

1

# Utilisation de NANOMATÉRIAUX, Santé et sécurité Victoria University Toronto

Roland Hosein, Ph.D.  
ESAO, le 31 mai 2007

HBF100 10.0kV X10.0K 3.00µm

L'examen en microscopie électronique à balayage d'un **macrophage** (RAW 264.7), phagocyte des particules d'hématites ultrafines. (photo prise par H. Zöltzer, Universität Kassel)

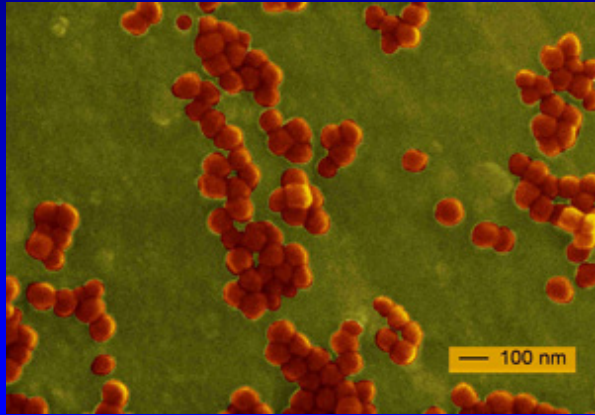
# Aperçu

- ✓ Aperçu des nanomatériaux
  - Pourquoi l'intérêt sur le nano?
  - Signification de la nano-échelle
  - Utilisations actuelles et potentielles
- ✓ Aspects sur la santé et la sécurité
  - Facteurs qui influencent
  - Modes d'exposition
- ✓ Défis dans le milieu de travail
- ✓ Méthodes d'analyse
- ✓ Contrôles
- ✓ Problèmes et préoccupations
- ✓ Problèmes pour les éducateurs

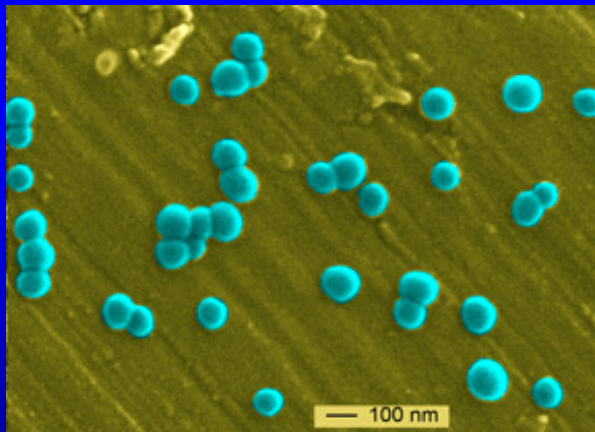
# Pourquoi l'intérêt sur le nano?

- ✓ «Nanomatériaux» – au moins une dimension  $<100$  nm  
(Nanoparticules – diamètre  $<100$  nm)
- ✓ La technologie récente a permis au domaine de s'accroître
  - Des outils complexes ont été conçus pour examiner et manipuler la matière sur une nanoéchelle.
    - Microscope à effet tunnel (1982)
    - Microscope à forces atomiques (1986)
    - Microscopie d'analyse électronique à transmission
    - Sondes qui peuvent recueillir, faire glisser ou traîner les atomes pour créer des nanostructures
- ✓ Peut manipuler les structures pour créer de nouvelles applications
- ✓ De 1997 à 2006, les investissements du gouvernement des États-Unis dans le développement de la nano sont passés de 400 M\$ par année, à 3 milliards de \$ par année; le Canada a dépensé environ 300 M\$ jusqu'à maintenant

# Nanoparticules < 100 nm diamètre



Examen en microscopie électronique à balayage d'une **hématite** ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , ~ 70 nm). (produit synthétiquement pas W. Ferstl, ITC-WGT)



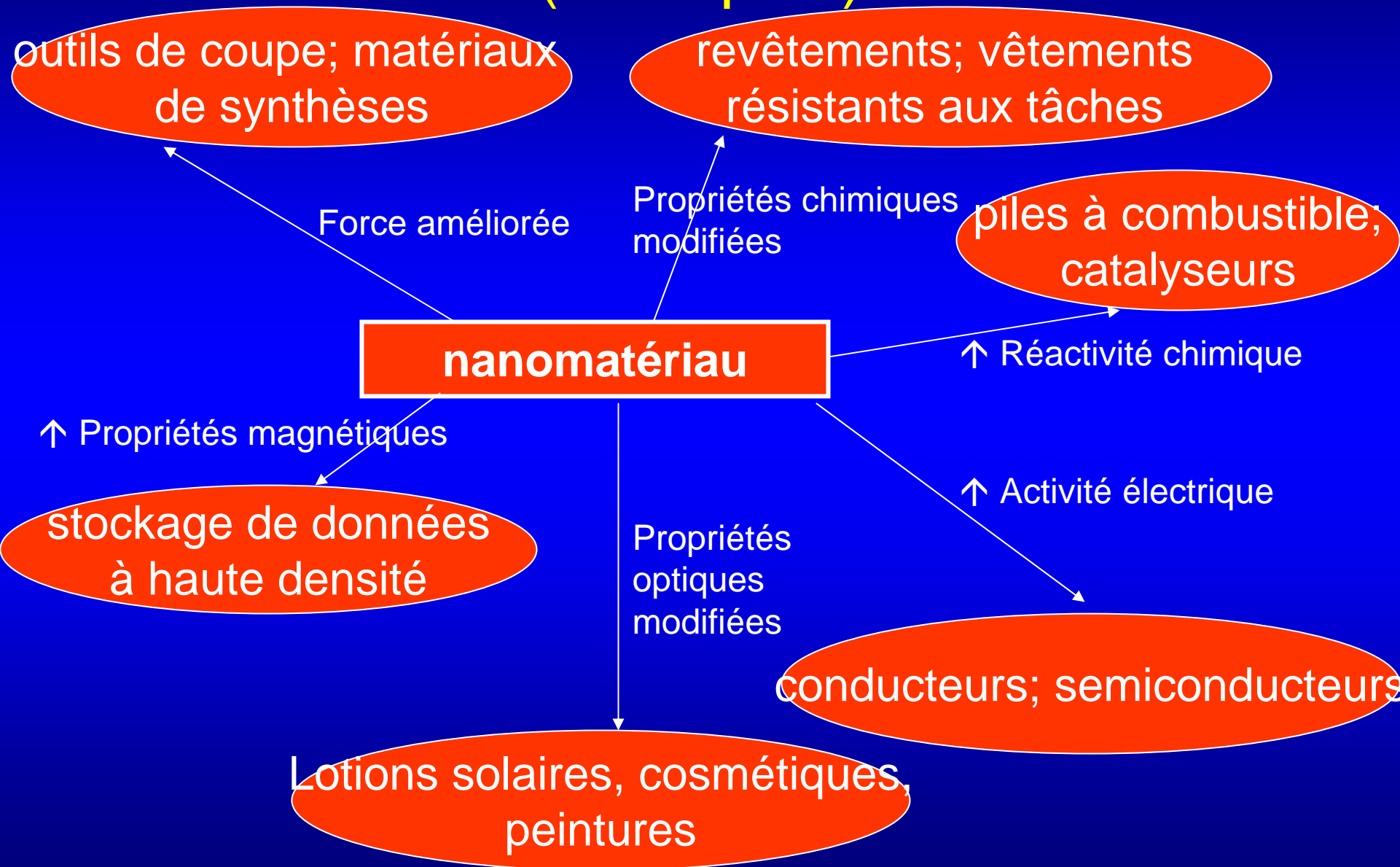
Examen en microscopie électronique à balayage du **sol de silice** (amorph  $\text{SiO}_2$ , ~ 60 nm). (produit synthétiquement par W. Ferstl, ITC-WGT)

## Importance de < 100nm

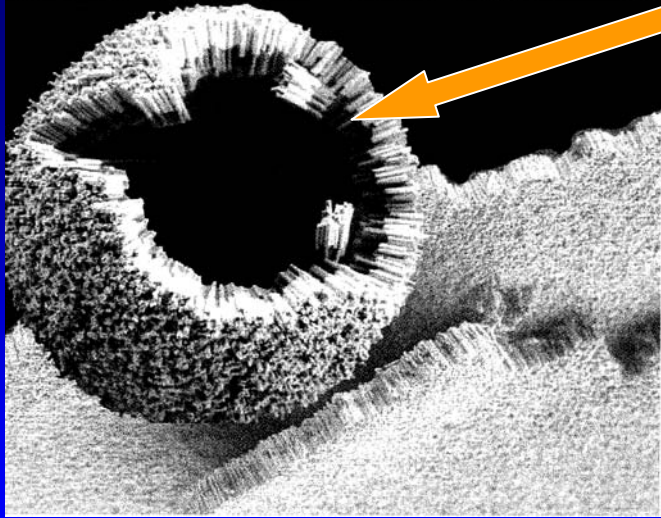
- Les nanoparticules produites semblent démontrer des propriétés différentes lorsqu'elles sont composées de nanoparticules ultrafines plutôt que de grandes particules
  - Les nanomatériaux ont une zone de surface relativement plus grande que le matériau de même masse de forme plus large
    - Peut augmenter la réactivité chimique des matériaux
    - Peut changer la force et les propriétés électriques
  - Les effets quantum dominant le comportement de la matière à une nanoéchelle
    - Peut changer les propriétés optiques, magnétiques ou électriques des matériaux

**Peut exploiter les effets pour créer des structures, appareils et systèmes ayant des caractéristiques, des fonctions et des applications nouvelles**

# Lier les avantages aux applications possibles (exemples)



# Autoassemblage de nanotige en or une structure incurvée



## Applications actuelles

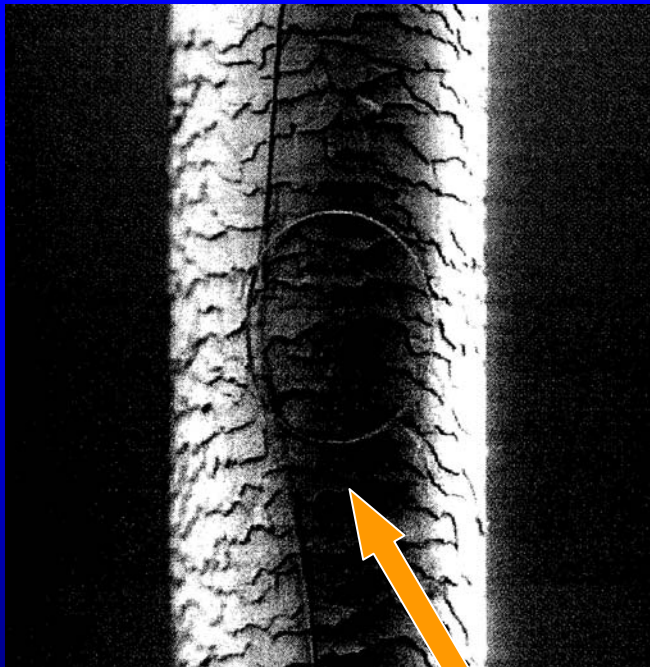
- Soins de la peau
  - Lotions solaires, cosmétiques (oxydes de métal)
- Structure
  - Composites, revêtement, pellicule mince, poudres, métaux, catalyseurs (articles de sport, vêtements résistants aux tâches, pneus, peintures, semiconducteurs, piles à combustibles)

## Utilisations pour la recherche

- Environnementale
  - Mesures correctives (dendrimères), nanomembranes
- Biotechnologie
  - Prestation de médicaments (point quantique), biocapteurs
- Technologie des circuits intégrés
  - nanotubes à paroi simple, nanoélectronique, matériaux opto-électroniques, diode électroluminescente organique

## Utilisations futures

- Implants médicaux; habits de combat militaires; autoguérison
- Purification de l'eau; matériaux magnétiques, produits chimiques agricoles
- Traitement du cancer, détecteurs intégrés; médicaments intelligents
- **comme des milliers de composantes interactives**



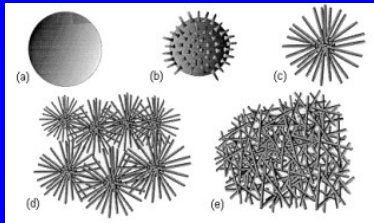
Nanofil sur un cheveu humain

# Produits nouvellement arrivés ou prévus : biomédicaux

- Interfaces cerveau–machine
- Puces pour remplacer la mémoire du cerveau
- Implants bioniques : oreilles, yeux, jambes et bras bioniques, genoux, jointures, rein, foie, poumons, disques, muscles, fonctions artificielles du nez et de la langue
- Prothèses pour le tube neural et la colonne vertébrale
- Utérus artificiel
- Formes de vie nouvellement conçues (biologie synthétique)
- Animaux améliorés
- Technologie de la cellule souche (embryonnaire, cordon ombilical, placentas et fournie par l'adulte) utilisée pour de nombreuses fins
- Médicaments à base de nano, administration de médicaments, herbes,....
- Produits pour la longévité et l'immortalité
- Le répliqueur d'aliments du genre «Star Trek» (fabrication moléculaire)

# Effets sur la santé – facteurs

- Avec plus de 300 produits améliorés par la nanotechnologie, des millions de travailleurs participent déjà à la recherche et développement, à la fabrication, à l'intégration et au transport de nanomatériaux
- Risques plus élevés lorsque les particules sont libres (non fixées dans une structure)
- Détermination de la toxicité (des études sur le quartz, l'amiante, la pollution de l'air)

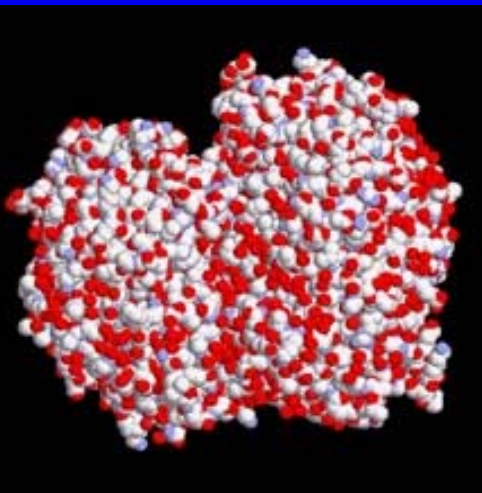


**1)** Dimensions physiques des particules – ont une incidence sur la pénétration et la durabilité

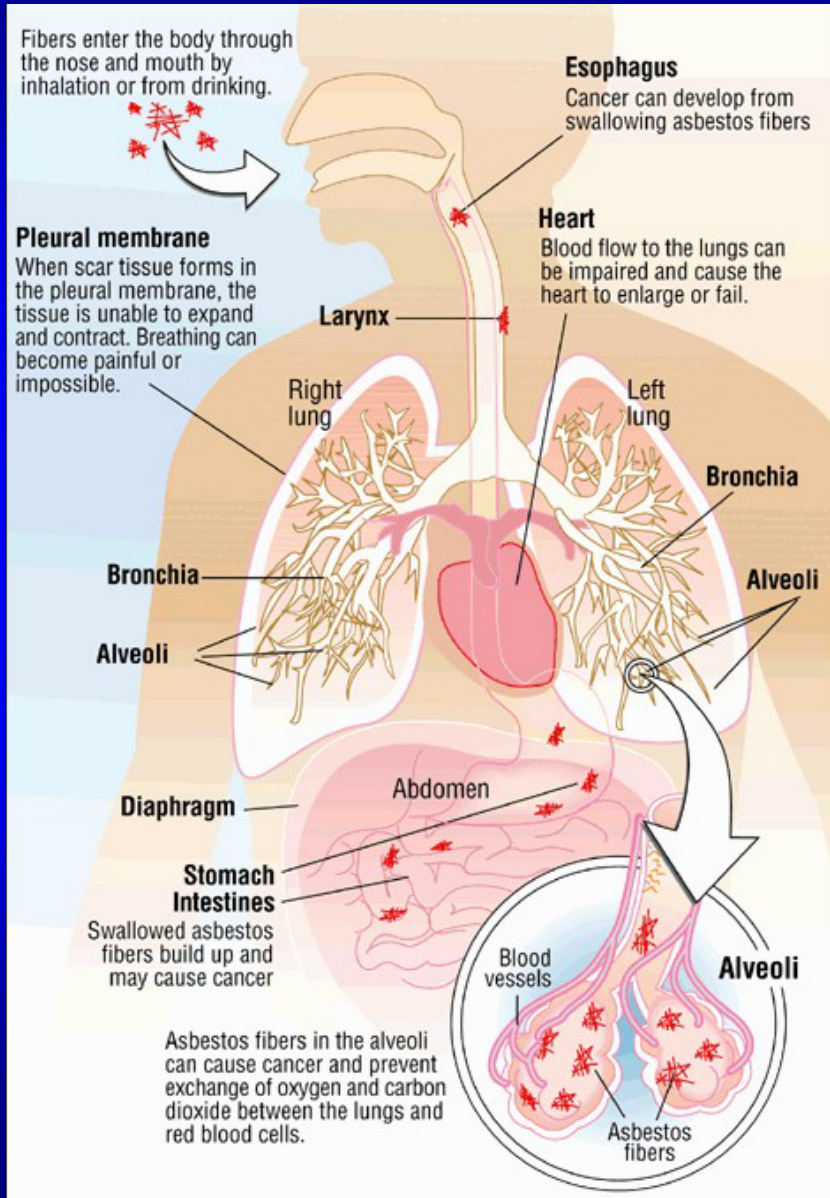
**2)** Réactivité chimique de surface (doit tenir compte des composantes de surface – métaux et revêtements de transition) et la libération de radicaux libres

**3)** La zone de surface présentée à l'organe cible (dose)

**4)** Solubilité (s'il peut se disperser avant de causer une réaction)

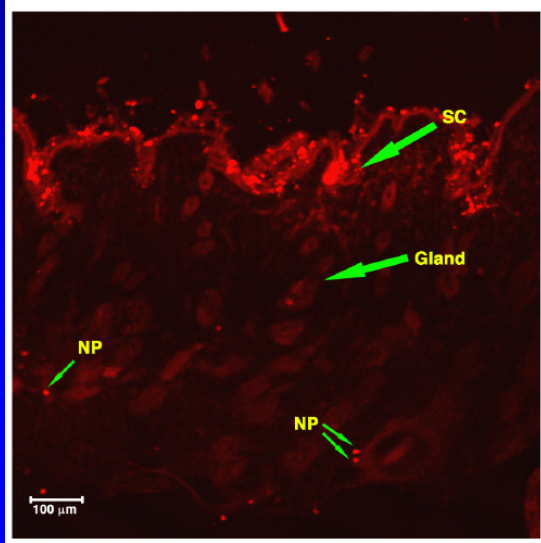


# Modes d'exposition – effets sur la santé



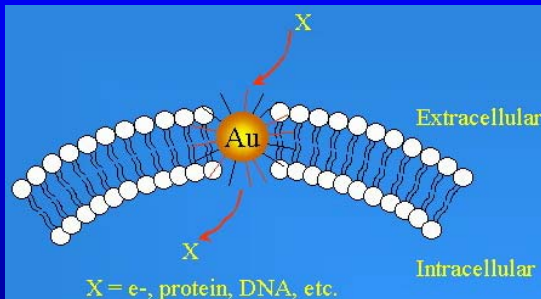
- 1) Inhalation (dans les milieux de fabrication et de recherche)**
  - Particules de taille nano ( $\text{TiO}_2$ , noir de carbone,  $\text{ZnO}_2$ ,  $\text{FeO}$ )
    - Forte proportion se dépose profondément dans les poumons
    - Peut traverser les membranes des cellules –
      - Interfère avec les fonctions de la cellule, comme la mobilité et la capacité à éliminer les bactéries
    - Pourrait entrer dans les nerfs et transloquer au cerveau
    - Il faut des recherches sur les procédures adéquates de manipulation, EPI, cas d'émission accidentelle
  - Formes tubulaires (comme le nanotube de carbone)
    - Peut être similaire aux fibres d'amiante – persistant ☒ cause le cancer
    - Exposition, in-vitro et in-vivo (mammifère) études nécessaires; et ont débuté

# Modes d'exposition – effets sur la santé



## 2) Peau (des cosmétiques : lotions solaires et maquillage)

- particules de taille nano ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}_2$ )
  - Si elles pénètrent la peau – peut libérer des radicaux libres pouvant endommager l'ADN
  - les industries réalisent toutes les analyses (confidentielles) sur une peau intacte – (approuvées par la FDA)
    - préoccupations si la peau est endommagée par les coups de soleil ou l'eczéma
- futur – administration de médicament par la peau
  - des études faites sur des rats démontrent que les nanomolécules peuvent traverser la peau
  - les nanoparticules peuvent entrer dans les cellules et nuire au fonctionnement normal de celle-ci



## 3) Ingestion (Mesure corrective/flux de déchets ☒ chaîne alimentaire)

- effets inconnus – dépendent des particules

# Procédures d'échantillonnage au travail

- Les procédures font appel à l'échantillonnage des fractions respirables
  - Compteur de noyaux de condensation de particules
  - Granulomètre de mobilité des matières particulaires
  - Impacteur (ELPI/Sioutas etc.)

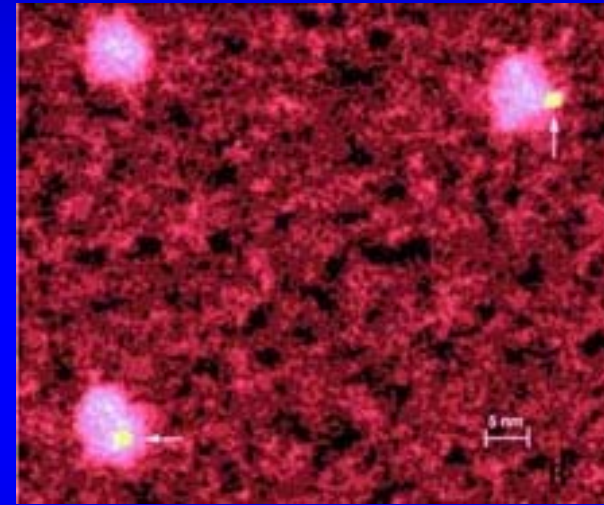


## Défis

- Validité : Capacité à saisir et à retenir un échantillon représentatif qui peut être mesuré par la suite – est-il représentatif des conditions d'exposition?
- Spécificité : Capacité à différencier et à quantifier les particules intéressantes de l'arrière-plan
- Mesures simultanées de la taille, de la zone de surface, de la forme et de l'espèce chimique
- Conception d'un plan d'assurance de la qualité standard

# Méthodes d'analyse

- Les méthodes dépendent des connaissances sur les particules analysées
  - Il faut caractériser la taille des particules, la zone de surface, la réactivité chimique et la forme
- Techniques à faisceau d'électrons (2-dim)
  - SEM, TEM (in vacuum), etc.
- Microscopie à force atomique (3-dim)



## Défis

- Instruments actuels :
  - gros, cher, non portatifs, exigent des opérateurs hautement formés, ne conviennent pas aux applications sur le terrain; les dosimètres sont encore loin dans l'avenir
- Il faut une norme de mesure internationale pour la métrique nanoscalaire – dimension, composition chimique, force et quantum électrique → besoin de niveaux d'exposition ou d'émission convenus

# Contrôles

- Aucun contrôle réglementaire **particulier** en place (les organismes de réglementation en sont aux discussions; ISO, CSA, ASTM, IEE, UE, position de l'OCDE)
- Domaines de contrôle particuliers possible :
  - Contrôle dans le milieu de travail
    - Ajuster les LEMT pour les formes nanoparticules des produits chimiques
    - EPI particulier, pratique de travail sécuritaire
  - Classification, étiquetage, mesure, formation
  - Contrôle des émissions dans l'air, l'eau, le sol
  - Restriction de l'élimination des déchets
  - Restrictions sur le plan du marketing et de l'utilisation
  - Laboratoire de santé et de sécurité du R.-U. et NIOSH aux É.-U.
    - Ont décidé que d'autres renseignements étaient nécessaires pour définir les propriétés et les comportements
    - Utilisent des mesures de précaution en attendant pour réduire l'exposition
    - Des outils uniformisés à l'échelle internationale doivent être conçu pour promouvoir la collaboration
    - Communication ouverte avec le public est très importante pour conserver la confiance du public

# Contrôles – état actuel

- NIOSH Nanotechnology and Health and Safety Research Program nouvellement conçu
  - Une étude pluridisciplinaire de cinq ans sur la toxicité et les risques pour la santé est présentement en cours
- L'OCDE se concentre sur les politiques et les normes environnementales
  - Examine les recherches nécessaires pour combler les lacunes
  - ISO TC229 porte sur la métrologie, la terminologie et la santé et la sécurité de l'environnement
  - CSA/CNRC dirigent le processus de normes; atelier avec le fédéral et les provinces organisé en avril 2006
  - Groupe de liaison interministériel en place; EC et SCan plus gros joueurs
  - L'Alberta est un gros joueur avec l'institut national de nanotechnologie; le Québec avec NanoQuébec; l'Ontario et la C.-B. s'organisent

# Résumé : problèmes et préoccupations

- Exposition actuelle inconnue dans les processus de laboratoires et de fabrication
  - Études toxicologiques limitées, mais ont débuté; insuffisance d'information sur EPI et la manipulation, mais en croissance
  - Joueurs importants mettent en œuvre des systèmes de prévention rigoureux
  - Les enjeux sociaux et moraux au sujet des régions pauvres sont laissés derrière, avec des avantages potentiellement importants
- Le sors à long terme des nanoparticules (np) provenant des produits → environnement inconnu pour biens des applications actuelles
  - Compréhension limitée du transport des np dans l'air, l'eau et le sol → les effets provenant de l'exposition aux humains, aux animaux et aux plantes.
  - Beaucoup de travail en cours aux É.-U., en Chine, au Japon, des pays scandinaves, de l'U. E. Les établissements canadiens commencent à y participer.

# Résumé : problèmes et préoccupations

- Manque d'information sur la sécurité des np dans les applications dermiques actuelles; interaction avec les cellules, le cœur, le système nerveux
- Devrait-on traiter les nano sous forme chimique comme étant de nouveaux produits chimiques, comme ils ont des caractéristiques différentes?
- Mêmes limites d'exposition pour les produits chimiques sous forme nano quoi que l'on sache que la réaction est différente; aucune nouvelle proposition sur la table
- Il reste encore à déterminer les caractéristiques relativement à l'inflammabilité et à l'explosivité

# Répercussions de la nanotechnologie sur les systèmes d'éducation

- Les étudiants doivent être conscients des aspects de la nanotechnologie liés à la science, à la théorie, au génie appliqué et à la socio-politique
- Dans les laboratoires et les projets pilotes, il faut se rappeler des aspects touchant l'environnement, la santé et la sécurité afin de protéger les employés, le public et l'écosystème.
- Les écoles doivent être une ressource où le public peut obtenir des réponses à ses questions sur la technologie, les répercussions sur la santé et les problèmes socio-éthiques.
- Suivi de la documentation populaire pour les résultats des efforts d'uniformisation, les problèmes touchant les consommateurs, l'écosystème et la santé

# VALEUR MONÉTAIRE DE LA NANOTECHNOLOGIE

Chercheurs	Nouvelle connaissance	\$
Diplômés	Capacité de commercialisation de la RD	\$
Designers ou concepteurs d'équipement de produire ou manipuler	Nouvelle capacité à analyser, à miniaturiser	\$ → \$\$\$
Intégrateurs	Permet aux systèmes <u>existants</u> de performer mieux, plus vite et de façon moins coûteuse?	\$ → \$\$
Matériaux	Nouveaux produits pour <u>l'intégration</u> dans les systèmes (petit volume-valeur plus élevée)	\$ → \$\$\$
Commerce	Nouveaux produits, produits habilités – contribution sociale	\$ → \$\$
Finance	Nouvelles possibilités	\$ → \$\$
Régions sous-développées	Ne participe pas au départ, ou jamais	\$ → -\$
Pharmacologie	Nouvelles méthodes de poser un diagnostic ou de traiter	\$ → \$\$\$\$
Électronique	Plus petit, plus vite, différent	\$ → \$\$
Agriculture	Performance plus élevée; moins nécessaire	\$ → \$\$
Médecine	Meilleur diagnostic ou traitement plus rapide	\$ → \$\$