



Section Recherche & Santé

ETUDES DE POSTE
ET
RADIOPROTECTION

Mardi 9 novembre 2010

UNION INTERNATIONALE
DES CHEMINS DE FER
16, rue Jean Rey
75015 PARIS

Exposition professionnelle aux nanoparticules manufacturées : Problématique et état des connaissances

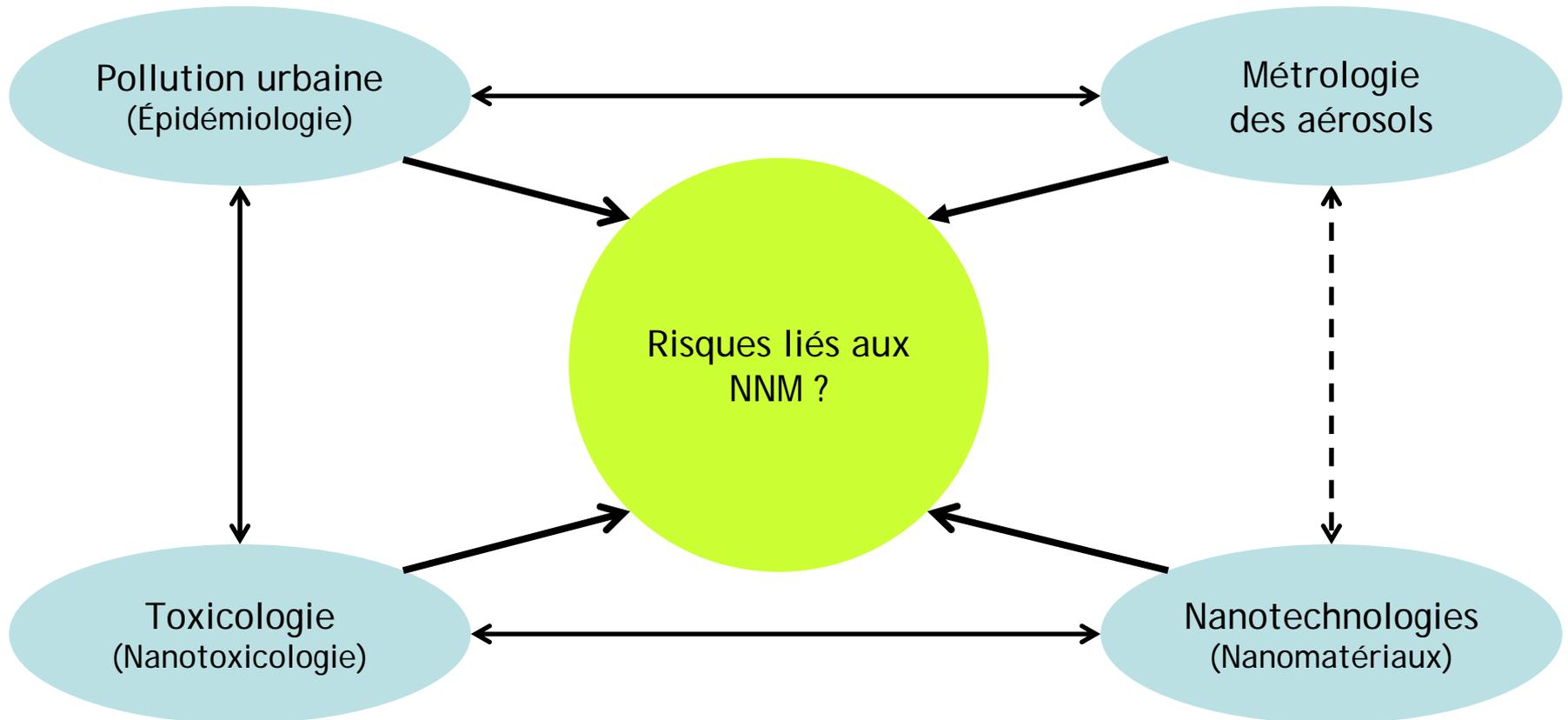
Olivier Witschger

Laboratoire de Métrologie des Aérosols
Département Métrologie des Polluants
INRS, Centre de Lorraine

Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

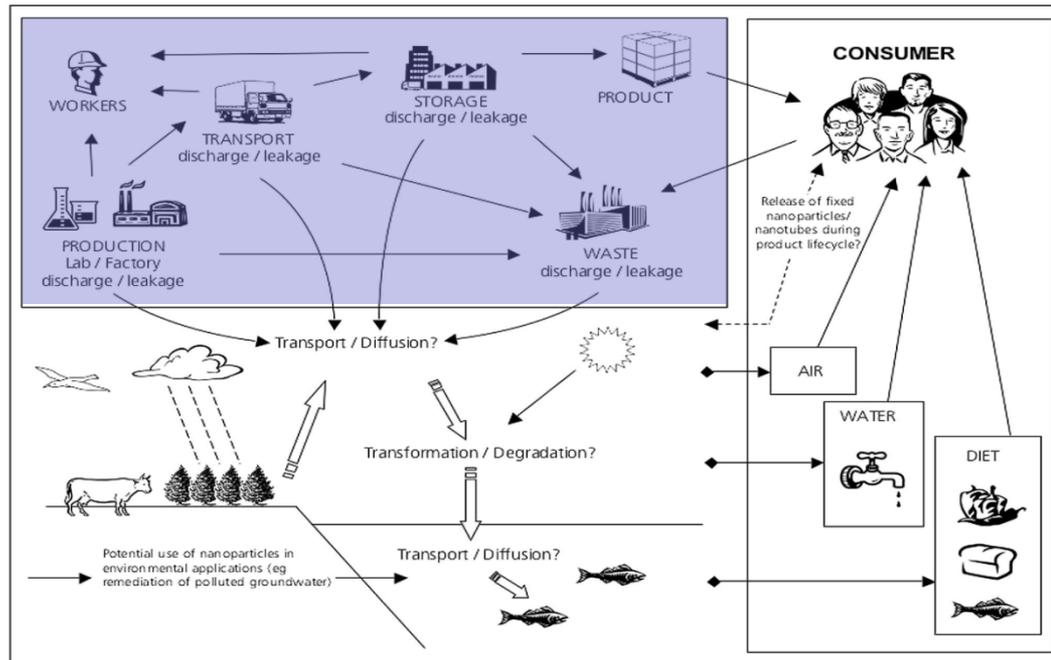
Pourquoi maintenant ?

- La prise en compte du risque lié aux NNM résulte du développement récent de connaissances dans différents domaines.



Une question globale

- Les propriétés sur lesquelles reposent les NNM et produits qui en résultent interrogent les risques pour la santé (**travail**, publique) et l'environnement



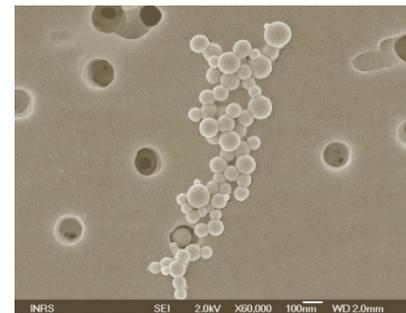
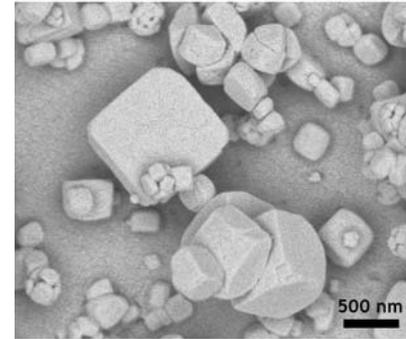
- Les voies d'expositions sont nombreuses et variées.

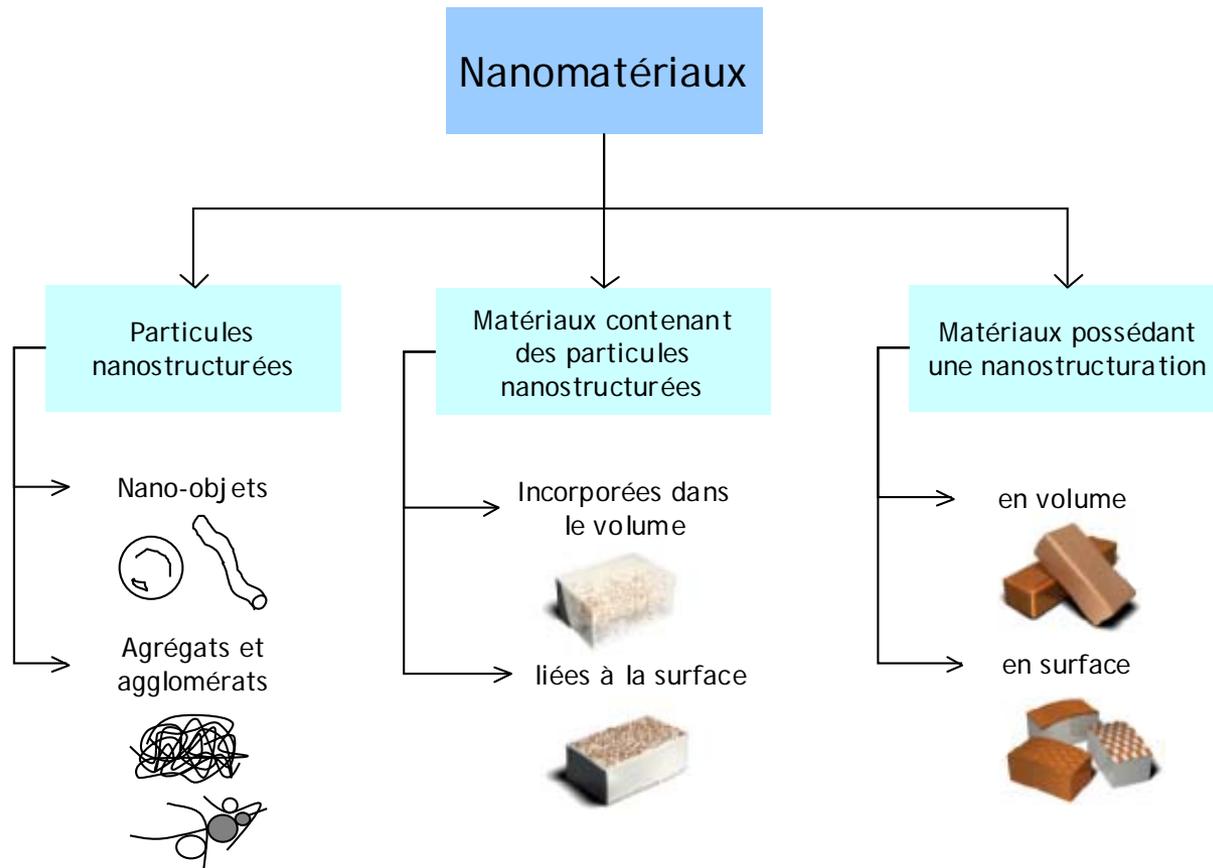
Trois types qui dépendent de leur origine :

- Naturelle
 - Processus existants dans l'environnement
 - Conversion gaz-particule
 - Embruns, poussières volcaniques, émissions minérales, bioaérosols, feux etc.

- Anthropogénique non-intentionnelle
 - Émissions moteurs (diesel), combustions, métaux fondus (soudage, métallisation), condensation de vapeurs etc.
 - Procédés mécaniques (ponçage etc.)
 - Dénommées **particules ultrafines**

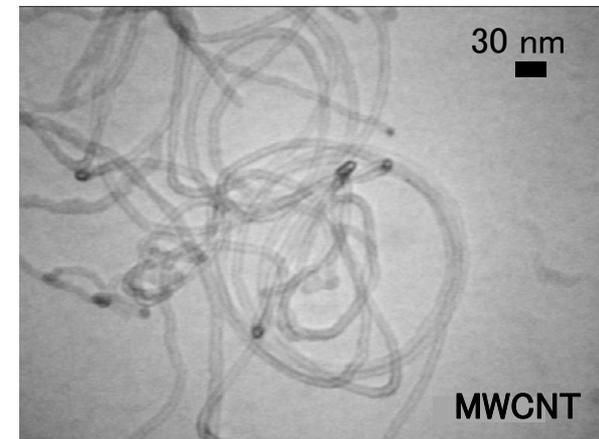
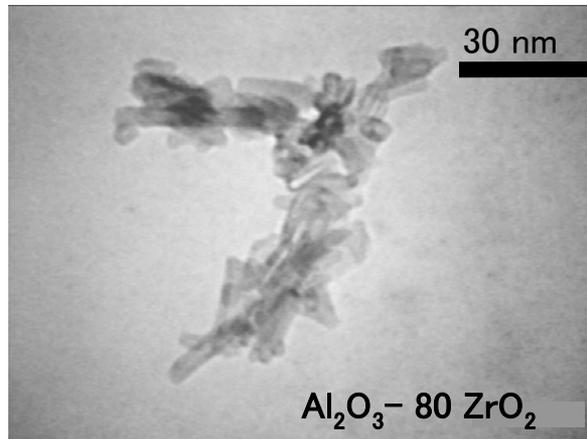
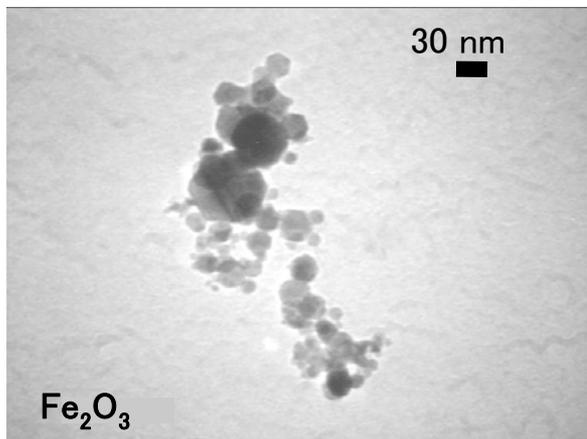
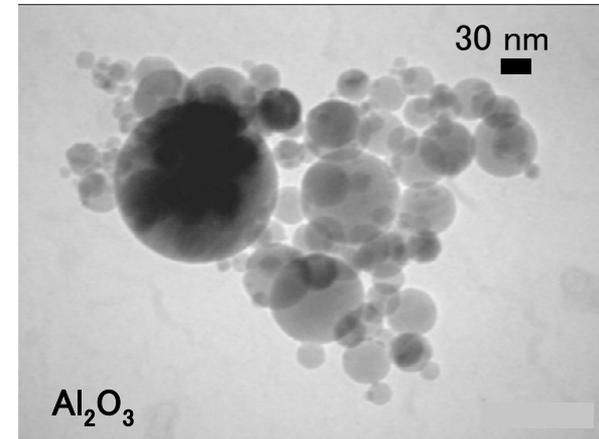
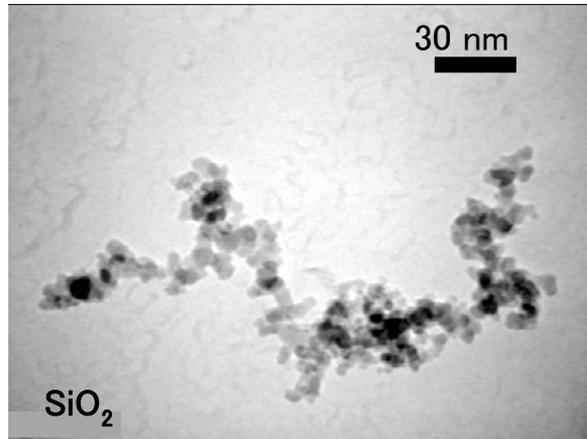
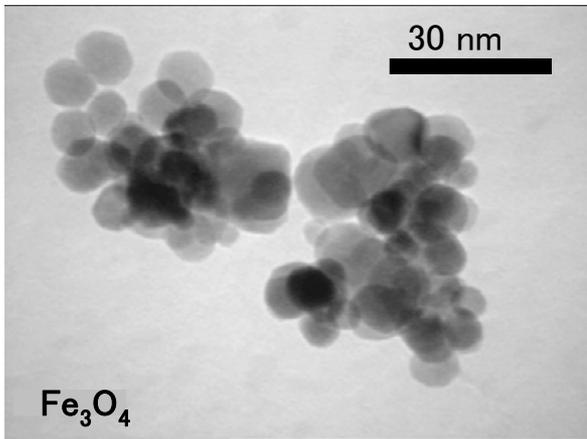
- Nanoparticules manufacturées (*engineered*)
 - Produites suivant différents procédés :
 - Mécanosynthèse (approche "top-down")
 - Synthèse chimique ou voie physique (approche "bottom-up").



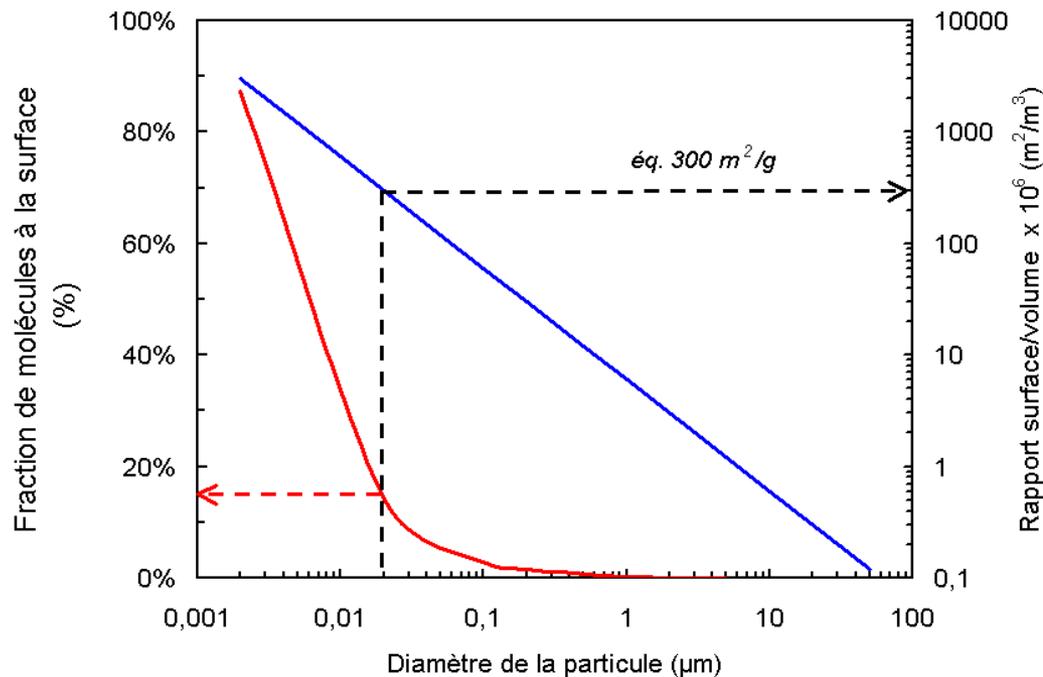


- SCHENIR (Juillet 2010) : tous matériaux possédant une ou plusieurs dimensions interne ou externe à l'échelle nanométrique.

- Particules collectées après aérosolisation de nanopoudres

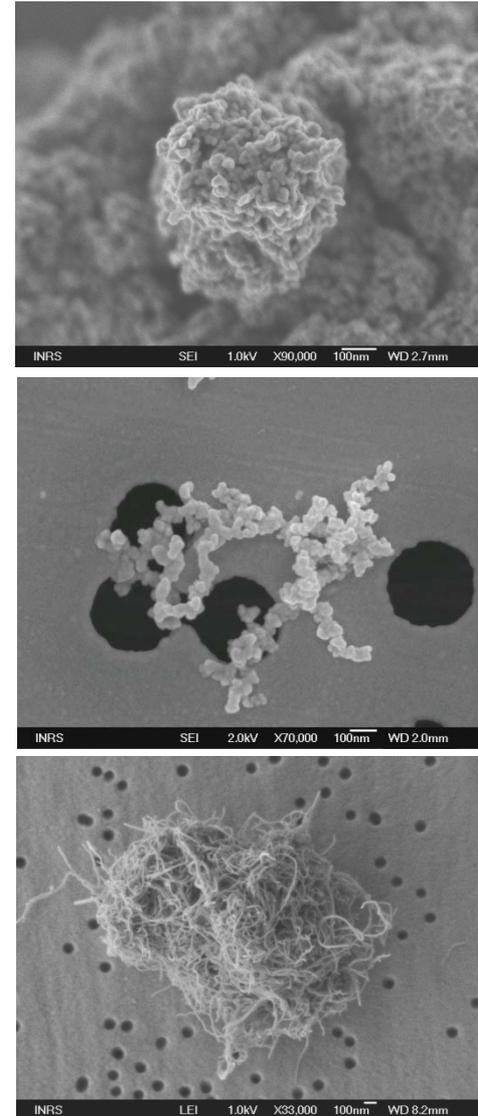


- Une surface disponible aux échanges plus importante



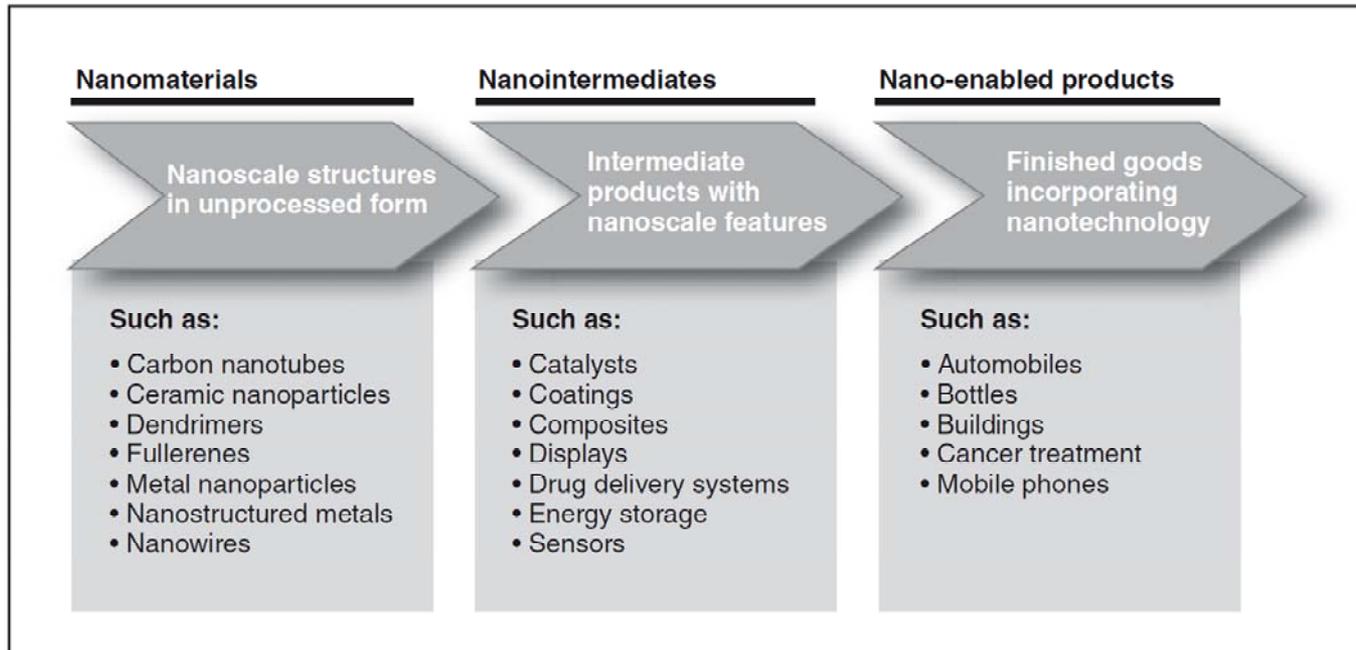
- Les matériaux révèlent des propriétés différentes de celles des matériaux de plus grande taille (microstructuré).
- Les propriétés nouvelles (parfois inattendues) laisse envisager des retombées dans de nombreux domaines : matériaux, médical, électronique, énergie etc.

- Celles produites en tonnage important :
 - TiO_2 , noirs de carbone, alumines, silices, carbonate de calcium, oxyde de zinc, de fer, de cérium, argiles, terres rares etc.
 - Production dans des tonnages élevés ($\rightarrow 10^5$ t/an)
 - *Effets sur la santé : zones d'ombres (cf. TiO_2)*
 - *Expositions : scénarios connus mais postes de travail à revisiter*
- Celles produites depuis plus récemment :
 - Métal pur, oxydes métalliques (simple/multiples)
 - Nanotubes, nanofibres
 - Production encore limitée ($\sim\text{mg} \rightarrow 10^2$ t/an)
 - *Effets sur la santé : importantes lacunes*
 - *Expositions : scénarios hypothétiques, très peu de données de terrain*



Des nanomatériaux aux produits qui en contiennent

- Les nanomatériaux entre dans le marché sous différentes formes (matériaux, produits intermédiaires, produit final)



Source: Adapted by GAO from materials produced by Lux Research.

- A ce jour, +1000 produits de consommation sont inventoriés.

- Tâches potentiellement exposantes

Aérosol



Émission dans un système non clos, fuite accidentelle d'un réacteur en phase gazeuse

Poudre



Broyage, mélange, manipulation (ex. pesée), pulvérisation, récupération dans un système collecteur, nettoyage

Suspension
liquide



Mélange de suspensions contenant des nanoparticules, pulvérisation, agitation énergétique, nettoyage

Matériau
solide



Usinage, découpe, meulage, sablage, perçage, ou toute autre opérations mécaniques sur des nanomatériaux (contenant des nanoparticules)

Activités et populations potentiellement exposées



Stade	Laboratoire (recherche et pilote)	Industrie (développement et production)	Industrie utilisatrice
Quantité (masse)	mg à kg	kg à > 100s kg	kg à > 100s kg
Tâches	Fabrication, caractérisation, optimisation et développement de procédés, recherche d'applications	Dimensionnement et optimisation de procédés, recherche d'applications, production en grand volume, conditionnement et transport	Déconditionnement, utilisation directe ou incorporation dans divers matrices, développement de procédés, production en grand volume, conditionnement et transport
Personnels potentiellement exposés	Chercheurs, techniciens de laboratoire, étudiants	Ingénieurs et techniciens de production, agent de stockage et de transport Agent de maintenance, de nettoyage, de traitement des déchets	

- Plusieurs études ont porté sur la caractérisation des conditions de production, des usages et des populations (Suisse, Allemagne, GB, Italie, France ...)
- De quelques milliers (recherche et production) à plusieurs centaines de milliers (utilisation).
- Quasiment pas de données sur les expositions réelles.

Source : O. Witschger, Spectra Analyse 2008

Évaluer l'exposition pour les particules « microniques »

- Pour toute substance chimique (aérosol), la mesure de l'exposition repose sur :

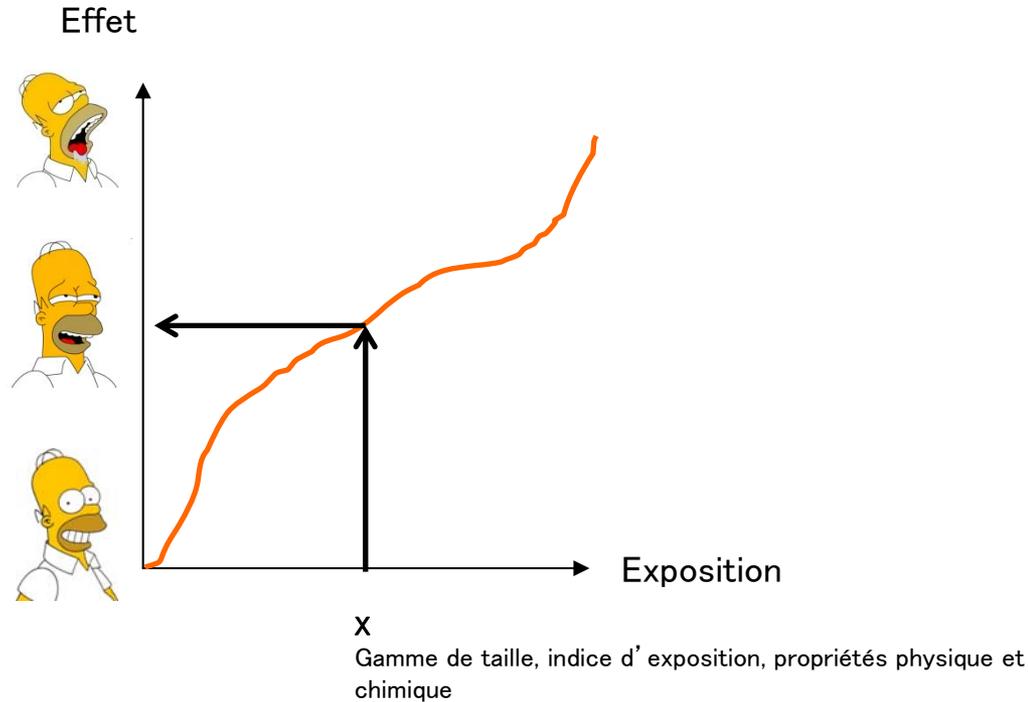
- ✓ La mesure d'une concentration en masse (mg/m^3)*,
- ✓ d'une fraction spécifique de l'aérosol (inhalable, thoracique, alvéolaire),
- ✓ dans la zone respiratoire,
- ✓ pendant la durée de la période de travail.

Excepté pour les fibres ($1/\text{cm}^3$)

- Toutes les recommandations (évaluation, contrôle) reposent sur le **paradigme de la « masse »**.
- Approche efficace pour les aérosols (réductions des maladies avec la diminution des expositions).
- Une large gamme de dispositifs de prélèvement (personnels et à poste fixe) sont disponibles, et associée à des méthodes analytiques.

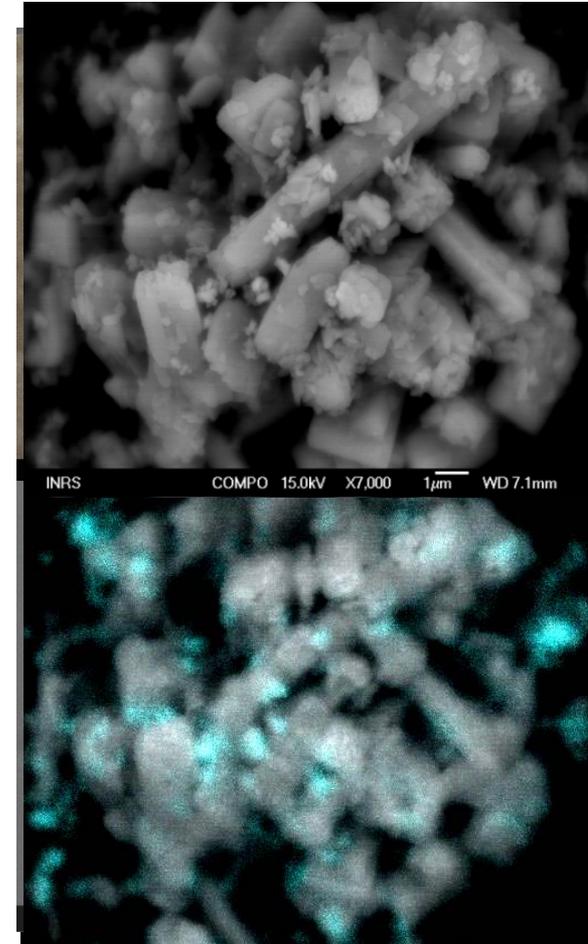
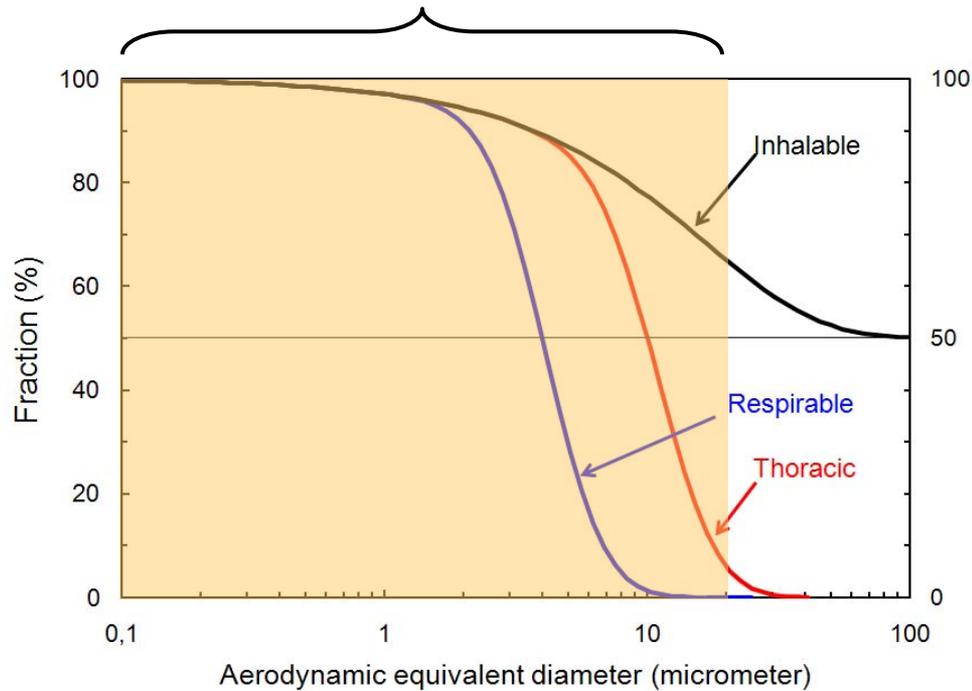


- Quels sont les paramètres pertinents pour évaluer les effets des nanoparticules ?



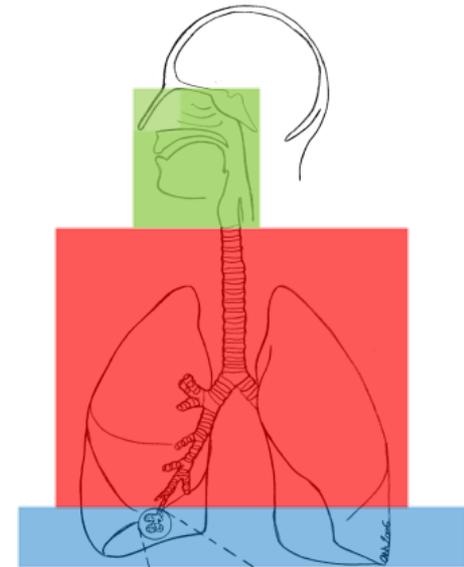
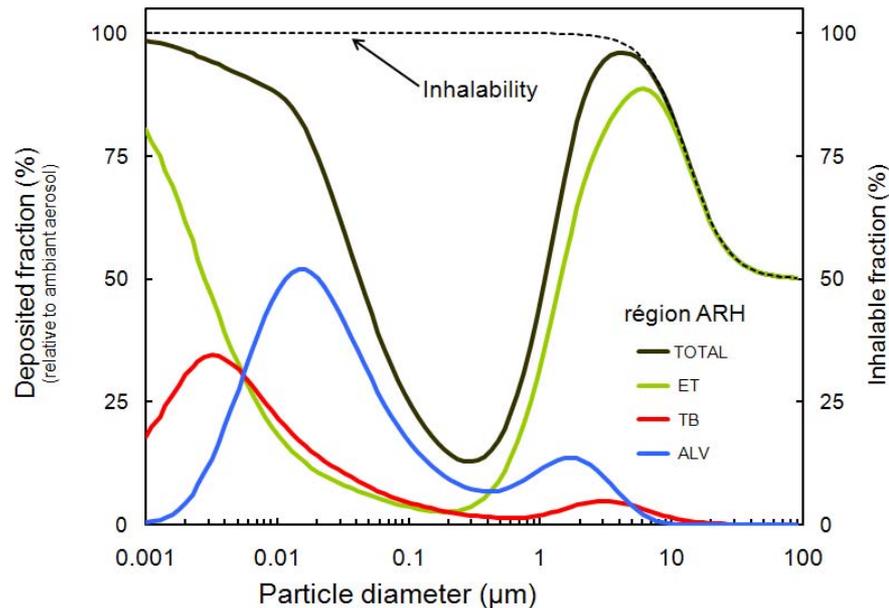
- Question complexe puisque les facteurs qui influencent la toxicité sont nombreux et leur importance relative n'est pas encore définie.
- Un consensus international doit être trouvé... au plus tôt

- Quelle gamme de taille considérer ?
 - ✓ Toute particule nanostructurée qui atteint la bouche ou le nez et pénètre dans l'ARH



- Quelle fraction de l'aérosol considérer ?

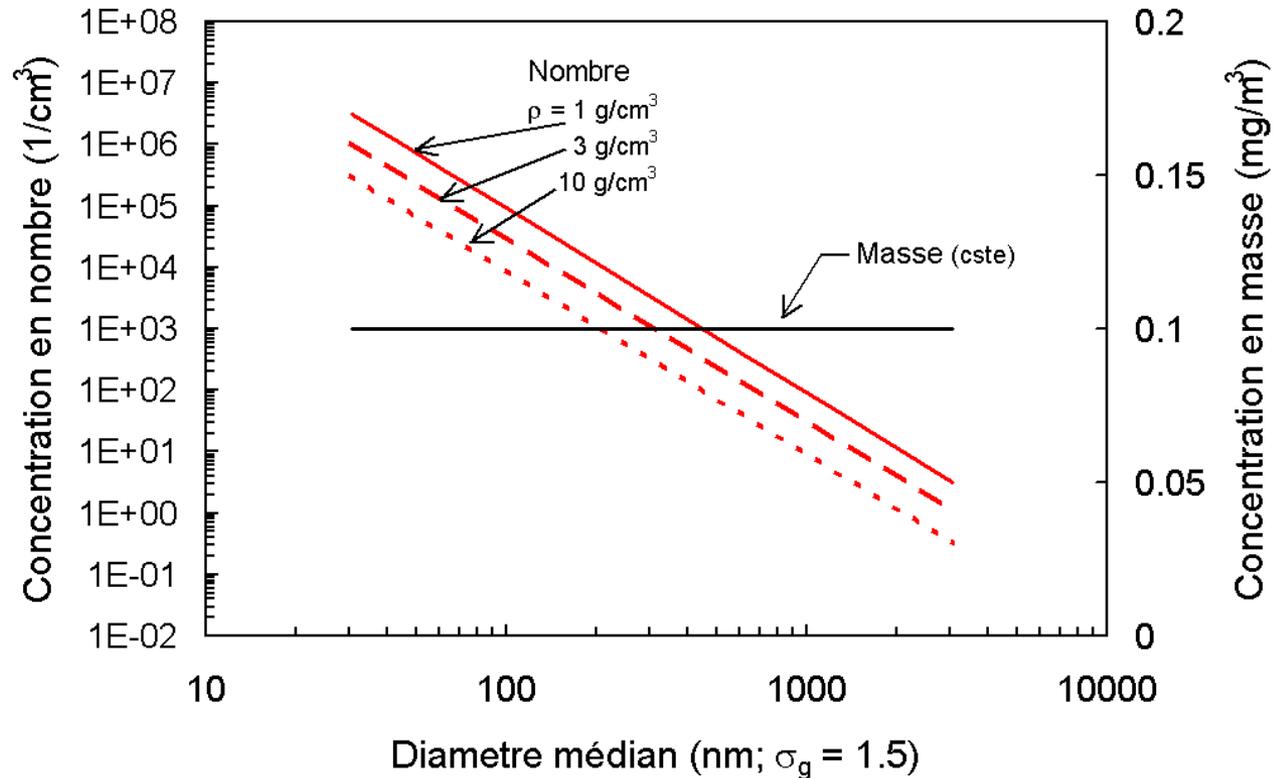
- ✓ La mesure de l'exposition basée sur le critère de « pénétration » introduit une ambiguïté !
- ✓ Une mesure basée sur un critère de « dépôt » fournirait une information plus robuste.

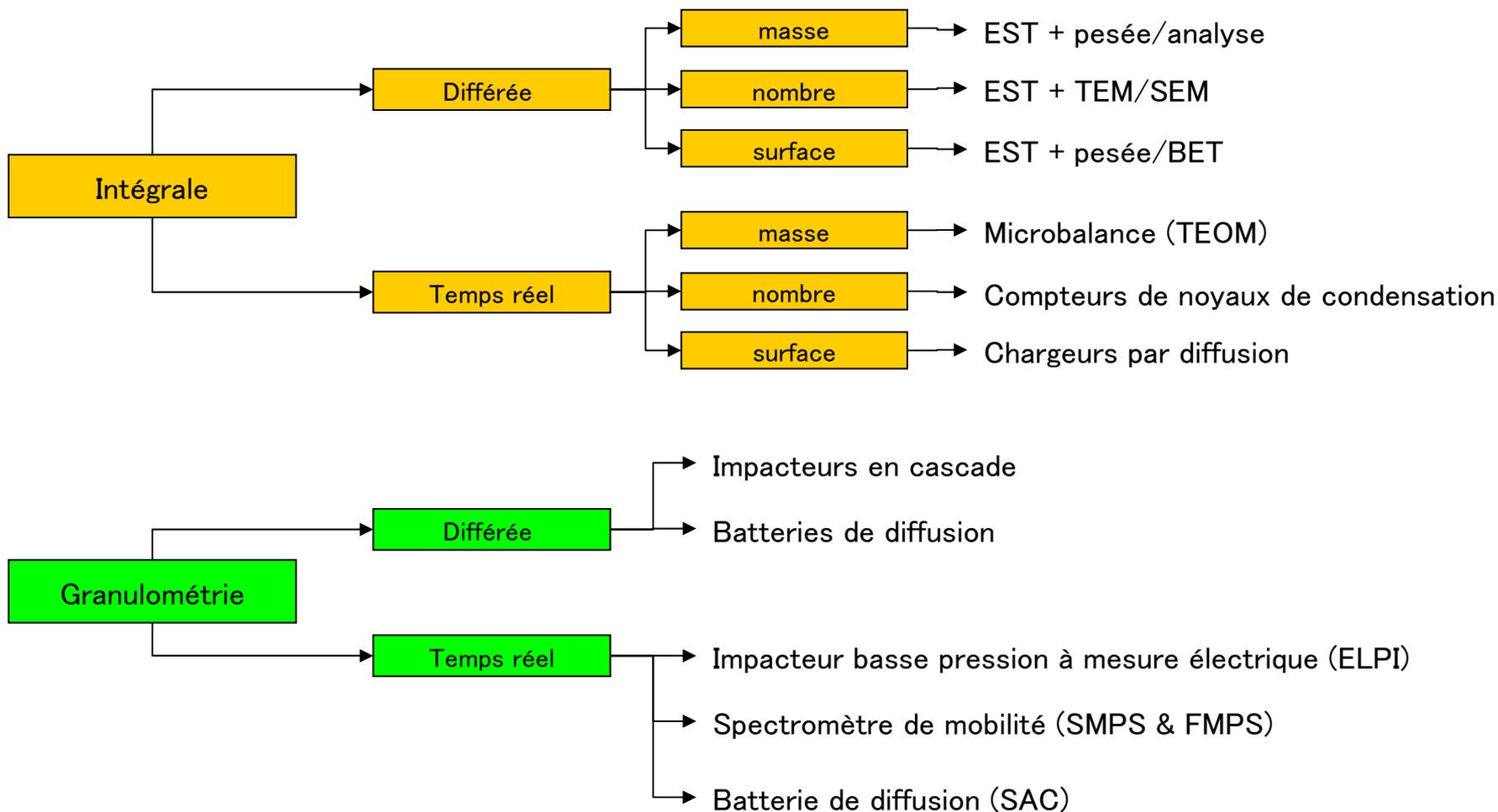


- ISO / TC 146 / SC2 → Workplace Atmospheres — Sampling conventions for airborne particle deposition in the human respiratory system

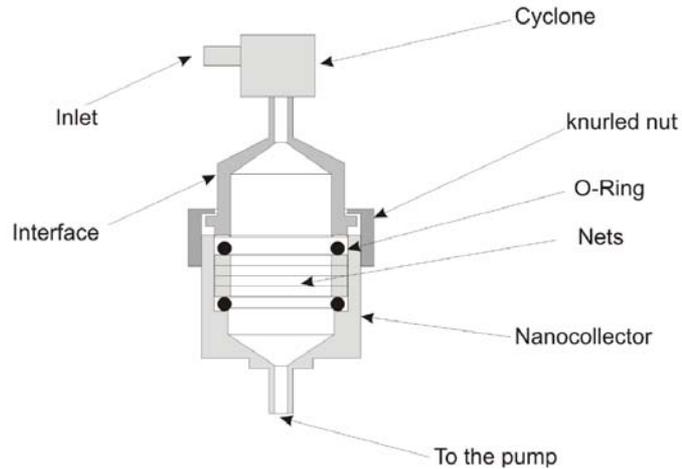
- Quel indice d'exposition (concentration dans l'air) ?
 - ✓ Les résultats des recherches sur la toxicité des nanoparticules montrent que, pour les substances insolubles ou faiblement solubles, les deux seuls indicateurs (masse et composition chimique) semblent être inappropriés.
 - ✓ De nombreuses recherches en cours pour déterminer quel indice d'exposition (masse, nombre ou surface) est le plus pertinent et dans quelles circonstances.
 - ✓ À ce jour, pas de consensus stabilisé. Il est donc nécessaire de :
 - ✓ considérer, dans la mesure du possible, les trois indices d'exposition nombre, surface et masse.
 - ✓ Coupler une caractérisation physico-chimique des particules (composition chimique, structure cristalline, morphologie...)

- Quel indice d'exposition (concentration dans l'air) ?

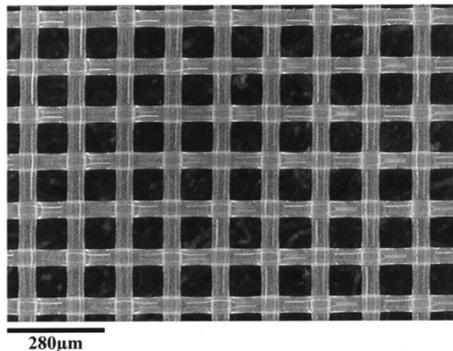




- Échantillonneur sélectif en taille : granulométrie < 300 nm



Non-conductive nylon nets



Combine : cyclone + batterie de diffusion + filtre terminal

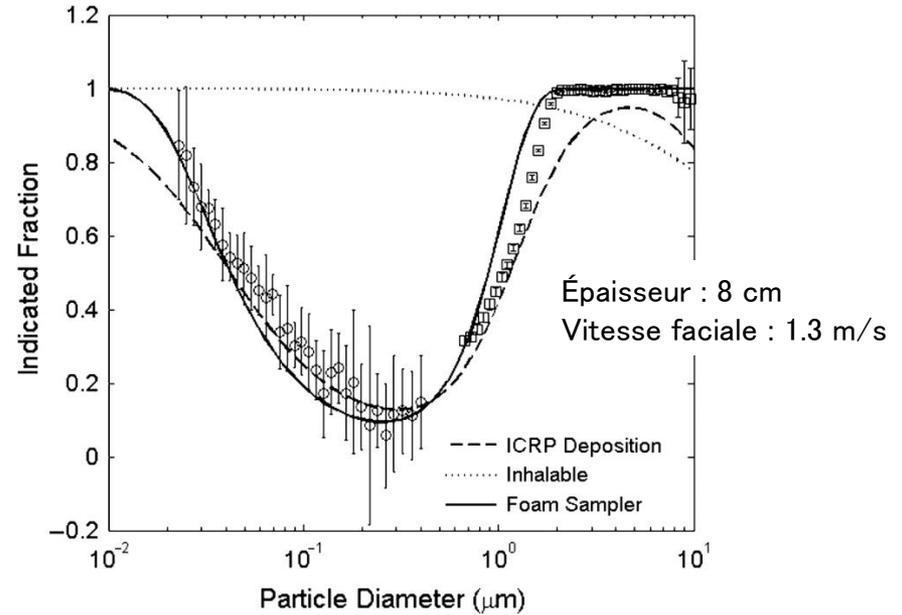
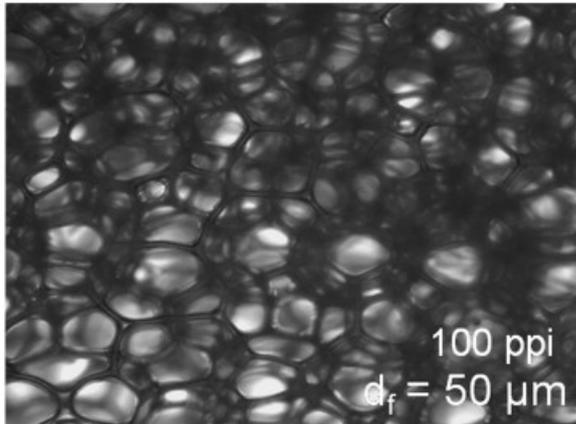
Débit de prélèvement : 5 Lpm

5 étages : 0.3–0.06–0.015–0.005–0.001 μm

Développé et étudié par INRS dans le cadre de NANODEVICE (projet EU R&D)

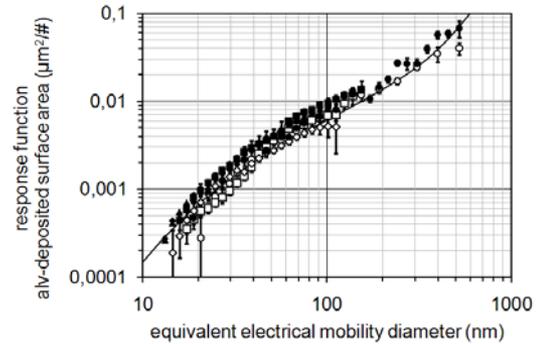
- Échantillonneur sélectif en taille : mesure de la fraction totale déposée dans l'ARH

Mousse polyuréthane



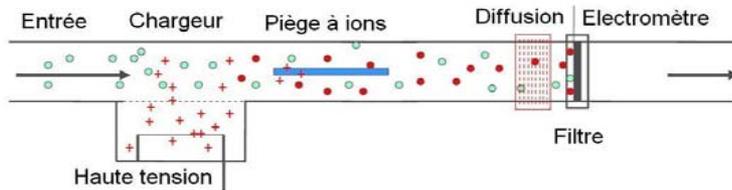
De nouveaux développements

- Mesure en temps réel de la concentration en surface *déposée* ($\mu\text{m}/\text{cm}^3$)

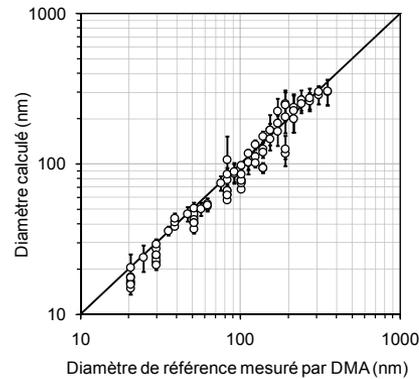


Bau S, Witschger O, Gensdarmes F, Thomas D (2010).

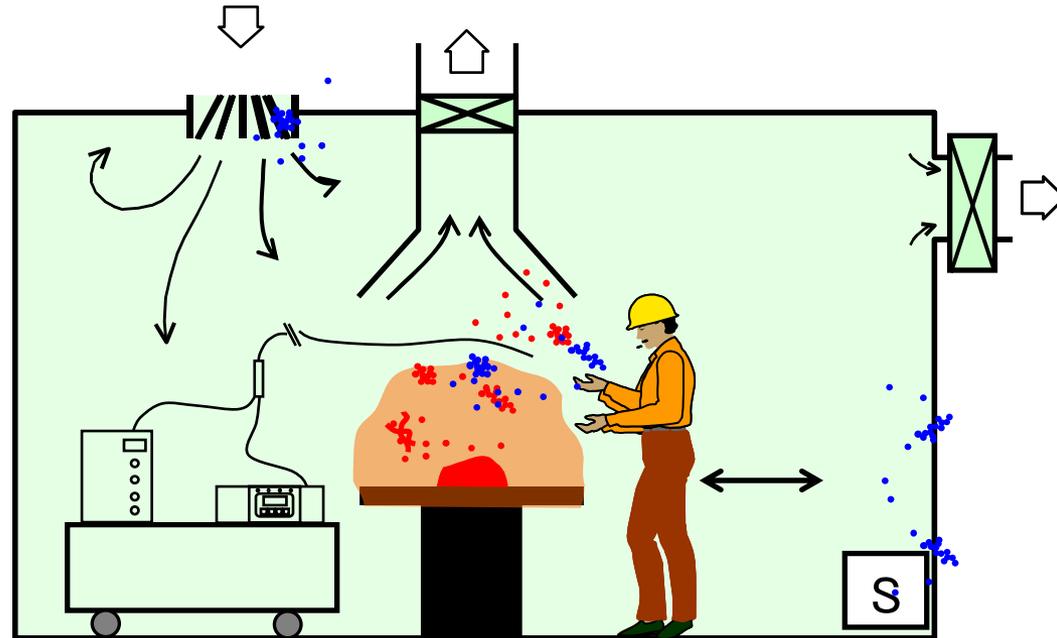
- Mesure en temps réel de la concentration nombre ($1/\text{cm}^3$) et de la taille moyenne



Bau S, Jacoby, J. Witschger O (2011).



- De nombreux aspects à considérer
 - Instrument de mesure en temps réel, à poste fixe et non spécifique
 - De nombreuses sources internes & externes (particules ultrafines) viennent généralement interférer avec la mesure.



- Approche par niveaux et multi-facettes actuellement discutée (OCDE, PEROSH, etc.)

■ Contexte

➤ Pour l'entreprise ou le laboratoire :

- ✓ Démarche de prévention spécifique sur « nano »

➤ Pour l'INRS :

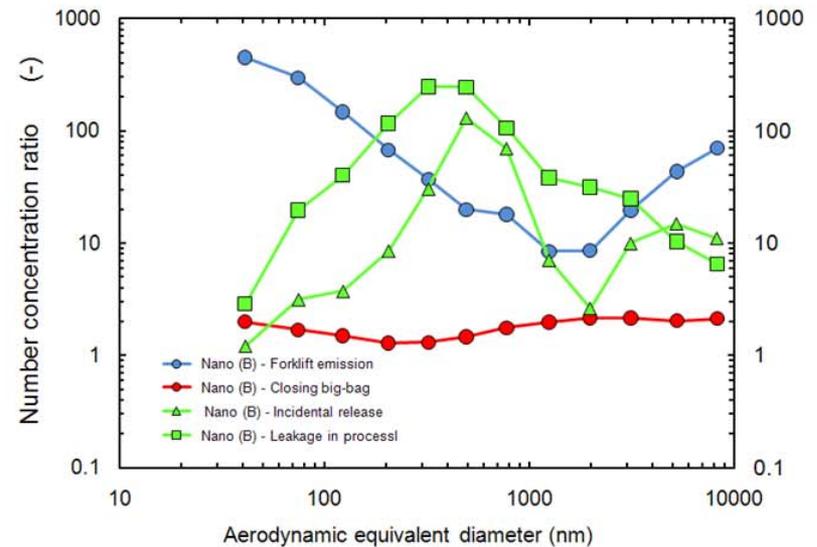
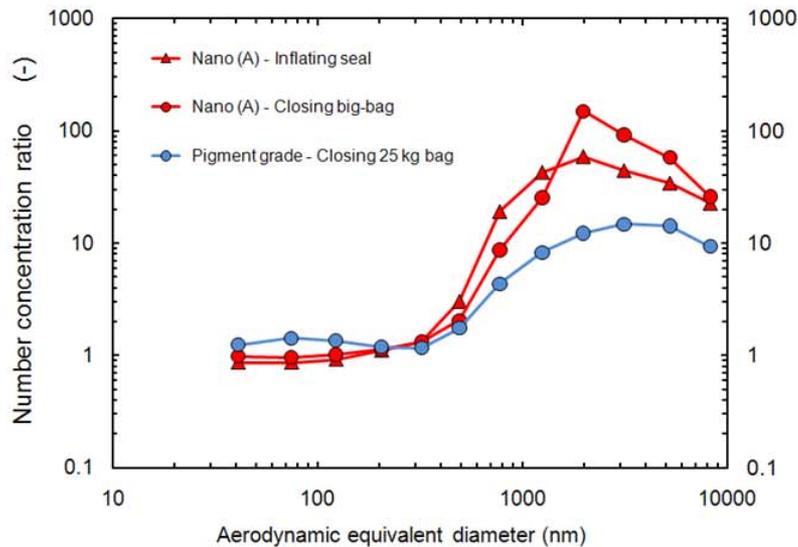
- ✓ Documenter la connaissance sur les nanoaérosols sur les postes de travail (industrie & recherche)
- ✓ Autres objectifs :
 - ✓ performances des instruments de mesures,
 - ✓ stratégies de mesures,
 - ✓ outils d'interprétation des données,
 - ✓ protocoles pour la caractérisation des nanoparticules & nanopoudres (granulométrie voie liquide, nanodustiness, microscopie électronique etc.)

- Usine de production / Fabrication de TiO_2 pigmentaire et nanométrique
 - Postes d'ensachage (25 kg et BB)
 - Conditions normales de travail et incidents

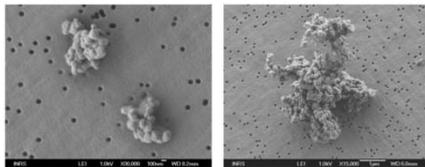


- Manufactured plant delivering ‘pigment grade’ and ‘nanostructured’ TiO₂ powders.

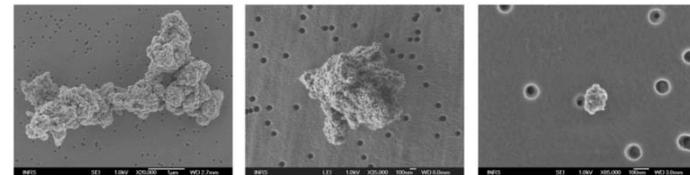
Evolution with size of the ratios of number concentrations “activity/non-activity” for different activities at the 3 workstations.



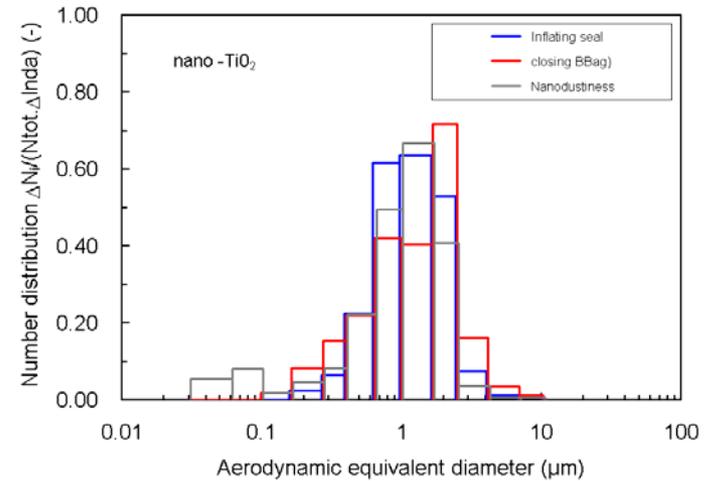
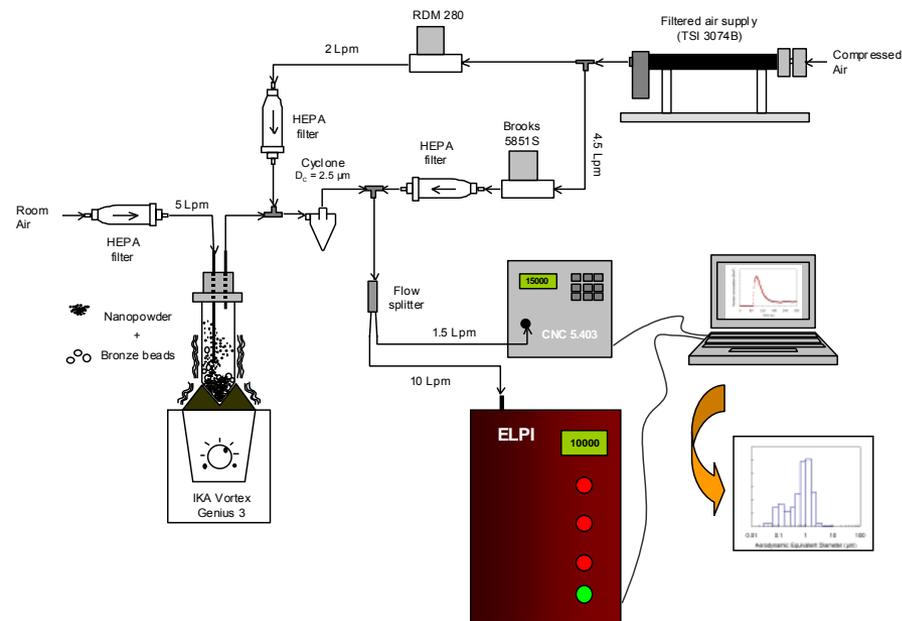
Hall 1
Pigment grade



Hall 1
Nano (A)

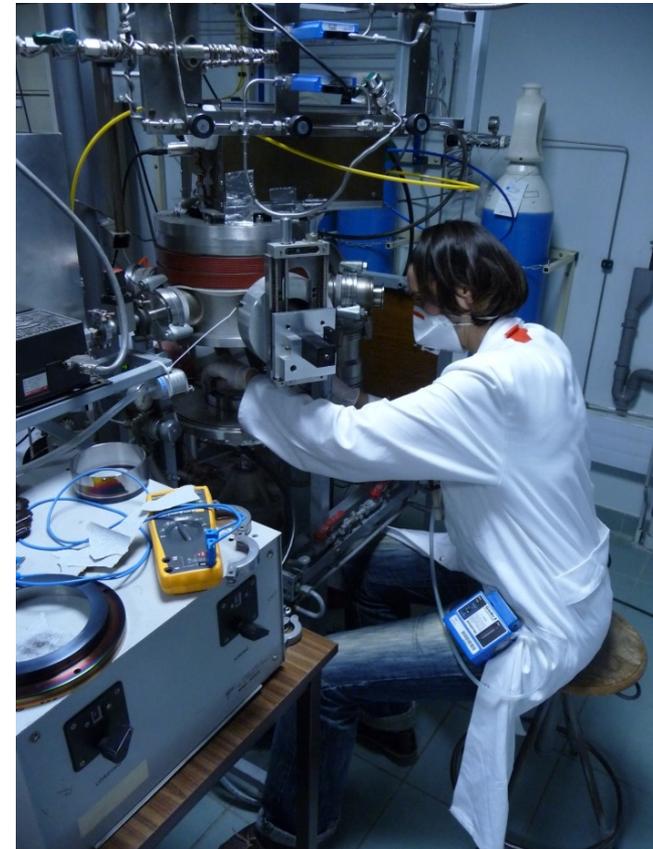
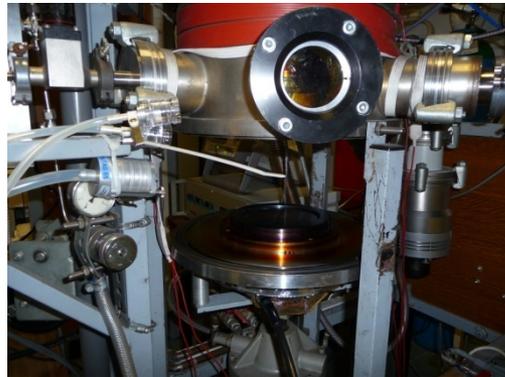
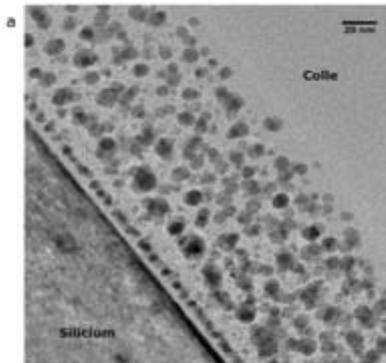


- Field measurements are completed by laboratory measurements (nanodustiness)

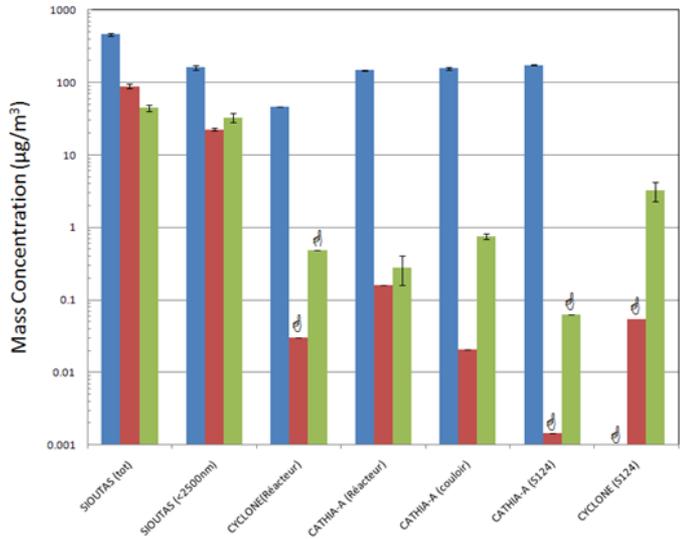


Source: Witschger et al., 2010

- Laboratoire de recherche / nettoyage de réacteur / nanoAg

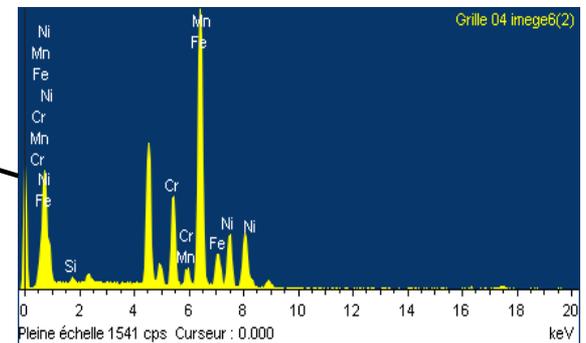
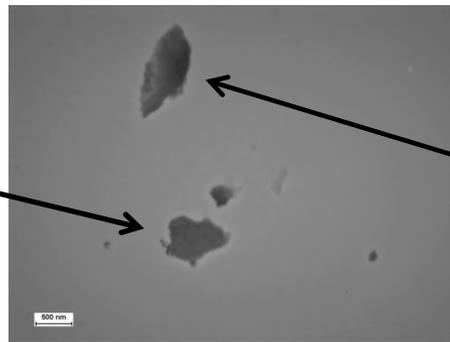
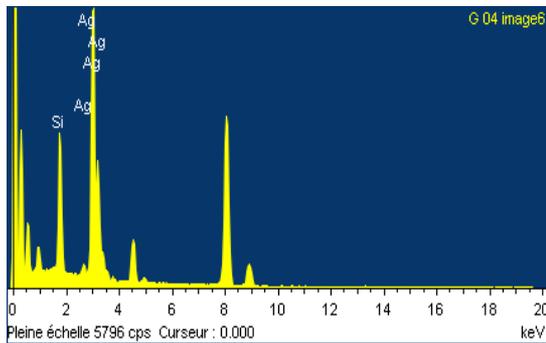
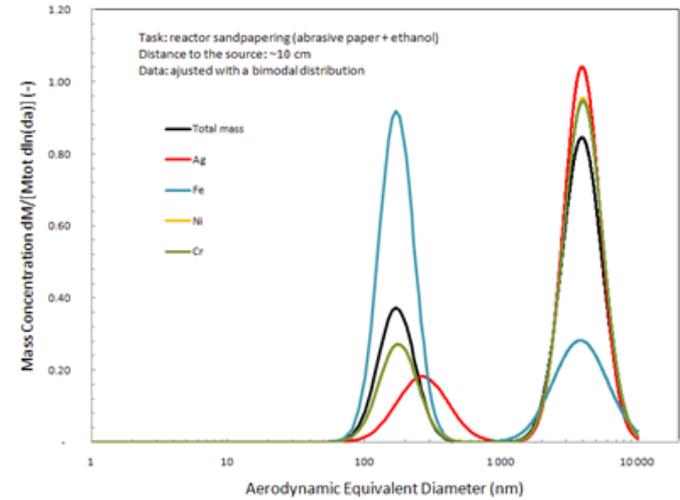


■ Laboratoire de recherche / nettoyage d'un réacteur / nanoAg



VME (Ag) = 100 µg/m³

■ Total mass
■ Ag
■ Fe
🔥 LOD



- Les nanoparticules constituent un groupe hétérogène de particules de différentes structures, morphologies et compositions qui peuvent se retrouver sous forme « individuelle » ou combinées en agrégats/agglomérats.
- Les scénarios d'exposition sont nombreux et concernent différentes catégories de personnels.
- Encore peu de précisions sur les conditions réelles de travail (fabrication et usages) et les populations, ainsi qu'en termes de protection.

- Évaluation des expositions :
 - L'approche traditionnelle est remise en cause
 - Questions complexes en suspens (critères de mesures, méthodologies fiables et adaptées, stratégie de mesure, valeurs « limites »)
 - Important challenge pour ces prochaines années (cadre international).

- Données de terrains encore parcellaires :
 - Documenter la connaissance sur les nanoaérosols sur les lieux de travail (industrie & recherche) est une priorité.

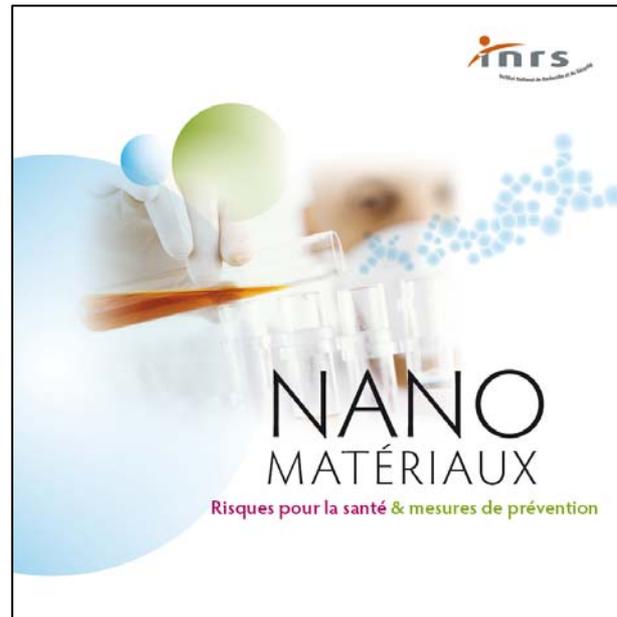
- Au-delà des nanoparticules, ces développements devraient avoir des retombées pour l'évaluation des expositions professionnelles en général (particules ultra-fines, méthode, etc.).

- Un programme multidisciplinaire et transversale d'actions de :
 - Recherches
 - ✓ Effets sur la santé (génétoxicité, immunotoxicité, neurotoxicité, effet pulmonaire)
 - ✓ Épidémiologie (au travers de l' IReSP)
 - ✓ Expositions (aspects qualitatifs, instrumentation et études de postes)
 - ✓ Prévention technique (individuel et collective)
 - ✓ Perception et gestion des risques
 - D'assistance
 - Apporter conseil, assistance et expertise auprès des entreprises/laboratoires
 - De formation et d'information
 - Stage INRS, formation auprès de différents acteurs
 - Information (expertise et sensibilisation)
- Partenariats :
 - ✓ IRSN, CNRS
 - ✓ Projet Nanogenotox (10-13) et Nanodevice (09-13)

ED 6050, 2008 (F)
2009 (Anglais)



ED 6064, 2009



Animation (www.inrs.fr)



Comité scientifique international

Christof Asbach

Institut für Energie- und Umwelttechnik,
Duisburg, DE

Jorge Boczkowski

Institut national de la santé
et de la recherche médicale, INSERM
U955, Créteil, FR

Odile Boutou-Kempf

Institut de veille sanitaire, département
Santé travail, Lyon, FR

Patrick Brochard

Institut de santé publique
d'épidémiologie
et de développement, Bordeaux, FR

Derk Brouwer

TNO Quality of Life Research &
Development, Zeist, NL

Emeric Frejafon

Institut national de l'environnement
industriel et des risques, Verneuil-en-
Halatte, FR

François Gensdarmes

Institut de radioprotection et de sûreté
nucléaire, Gif-sur-Yvette, FR

Eileen D. Kuempel

National Institute for Occupational
Safety and Health, Cincinnati, US

Stéphanie Lacour

Centre d'études sur la coopération
juridique internationale, Ivry-sur-Seine, FR

Francelyne Marano

Laboratoire de Cytophysiologie et
toxicologie cellulaire, Université Paris 7,
Paris, FR

Andreas Mayer

Technik Thermische Maschinen,
Niederrohrdorf, CH

Rémi Maximilien

Direction des Sciences du vivant,
Commissariat à l'énergie atomique,
Fontenay-aux-Roses, FR

Claude Ostiguy

Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
Montréal, QC, CA

Didier Rouxel

Institut Jean-Lamour UMR 7198 CNRS
université Henri-Poincaré, Vandœuvre-
lès-Nancy, FR

Martin Selpenbusch

Institut für mechanische
Verfahrenstechnik
und Mechanik, Karlsruhe, DE

Lang Tran

Institute of Occupational Medicine,
Edinburgh, UK

Su-Jun g (Candace) Tsai

U. Massachussets Lowell North, Lowell, US

Dominique Vinck

PACTE Politique-Organisations université
Pierre Mendès-France, Grenoble, FR

Site de la conférence

www.inrs-nano2011.fr

Contact : nano2011@inrs.fr

*Organisée par l'Institut national de la recherche
et de la sécurité (INRS) avec le soutien du Partenariat
pour la recherche européenne en santé et sécurité au
travail (PEROSH)*



Conférence INRS 2011

sur la recherche en santé au travail

Risques liés aux nanoparticules et aux nanomatériaux

5 - 6 - 7 avril 2011

Palais des Congrès,
54000 Nancy - France

Appel à communications
Date limite de réception des résumés
15 novembre 2010
www.inrs.fr
Contact : nano2011@inrs.fr



C'ÉTAIT UNE NANO-CONFÉRENCE

