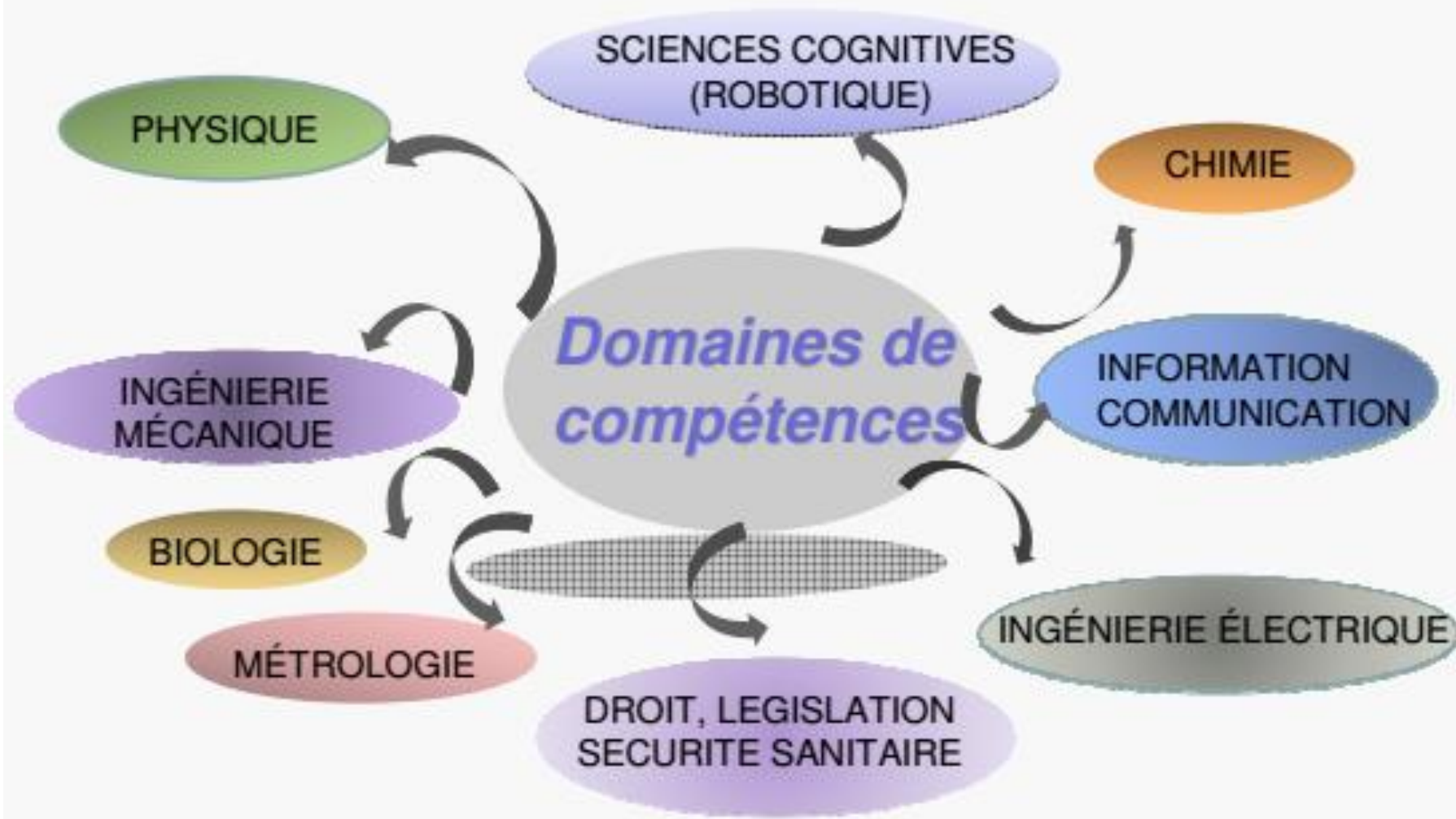
1. Conséquences physiques

- Accumulation de défauts structuraux.
- Formation d'états métastables.
- Changement du rapport surface/volume.
- Changement des propriétés à l'interface.
- Formation de nanocomposites.
- Fixation des états métastables.

2. Conséquences chimiques

- Changement de réaction.
- Changement de la zone de réaction.
- Transfert de la diffusion au régime cinétique.

Pluridisciplinarité et Interdisciplinarité :



Énergie (nanoparticules TiO_2 pour cellules solaires..)

Sciences de la vie et médecine
(quantum dots pour imagerie
biologique, vectorisation..)

Nanotechnologies

```
graph LR; NT[Nanotechnologies] --> E[Énergie (nanoparticules TiO2 pour cellules solaires..)]; NT --> SV[Sciences de la vie et médecine (quantum dots pour imagerie biologique, vectorisation..)]; NT --> T[Telecom (lasers Quantum dots, source de photons uniques (cryptographie quantique))]; NT --> C[Chimie (nanoparticules pour catalyse ..)]; NT --> IA[Industrie automobile (matériaux composites, verres nanostructurés...)]; NT --> COS[Cosmétiques (TiO2 filtres UV)]; NT --> B[Bâtiment (plastiques nanocomposite (nanoargiles, lotus, filtres))]; NT --> A[Agroalimentaire (nanocomposites pour conservation (barrière de gaz...))]; NT --> TIC[TIC (écrans (nanotubes carbone pour émission électronique, transistors, mémoires ultra denses))];
```

Telecom (lasers Quantum dots, source de photons uniques (cryptographie quantique))

Chimie (nanoparticules pour catalyse ..)

Industrie automobile (matériaux composites, verres nanostructurés...)

Cosmétiques (TiO_2 filtres UV)

Bâtiment (plastiques nanocomposite (nanoargiles, lotus, filtres))

Agroalimentaire (nanocomposites pour conservation (barrière de gaz...))

TIC (écrans (nanotubes carbone pour émission électronique, transistors, mémoires ultra denses))

Principaux secteurs concernés par le développement des nanomatériaux

- ✓ **L'environnement**
- ✓ **L'énergie**
- ✓ **Le textile**
- ✓ **La chimie**
- ✓ **La cosmétique et la parfumerie**
- ✓ **L'automobile**
- ✓ **L'aéronautique et le spatial**
- ✓ **Le verre et les articles en verre**
- ✓ **Les céramiques et les matériaux de construction**
- ✓ **Le caoutchouc**
- ✓ **Les matières plastiques**
- ✓ **La métallurgie**
- ✓ **Le biomédical**

Caoutchouc: poids et durée de vie des pneumatiques.

L'ajout de charges appropriées dans le caoutchouc permettra de réduire le poids du pneu, limiter l'utilisation de nouveaux renforts et accroître la durée de vie des pneumatiques.

Environnement:

Contrôler en ligne les effluents gazeux et mieux capter les polluants à l'état de traces.

Céramique et construction:

Améliorer la durabilité des ouvrages en béton. L'augmentation de la durabilité des ouvrages de travaux publics ou pour l'habitat permettra de diminuer les dépenses relatives à l'entretien de ces ouvrages.

Cosmétique: innover

Chimie:

Elargir les domaines d'applications des polymères pour répondre aux exigences de plus en plus pointues des utilisateurs.

Biomédical: augmenter la durée de vie des implants orthopédiques.

Les durées de vie des prothèses orthopédiques sont comprises entre 15 et 20 ans. Au delà, les prothèses sont à changer. L'allongement de la durée de vie repose sur une résistance à l'usure et un accroissement des propriétés mécaniques.

Energie:

Améliorer le rapport puissance/poids et plus généralement le rendement des systèmes.

Aéronautique: réduire le poids et résoudre les problèmes de tribologie.

- Améliorer les caractéristiques des matériaux classiques thermoplastique, thermodurcissables, utilisés en aéronautique. Cela passe par l'augmentation des caractéristiques mécaniques, de la conductivité et de la tenue au feu.
- Pour les pièces de fixations, l'enjeu est de passer du métallique aux composites avec les mêmes performances : **réduire le poids.**
- Résoudre des problèmes de tribologie. Par exemple, pour les systèmes de conditionnement d'air situés près des moteurs d'avion qui sont très sollicités mécaniquement.

Métaux:

L'augmentation des performances des composants passifs magnétiques de puissance.

Plastiques: améliorer la qualité du Polypropylène

Augmenter sa stabilité dans le temps, en température, sa stabilité dimensionnelle et de parvenir à une augmentation de la plage de tolérance.

TIC: améliorer la sécurité et les performances.

La miniaturisation et l'intégration aussi bien au sens composant que produit. Par exemple, les composants doivent intégrer un maximum de fonctions sur une surface réduite de silicium.

Verre: performance et compatibilité.

Améliorer les performances électriques et les performances mécaniques permettra d'agrandir leur domaine d'utilisation.

Trois moteurs pour le développement des nanomatériaux

- ✓ L'intégration est une des dynamiques propres à la science des matériaux.
- ✓ La physique fournit un cadre complet pour la compréhension des propriétés des solides et indique que les propriétés nouvelles se manifestent aux petites échelles.
- ✓ Répondre aux besoins des nanotechnologies.

Propriétés des nanomatériaux

propriétés	longueurs caractéristiques
optiques	• longueur d'onde • épaisseur de peau • diamètre d'exciton
électriques	• libre parcours moyen d'électrons
magnétiques	• taille des domaines ferromagnétiques
mécaniques	aucune (multi-échelle)
réactivité chimique	aucune (plus c'est petit, mieux c'est)

Propriétés des nanomatériaux

Le mouvement d'une particule de taille nanométrique est très différent du mouvement d'une particule de grosse taille.

A l'échelle nanométrique, intervient le phénomène d'agitation thermique qui joue un rôle important, et parfois même prépondérant, dans le positionnement des particules.

Plus un objet est chaud, plus les particules qui le composent sont agitées.

Dans un cristal, les atomes liés les uns aux autres sont en vibration constante. **La fréquence et l'amplitude de la vibration** déterminant des caractéristiques importantes comme la **conductivité électrique ou l'absorption de la lumière.**

L'or qui est chimiquement inactif à l'échelle macroscopique, devient réactif chimiquement, lorsqu'il se présente sous forme de particules de quelques nanomètres.

Propriétés mécaniques

✓ **Dureté**

Elle augmente avec la réduction de la taille des grains selon la relation empirique de Hall-Petch :

$$R_e = H_0 + k d^{-1/2}$$

où H_0 est la dureté; d est le diamètre des grains ; H_0 et k sont des constantes. Pour les matériaux polycristallins conventionnels, la valeur de k est positive .

L'augmentation de la limite élastique avec l'affinement de la taille des grains s'accompagne d'un déplacement vers les hautes températures de transitions fragile-ductile.

✓ **Rupture**

La contrainte de rupture σ_r augmente avec la diminution de la taille des grains.

✓ **Superplasticité**

La réduction de la taille des grains est de nature à induire un comportement superplastique, c'est-à-dire des déformations sans rupture de l'ordre de 100% voire 1000%.

La superplasticité est un comportement pour lequel le glissement aux joints de grains, accompagné de diffusion aux joints et à proximité des joints, l'emporte sur la déformation plastique intra-granulaire.

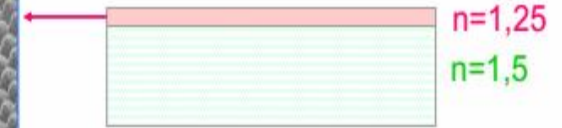
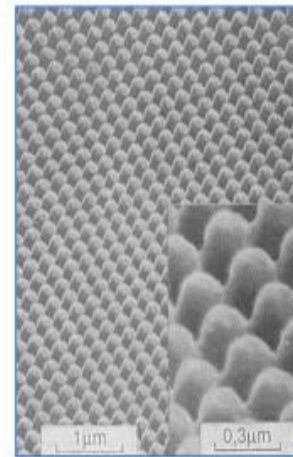
Elle est favorisée par une croissance du rapport surface/volume des grains.

Sur un métal, la réflexion de la lumière se joue sur l'épaisseur de peau. Si l'épaisseur du matériau est inférieure à celle-ci, il laisse passer la lumière.

Couche d'argent (<20nm)

verre

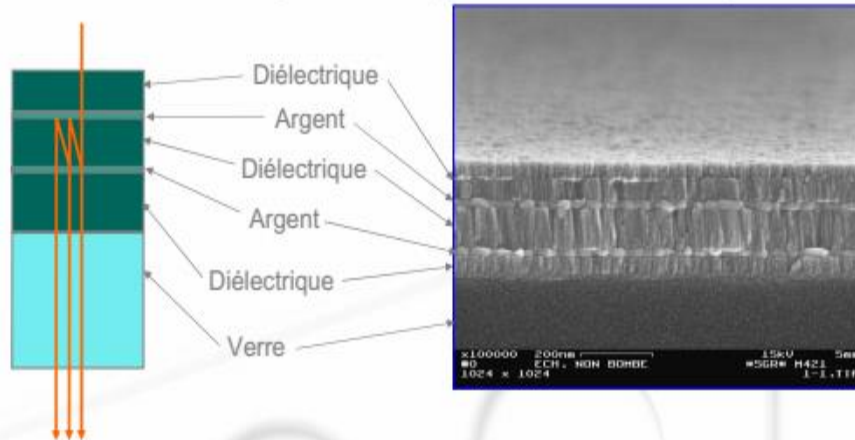
Vitrage anti-solaire



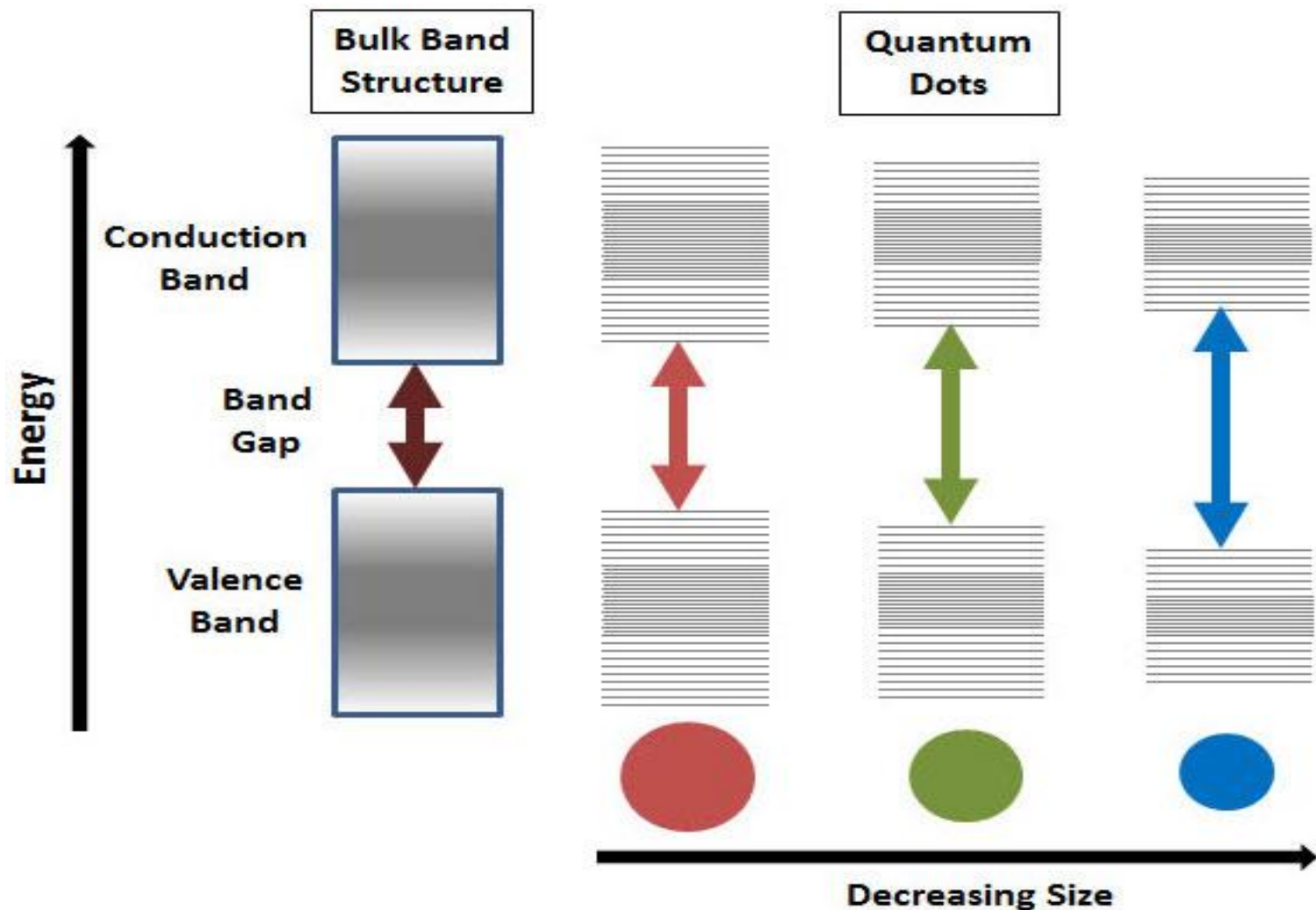
Vitrage anti-reflet



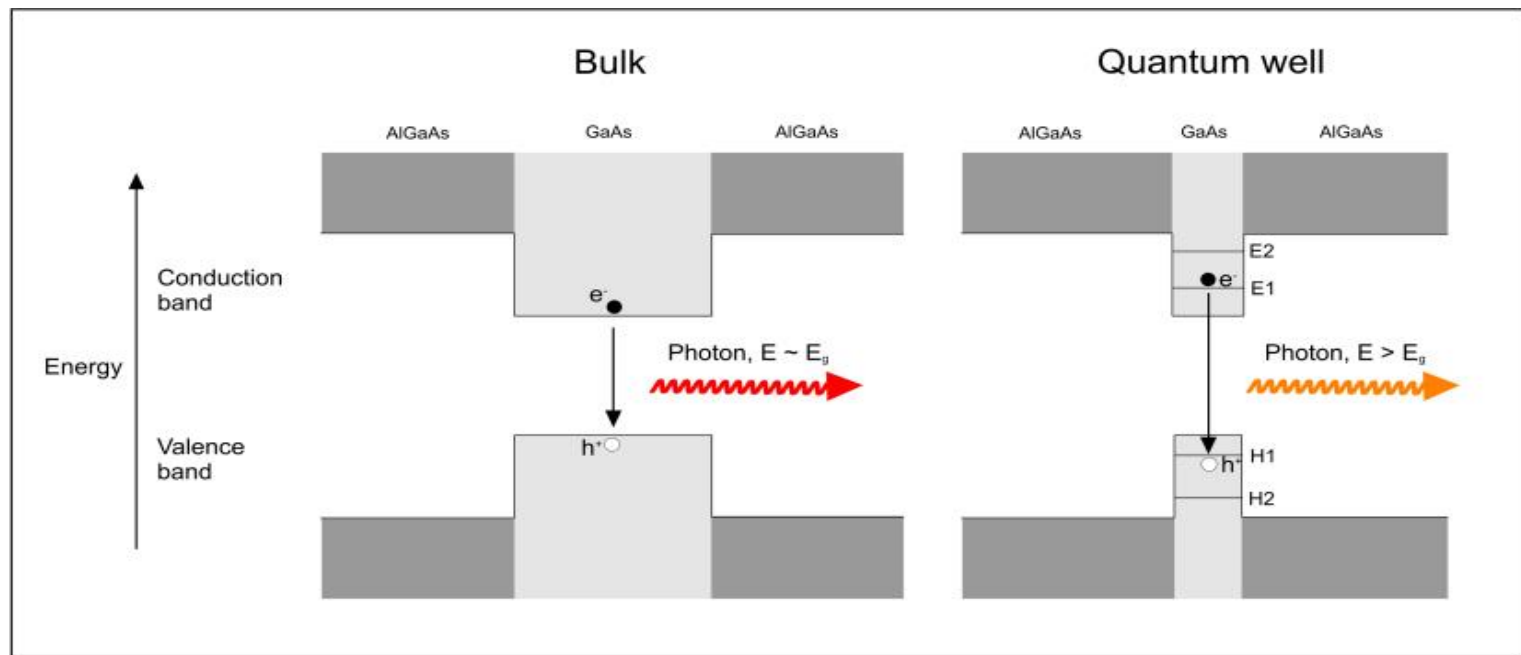
• En fait, la couche d'argent est séparée en deux : Fabry-Pérot



- pour augmenter la transmission dans le visible
- et augmenter la réflectivité dans l'infrarouge



Splitting of energy levels in quantum dots due to the quantum confinement effect, semiconductor band gap increases with decrease in size of the nanocrystal.

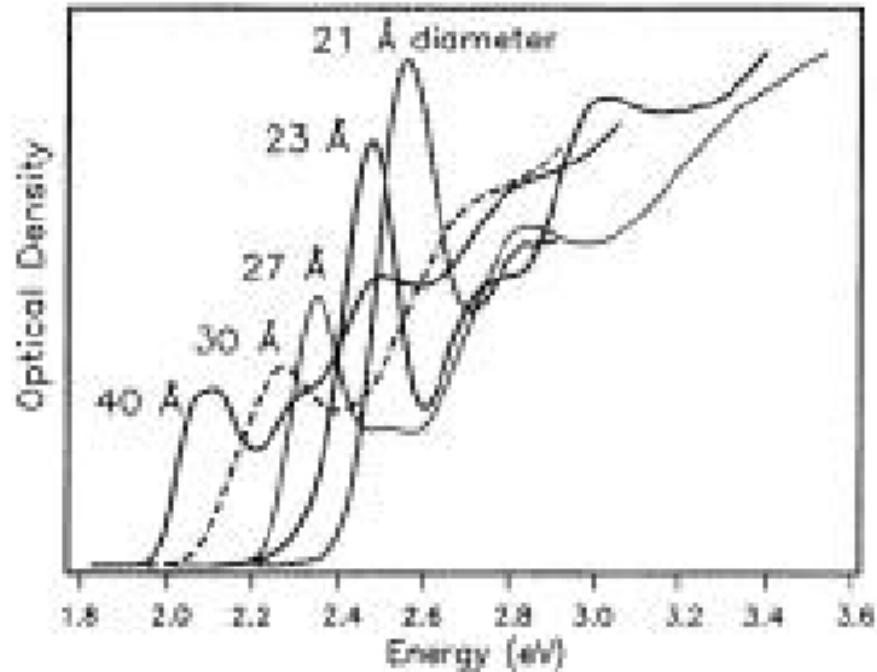


Le confinement conduit à la quantification des niveaux d'énergie dans un système, c-a-d les électrons et les trous peuvent avoir seulement certaines valeurs d'énergie.

L'émission peut se produire seulement à des longueurs d'onde correspondantes à ces valeurs. Le niveau d'énergie quantifié le plus bas est à une énergie au-dessus du bord de bande : ainsi, l'énergie du photon émis augmente par comparaison avec les matériaux massifs, et la longueur d'onde devient courte.

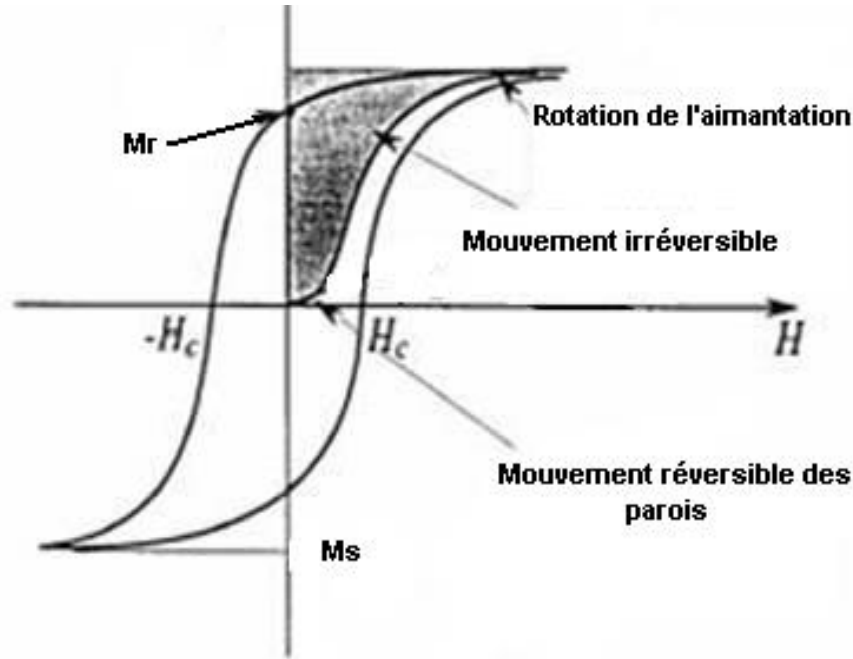
La division des niveaux d'énergie est inversement proportionnelle à la taille du système. Ceci permet le contrôle de la longueur d'onde d'émission en variant la taille,

Effet de taille: spectres optiques



- Déplacement vers les hautes énergies dans les petites tailles.
- Structure discrète des spectres.
- Augmentation de l'intensité d'absorption.

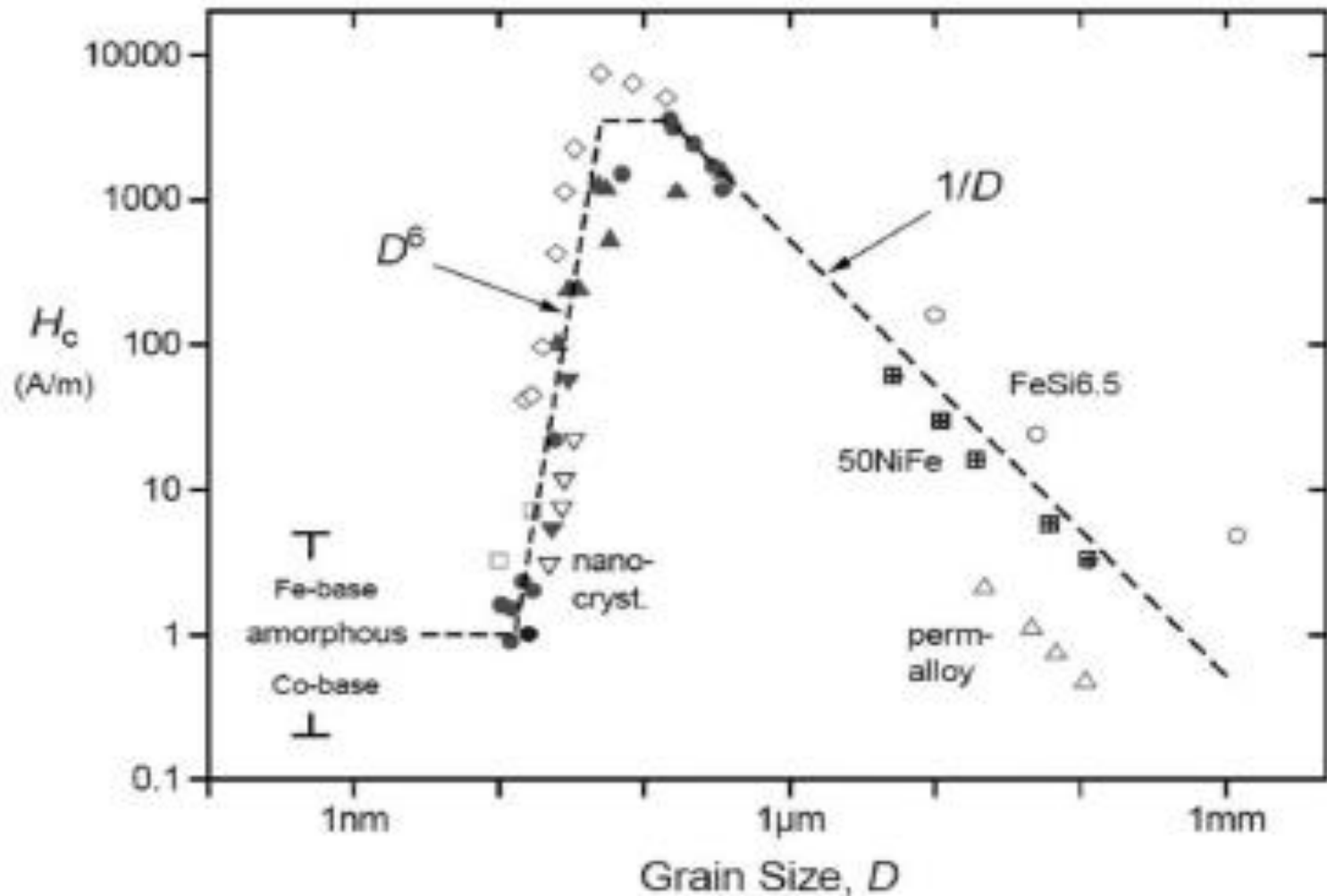
Cycle d'hystérésis



Le cycle d'hystérésis représente la réponse d'un matériau sous l'effet d'un champ magnétique appliqué.

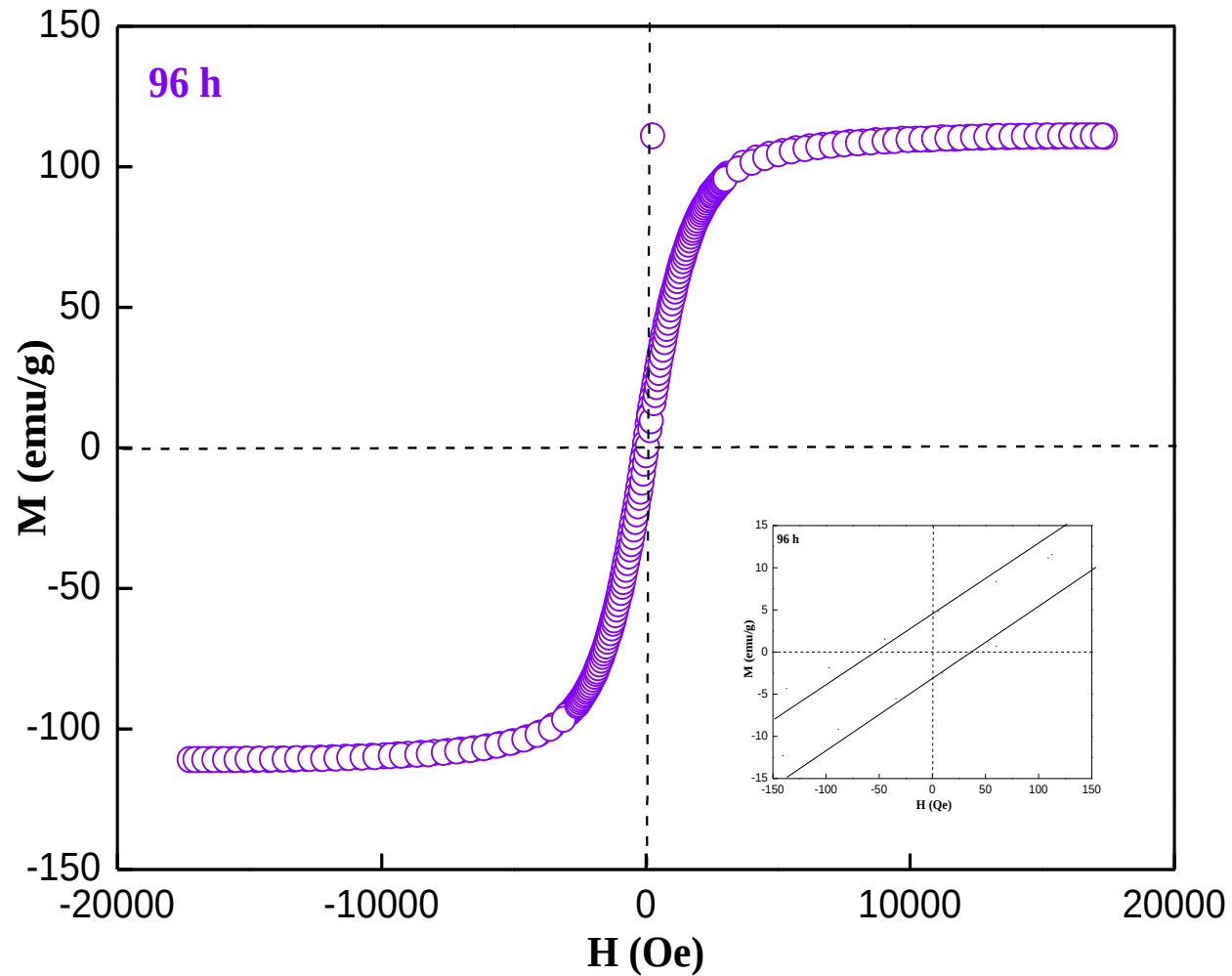
Dans le cas d'un système multidomaines, il peut être expliqué par des considérations de déplacement et d'ancrage des parois de Bloch.

Dans le cas d'un système constitué de particules monodomaines en interaction, le cycle d'hystérésis ne peut pas être décrit de la même manière, car l'interaction d'échange impose le parallélisme des moments magnétiques dans une échelle de longueur appelée longueur de corrélation d'échange ξ_{ex} .

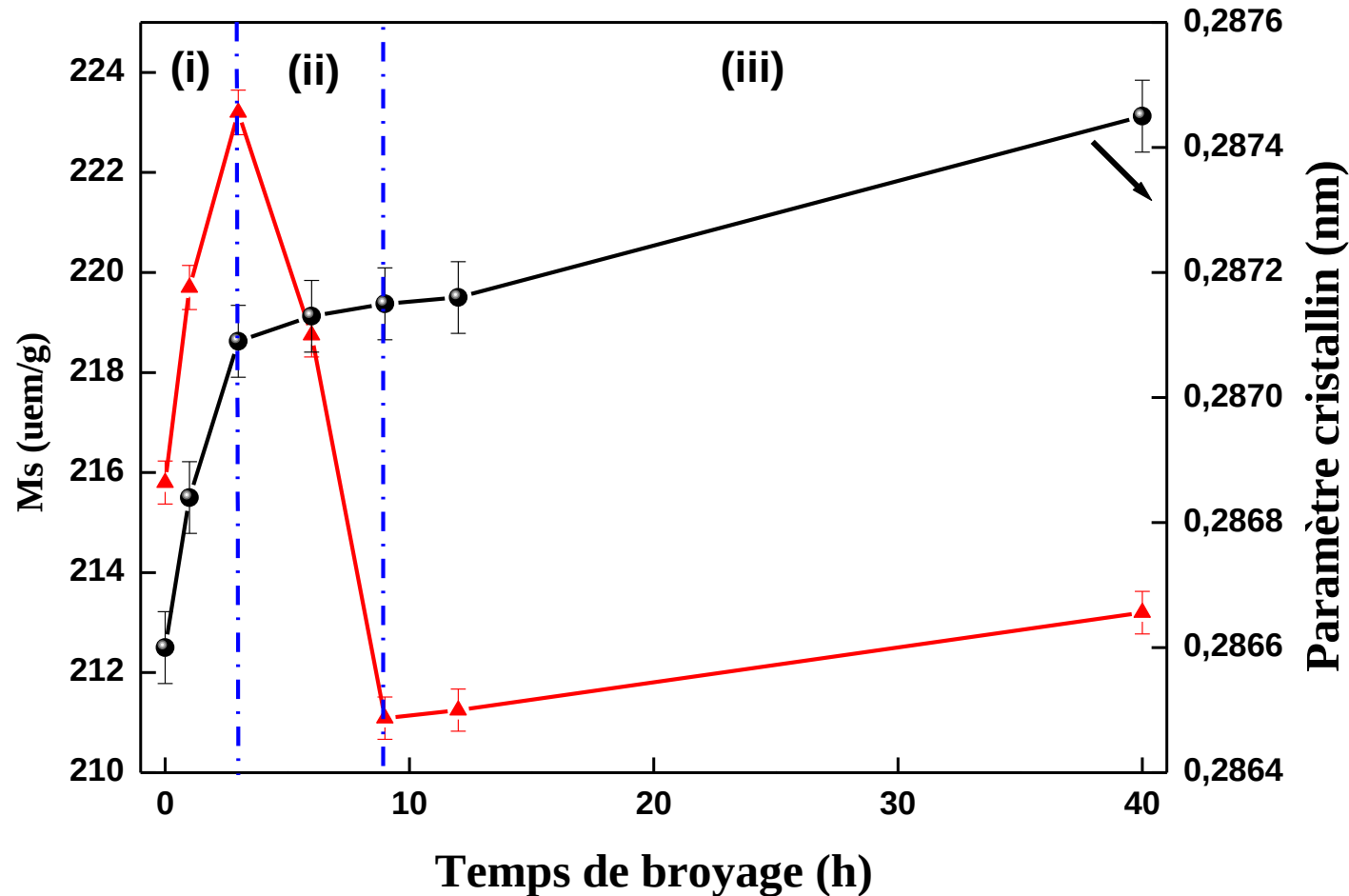


Dépendance du champ coercitif en fonction de la longueur de corrélation structurale, d'après Herzer

Cycles d'hystérésis du mélange $\text{Fe}_{57}\text{Co}_{21}\text{Nb}_7\text{B}_{15}$ en fonction du temps de broyage



Variation du paramètre cristallin et de l'aimantation à saturation du fer pur en fonction du temps de broyage.



L'augmentation de l'aimantation à saturation jusqu'à une valeur de l'ordre de 224 uem/g environ, après 3 h de broyage, peut être corrélée à celle du paramètre cristallin, donc au désordre structural, aux déformations plastiques sévères et aux défauts qui provoquent une distorsion du réseau cristallin.

La réduction de M_s peut être attribuée à l'effet des joints de grains dans lesquels une proportion importante des atomes s'y trouvent et dont l'arrangement atomique est différent de celui des grains

La faible augmentation de M_s peut être liée à la réduction de l'effet des joints de grains comme sites de piégeage au déplacement des parois des domaines magnétiques, car l'aimantation se fait par rotation des domaines magnétiques.

Applications des nanomatériaux





Carbon **nanotubes** around racquet head

Babolat's VS NCT (Nano Carbon Technology):

- greater stiffness, flex resistance, rigidity
- lightweight, responsive



INTRODUCING
CNT
REAL NANOTECHNOLOGY



Propriétés barrière Tennis Balls

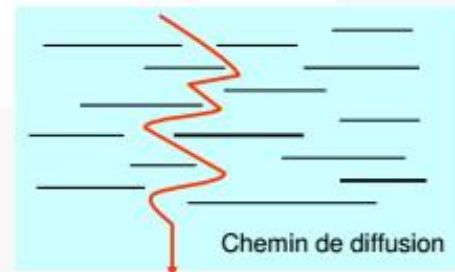


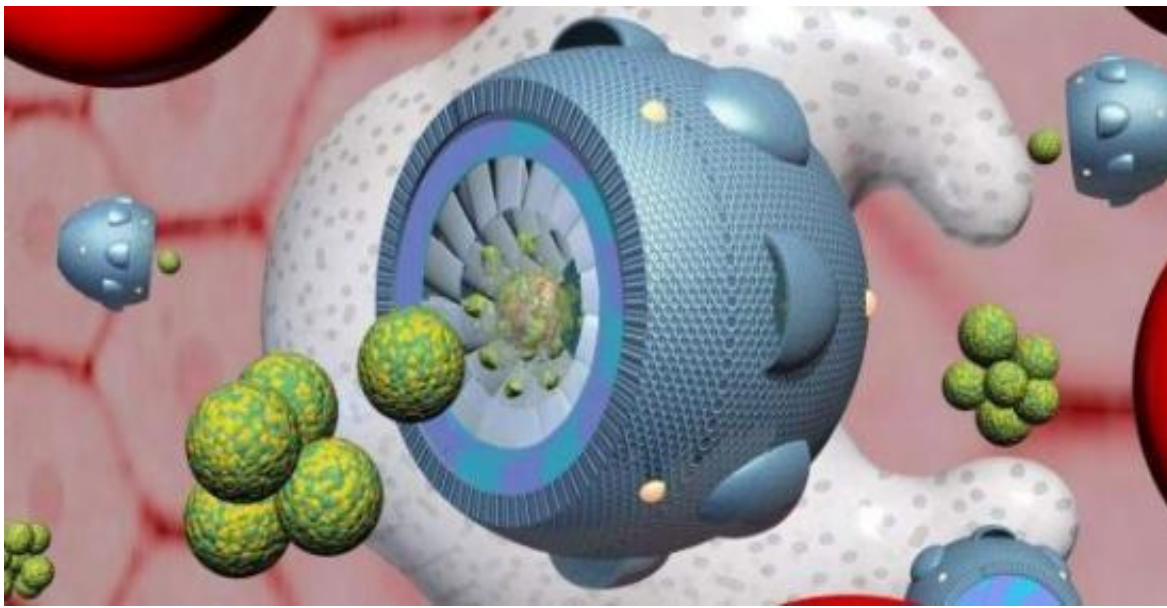
Nano-clay platelets (1 nm thick)
within rubber polymer matrix



Wilson Double Core tennis balls with InMat Air D-Fense:

- better air retention (tortuous path for air to escape)
- more consistent bounce
- longer life





Domaine médical

C'est l'un des domaines les plus prometteurs. Les principales applications des nanotechnologies sont les suivantes:

- ✓ la vectorisation des médicaments;*
- ✓ les puces ADN;*
- ✓ l'utilisation de quantum dots;*
- ✓ la création de prothèses plus résistantes garantissant une meilleure longévité, biocompatible;*
- ✓ la nano-exploration et le nano-diagnostic;*
- ✓ les nanomédicaments;*
- ✓ les neuroprothèses;*
- ✓ l'ingénierie tissulaire, destinée à remplacer des tissus ou organes.*

MÉDECINE, BIOLOGIE NANOBIOTECHNOLOGIES

LABORATOIRE SUR PUCE

(analyse massive en // d'espèces chimiques ou biologiques)

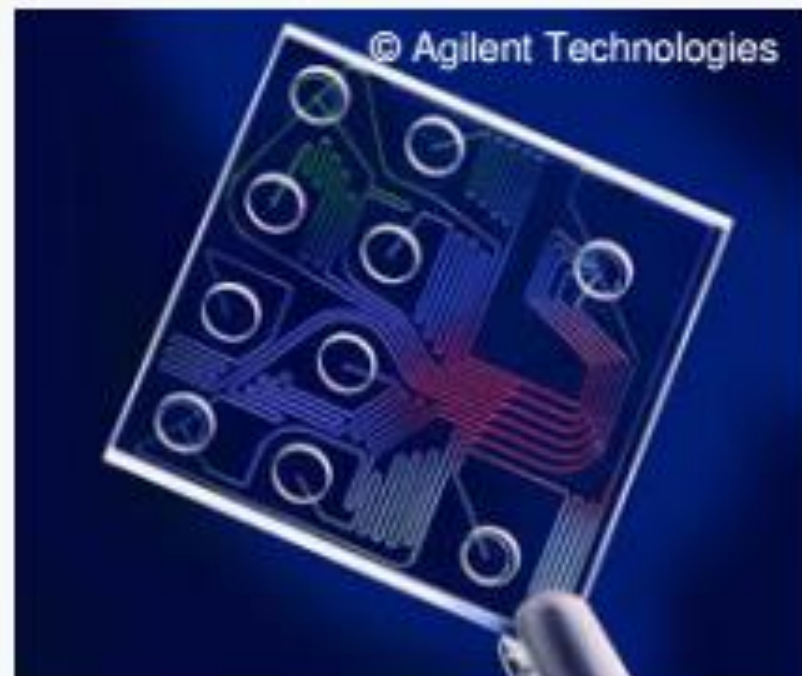
MICROFLUIDIQUE/NANOFLUIDIQUE (pompes, canaux, vannes....)

avantages :

facilité d'utilisation, vitesse d'analyse,
faible consommation d'échantillon et
de réactif, faible consommation
d'énergie...

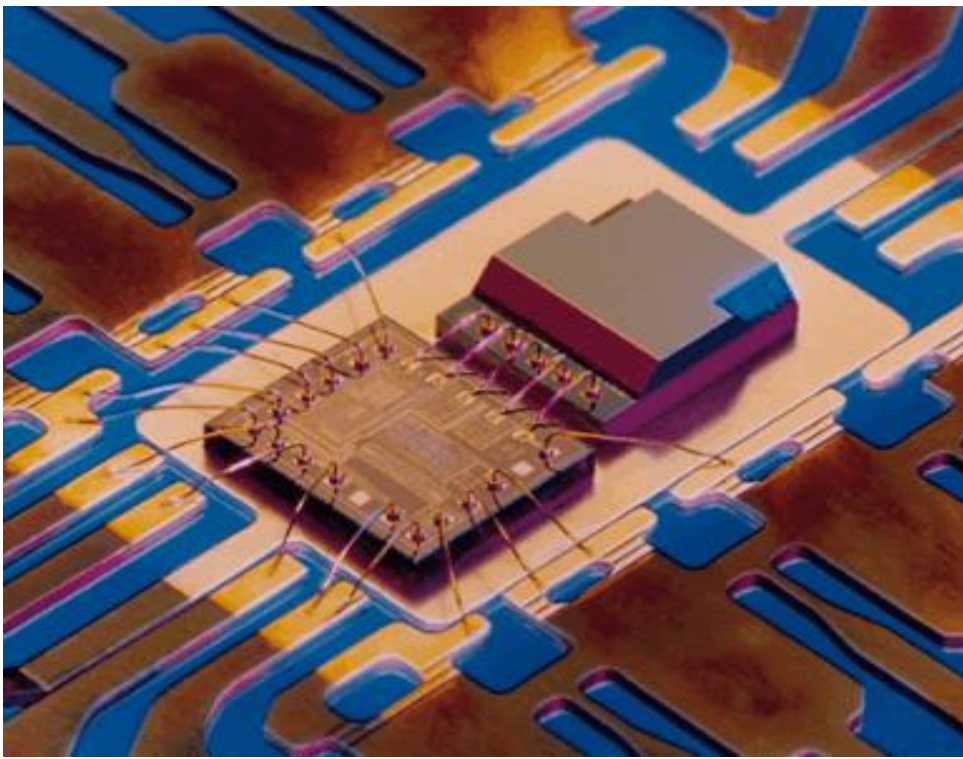


GENOMIQUE, PROTEOMIQUE



Biomérieux, Ademtec

Domaine informatique



- ✓ Miniaturisation (ordinateur portable, disque dur, etc.);
- ✓ Invention d'outils (Ipad, portable ,etc.);
- ✓ Le transistor (composant électronique utilisé principalement comme interrupteur). Le nombre de transistors est passé de 2250 à 42 millions de fabrications.

Domaine militaire



Le passage à l'échelle nano devrait permettre aux soldats de meilleures conditions de bataille, (amélioration de nombreux missiles, **implantation de capteurs sur les soldats**, **renforcement des blindages tels que les gilets pare-balles qui sont actuellement en kevlar (une fibre synthétique avec de grandes qualités de résistance).**

Les futurs gilets seraient composés de nanocomposites rigides , donc plus légers et plus résistants que le gilet en kevlar.