

# NANOMATERIAUX

## Etat des connaissances Risques & Prévention

ESEN – Séminaire des ISST  
12 mai 2016



[www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)



ED 6115

ED 6181



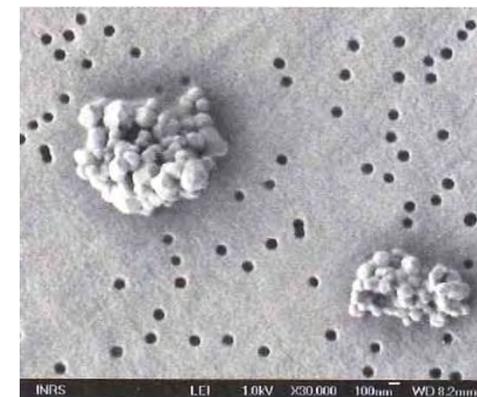
# SOMMAIRE

1. Introduction – repérage des nanomatériaux
2. Définitions et terminologie
3. Dangers pour la santé et la sécurité
  - 3.1. *Effets sur la santé*
  - 3.2. *Explosion et incendie*
4. Caractérisation de l'exposition professionnelle
5. Contexte réglementaire



---

[n] : références bibliographiques



Dioxyde de titane



Nanotubes de carbone

## 6. Mesures de prévention

*6.1. Les principes généraux de la démarche de prévention*

*6.2. L'aménagement des laboratoires*

*6.3. La ventilation des laboratoires*

*6.3.1. La mise en dépression des laboratoires*

*6.3.2. Les enceintes ventilées*

*6.3.3. Les dispositifs de captage à la source*

*6.4. La filtration de l'atmosphère des laboratoires*

*6.5. Le nettoyage des équipements et des locaux*

*6.6. Le stockage des produits*

*6.7. Le traitement des déchets*

*6.8. La maintenance des équipements et des locaux et le démantèlement des installations*

*6.9. La gestion des accidents et des incidents*

*6.10. Les équipements de protection individuelle*

*6.10.1. La protection respiratoire*

*6.10.2. La protection cutanée*

*6.11. L'information et la formation*

**Retour d'expériences**

**Bibliographie**



# 1. INTRODUCTION

---

# Sources de nanomatériaux

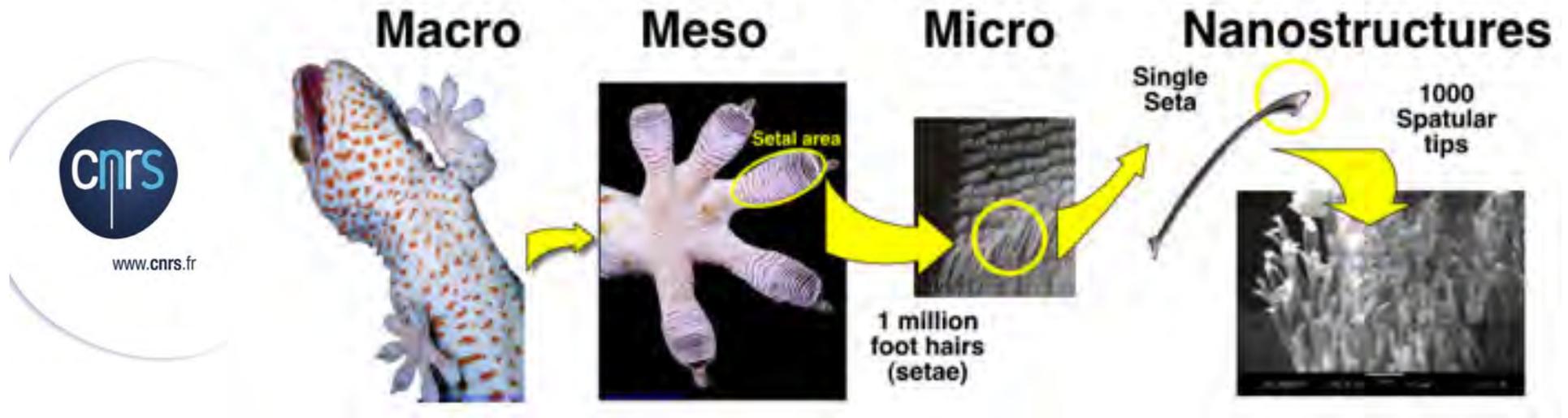


- Origine naturelle : embruns, activité volcanique, feux de forêts
- Activités humaines : vapeurs de cuisine, fumée des barbecues, poussières végétales
- Dérivés des procédés industriels : poussières et fumées qui peuvent être d'origine
  - thermique : fonderie, soudure, oxycoupage, traitement de surface (métallisation, application de résines. ..)
  - mécanique : fraisage, ponçage, perçage, polissage...
  - combustion : moteurs (diesel, essence ou gaz), fumage alimentaire, chauffage au gaz, incinération
  - épandage de produits phytosanitaires, gaz de fumigation...
- Production et utilisation intentionnelle à des fins industrielles et de recherches

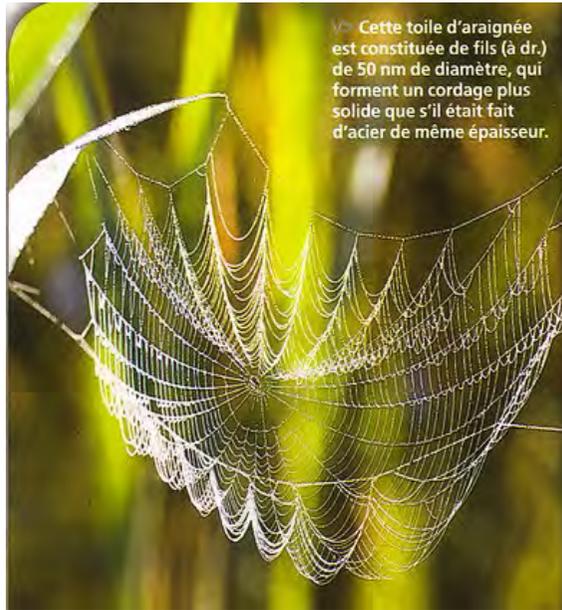


# Nanostructures dans la nature

## Gecko adhesive system



# Nanostructures dans la nature



La surface d'une feuille de lotus est recouverte de minuscules aspérités de taille micro - et nanométrique.



L'intérieur est revêtu de nanocristaux très fragiles et extrêmement cassants. Une fois brisés ou détachés de la surface, ces cristaux adhèrent aux pattes des arthropodes, et les empêchent de bien se fixer sur la feuille.

# Aide au repérage des nanomatériaux

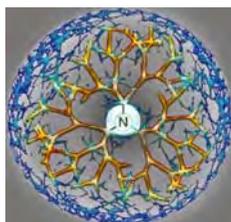


APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Béton	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
	Argile	Résistance au feu
	Nanotube de carbone	Légèreté, résistance mécanique, durabilité et conductivité électrique
	Silice amorphe	Fluidifiant, résistance mécanique, protection thermique
Carrelage	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
Ciment	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
	Noir de carbone	Pigment
	Silice amorphe	Fluidifiant et résistance mécanique
Matériaux d'isolation	Silice amorphe	Protection thermique
Membrane bitumineuse	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
Revêtement routier	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution

APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Revêtement pour l'acier, le béton, la pierre, le verre, etc.	Argent	Antibactérien
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, résistance aux UV et IR
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux rayures
	Oxyde de zinc	Autonettoyant, résistance aux UV et IR
	Silice amorphe	Résistance aux rayures, résistance à l'eau, antiadhésif
Revêtement pour le bois	Argile	Anti-décolorant
	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV
	Oxyde de zinc	
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux rayures
	Polymère carbone fluoré	Résistance à l'eau
Revêtement pour outils	Silice amorphe	Résistance aux rayures
	Carbure de tungstène	Résistance à l'usure et à la température
Verre	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution et déperlant
	Oxyde de tungstène	Résistance aux IR
	Oxyde de zinc	Autonettoyant
	Polymère carboné fluoré	Résistance à l'eau et aux solvants
	Silice amorphe	Légèreté et résistance au feu



ED 6174



ED 6174

APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Coloration et décoloration capillaires	Dioxyde de titane Oxyde de fer Oxyde de chrome	Pigment
	Silice amorphe	Abrasif, opacité, épaississant
Crème de soin (et autres produits de soin : démaquillant, nettoyant, exfoliant, etc.)	Argent	Antibactérien
	Argile	Matité
	Dioxyde de titane	Absorbeur UV, matité
	Fullerène	Antioxydant
	Or	
	Oxyde de zinc	Cicatrisant, absorbeur UV
	Dendrimère (polymère) Nanocapsule (polymère)	Encapsulation
Silice amorphe	Épaississant	
Crème solaire	Dioxyde de titane Oxyde de cérium Oxyde de zinc	Absorbeur UV



ED 6174

APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Dentifrice	Argent	Antibactérien
	Carbonate de calcium	Abrusif, épaississant
	Silice amorphe	
	Dioxyde de titane	Pigment
	Hydroxyde d'aluminium	Abrusif
	Phosphate de calcium	
	Peroxyde de calcium	Blancheur
Déodorant	Argent	Antibactérien
	Dioxyde de titane	
Équipements de soin : brosse à cheveux, rasoir électrique, brosse à dents, sèche-cheveux, fer à friser, etc.	Argent	Antibactérien
	Dioxyde de titane	
Maquillage : mascara, vernis à ongles, fard à paupières, fond de teint, rouge à lèvres, etc.	Argile	Matité
	Silice amorphe	Opacité
	Carbonate de calcium	
	Dioxyde de titane	Pigment, matité, opacité
	Noir de carbone	Pigment
	Oxyde d'aluminium	
	Oxyde de chrome	
	Oxyde de fer	
	Oxyde de zinc	Absorbeur UV
Shampooing savon	Argent	Antibactérien
	Cuivre	

# Cosmétiques

Le [Règlement Cosmétiques](#) de 2009 exige qu'à partir de juillet 2013 les fabricants indiquent la présence des nanomatériaux dans la liste des ingrédients des cosmétiques. La règle d'étiquetage prévoit que soit indiqué le terme nano entre crochets après le nom de ingrédient concerné.

Par exemple dans le cas du TiO<sub>2</sub> : Titanium dioxyde [nano].

La définition de nanomatériau retenue par le Règlement Cosmétiques (différente de celle préconisée par la Commission européenne en octobre 2011) est la suivante : *"un matériau insoluble ou bio-persistant, fabriqué intentionnellement et se caractérisant par une ou plusieurs dimensions externes, ou une structure interne, sur une échelle de 1 à 100 nm"*.





ED 6174

	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Énergie	Éclairage	Quantum dot (sélénure de cadmium, sulfure de cadmium, etc.)	Rendement et rendu de l'éclairage
		Oxyde d'aluminium	Rendu de l'éclairage
	Cellule photovoltaïque	Silicium, indium, gallium, sélénium, etc.	Rendement
		Dioxyde de titane	
		Oxyde de zinc Nanotube de carbone	
	Batterie	Terre rare (lanthane, cérium, néodyme, etc.)	Substitution des métaux lourds
		Nanotube de carbone Noir de carbone	Conductivité
		Titanate de lithium	Performance, durée de vie
Pale d'éolienne	Nanotube de carbone	Résistance mécanique	
Pile à combustible	Nanotube de carbone	Rendement	



ED 6174

	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Environnement	Agent de dépollution des eaux et sols	Argent	Dégradation/adsorption de contaminants (arsenic, pesticides, hydrocarbures aromatiques polynucéaires, etc.)
		Dioxyde de titane Oxyde de fer Palladium Polyuréthane amphiphile	
	Membrane organique (filtration des liquides et des gaz)	Or	Détection du mercure
		Argent	Antibactérien
		Dioxyde de titane Nanofilament de polymères (polyamide, polyacrylonitrile, etc.)	Dépollution Efficacité
	Membrane céramique (filtration des liquides et des gaz)	Oxyde d'aluminium Dioxyde de zirconium Oxyde de fer Dioxyde de titane	Limitation de l'utilisation de produits toxiques lors de la fabrication
Additif pour diesel	Dioxyde de cérium Oxyde de fer	Catalyseur de combustion de matières particulaires (dépollution automobile)	
Pot catalytique	Dioxyde de cérium Or	Catalyseur d'oxydation du monoxyde de carbone (dépollution automobile)	



APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Peinture (intérieure et extérieure)	Argent	Antibactérien
	Argile	Charge
	Carbonate de calcium	Effets irisés, opacité, charge
	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV, anti-graffitis
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution, résistance aux UV, résistance aux rayures
	Hydroxyde d'aluminium	Saturation
	Nanotube de carbone	Résistance mécanique, résistance à l'abrasion, conductivité électrique, résistance aux UV
	Nickel	Résistance à l'abrasion
	Noir de carbone	Pigment, pouvoir couvrant
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux rayures et à l'abrasion, résistance aux UV
	Oxyde de fer	Pigment
	Oxyde de zinc	Matité, autonettoyant, dépollution, résistance aux UV
	Polymère carboné fluoré	Hydrofuge, résistance aux solvants
	Silice amorphe	Matité, durabilité, résistance mécanique, résistance aux rayures et à l'abrasion viscoélasticité
Sulfate de baryum	Anticorrosion	

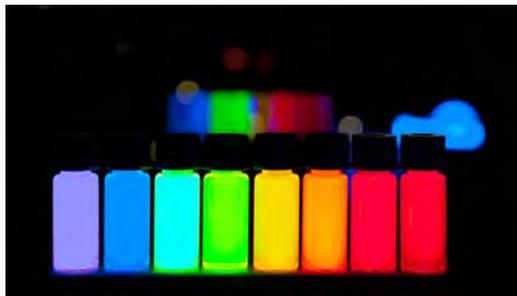


ED 6174



ED 6174

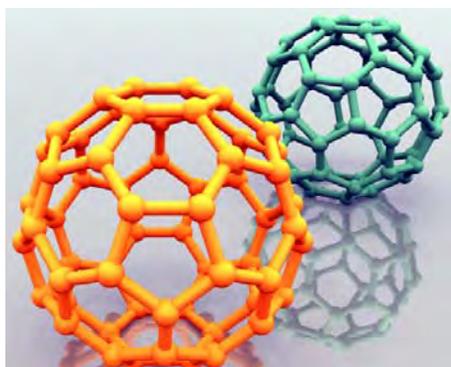
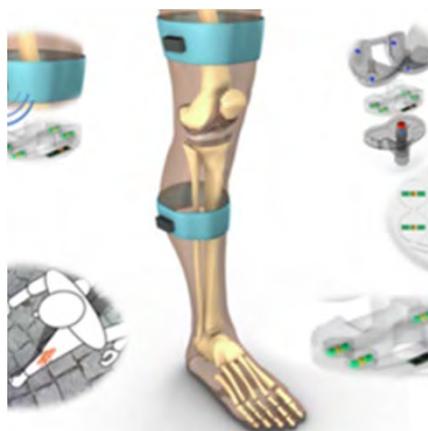
APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Vernis	Dioxyde de titane Oxyde de zinc	Autonettoyant, dépollution, résistance aux UV
	Hydroxyde d'aluminium	Saturation
	Noir de carbone	Pigment, pouvoir couvrant
	Silice amorphe	Matité, durabilité, résistance mécanique, viscoélasticité
Encre	Argent	Conductivité microélectronique
	Argile	Charge
	Dioxyde de titane	Pigment, stabilité du jet
	Noir de carbone Oxyde d'aluminium Oxyde de fer	Pigment
	Or	Conductivité microélectronique
	Silice amorphe	Charge, viscoélasticité, anti-agglomérant
	Carbonate de calcium	Charge
Adhésif et mastic	Noir de carbone	Pigment
	Silice amorphe	Résistance aux rayures et à l'abrasion, charge, viscoélasticité
	Argent	Antibactérien
Lasure	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution, résistance aux UV, résistance aux rayures
Laque	Noir de carbone	Pigment



APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Détection, marquage et imagerie biologique	Or	Optique, biocompatibilité, biodisponibilité
	Oxyde de fer	Magnétisme
	Nanotube de carbone	Luminescence
	Oxyde de terre rare (oxyde d'yttrium, oxyde de gadolinium, etc.)	
Dispositifs médicaux : fil de suture, seringue, cathéter, bande de contention, etc.	Quantum dot (séléniure de cadmium, sulfure de cadmium, etc.)	
	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	
Excipient	Diamant	Dureté
	Dioxyde de titane	Pigment
	Silice amorphe	



ED 6174



APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Implant médical et prothèse	Cellulose	Résistance mécanique
	Hydroxyapatite	Adhésion
	Nanotube de carbone	Résistance mécanique
	Oxyde de zirconium	
Pansement, gel et crème	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	
Radiothérapie et thermothérapie	Or	Transport d'agents thérapeutiques
	Oxyde de fer	
	Oxyde de terre rare (oxyde de gadolinium, oxyde d'hafnium, etc.)	
Vectorisation de médicaments, de protéines, de gènes, d'agents de contraste, etc.	Dendrimère (polymère)	Encapsulation et transport dans l'organisme (délivrance vers un organe, un tissu ou une cellule)
	Fullerène	
	Nanocapsule (polymère)	
	Nanosphère (polymère)	
	Nanotube de carbone	



APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Caoutchouc : pneumatique, semelle de chaussure, câble, joint, etc.	Carbonate de calcium	Charge
	Silice amorphe	
	Hydroxyde d'aluminium	Retardateur de flamme, épaississant, anti-adhérent, résistance aux rayures
	Nanotube de carbone	Résistance à l'abrasion et à la déchirure, conductivité électrique, résistance aux UV
	Noir de carbone	Pigment, résistance à l'usure, résistance aux UV, conductivité électrique
	Fullerène	
	Nanofibre de carbone	Résistance mécanique
Plastique biodégradable	Oxyde d'aluminium	
	Oxyde de zinc	Résistance à l'abrasion, dureté, résistance aux UV, dépolluant
	Cellulose	Résistance mécanique, transparence, imperméabilité aux gaz



ED 6174



ED 6174

APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Plastique pour l'emballage, l'automobile, la tuyauterie, les équipements électroménagers, les articles de sport, les jouets, l'hygiène, etc.	Argent	Antibactérien
	Argile	Résistance au feu, charge
	Carbonate de calcium	Charge
	Fulléène	Résistance mécanique
	Oxyde d'aluminium	
	Hydroxyde d'aluminium	Retardateur de flamme, épaisseur, anti-adhérent, résistance aux rayures
	Nanofibre de carbone	Résistance mécanique, légèreté
	Nanotube de carbone	Résistance à l'abrasion et à la déchirure, conductivité électrique (antistatique), résistance aux UV, légèreté
	Nitride de titane	Protection thermique
	Noir de carbone	Pigment, résistance à l'usure, résistance aux UV, conductivité électrique
Silice amorphe	Charge, viscosité	
Plastique pour l'emballage alimentaire	Aluminium	Conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)
	Oxyde d'aluminium	
	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	
	Argile	Résistance mécanique et conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)
	Dioxyde de titane	Absorbant UV



	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Textile	Media filtrant (filtration de l'eau et de l'air)	Nanofilament de polymères (polyamide, polyester, polyacrylonitrile, etc.)	Efficacité
	Habillement	Argent	Antibactérien, pigment, teignabilité
		Cuivre	Antibactérien
		Cyclodextrine, ethercouronne	Anti-odeur
		Argile	Teignabilité, résistance mécanique, retardateur de flamme
		Oxyde de zirconium	Réflexion des IR
		Dioxyde de titane	Résistance aux UV, autonettoyant, antibactérien, retardateur de flamme
	Nanofilament de polymères (polyamide, polyester, etc.)	Imper-respirant	



ED 6174

	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Textile	Habillage	Nanotube de carbone	Retardateur de flamme, résistance mécanique, conductivités thermique et électrique
		Noir de carbone	Conductivités thermique et électrique
		Or	Teignabilité
		Oxyde d'aluminium	Résistance aux UV, réflexion des IR, autonettoyant, résistance à l'abrasion
		Oxyde de terre rare (oxyde d'yttrium, oxyde de gadolinium, etc.) Quantum dot (séléniure de cadmium, sulfure de cadmium, etc.)	Traçabilité, anti-contrefaçon
		Oxyde de zinc	Résistance aux UV, autonettoyant
		Silice amorphe	Retardateur de flamme, hydrophobie, anti-tache, antiadhésif



ED 6174



ED 6174

	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Papier et carton	Papier à usage graphique : papier journal, papier d'impression (écriture)	Argent	Antibactérien
		Argile	Opacité, brillance, blancheur, imprimabilité, lissage, charge
		Carbonate de calcium	Blancheur, brillance, opacité, matité, lissage
		Cellulose	Résistance à la traction, à la déchirure et au pliage, propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité
	Papier pour emballage et conditionnement (dont emballage alimentaire et pharmaceutique) : papier pour ondulé, carton plat, etc.	Dioxyde de titane	Blancheur, brillance, opacité, lissage, résistance aux UV
		Noir de carbone	Pigment
		Oxyde d'aluminium	Résistance à l'abrasion et aux rayures
		Latex de chlorure de polyvinylidène	Propriétés barrières aux gaz, à l'humidité et aux graisses
		Silice amorphe	Blancheur, imprimabilité, résistance mécanique, opacité, absorption de l'encre
Papier électronique	Nanotube de carbone	Conductivité	



	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Dérivée alimentaire : alimentations humaine et animale	Boissons : vin, bière, jus de fruit, etc.	Silice amorphe <sup>1</sup>	Agent de clarification
	Confiserie, pâtisserie, charcuterie, etc.	Dioxyde de titane <sup>2</sup>	Colorant
		Oxyde de fer <sup>3</sup>	
		Carbonate de calcium <sup>4</sup>	Colorant, anti-agglomérant
	Glace, yaourt, sauce, etc.	Silice amorphe	Onctuosité, viscosité
	Sel, sucre, épice, poudre chocolatée	Silice amorphe	Anti-agglomérant, anti-mottant
	Vitamine, nutriment, complément alimentaire, etc.	Nanocapsule (polymère)	Encapsulation et transport dans l'organisme
	Complément alimentaire	Platine, zinc, titane, argent, cuivre, or, iridium, palladium etc.	Biodisponibilité, absorption
Aliment pour animaux	Argile	Absorbeur d'humidité et de toxines, charge	
	Silice amorphe	Anti-agglomérant, anti-mottant	

<sup>1</sup> Additif alimentaire référence E 551.

<sup>2</sup> Additif alimentaire référence E 171.

<sup>3</sup> Additif alimentaire référence E 172.

<sup>4</sup> Additif alimentaire référence E 170.



ED 6174

	APPLICATIONS	NANOMATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS/FONCTIONNALITÉS
Équipement, emballage et ustensile	Conditionnement et emballage plastique (dont film)	Aluminium	Conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)
		Oxyde d'aluminium	
		Argent	Antibactérien
		Oxyde de zinc	
	Argile	Résistance mécanique, conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)	
Dioxyde de titane	Absorbeur UV		
Desséchant	Silice amorphe	Absorbeur d'humidité	
Équipements électroménagers : réfrigérateur, congélateur, etc. Spray de nettoyage et d'entretien : plan de travail, table, etc. Ustensiles de cuisine Vaisselle	Argent	Antibactérien	



ED 6174

# Alimentation

C'est la définition du nouveau [Règlement Novel Foods](#) qui désormais fait office de référence pour l'étiquetage des "nanomatériaux manufacturés" voté en octobre 2015 au Parlement européen.

**La mention [nano]** n'indique pas sous quelle forme ni en quelle quantité le nanomatériau indiqué est présent dans le produit concerné.

Concernant les [additifs alimentaires](#), un [Règlement européen de 2008](#) prévoit que l'Agence européenne de sécurité des aliments ([EFSA](#)) opère une nouvelle évaluation des additifs préalablement autorisés mais dont la taille des particules a été modifiée par l'utilisation des nanotechnologies.

L'EFSA a adopté de nouvelles lignes directrices pour l'évaluation des additifs alimentaires en 2012 qui prévoient des informations spécifiques pour la caractérisation des nanomatériaux. Le programme de réévaluation des additifs déjà autorisés avant 2009 actuellement en cours prend maintenant ce critère en compte.

Dans les matériaux et objets en plastique en contact avec des denrées alimentaires, [le Règlement PIM](#) prévoit que les substances sous forme nanométrique doivent faire l'objet d'une procédure d'autorisation spécifique par l'[EFSA](#)<sup>15</sup>.

<http://veillenanos.fr>

# Alimentation

- **additif anti-agglomérant** : des nanoparticules de dioxyde de silice ( $\text{SiO}_2$  : E550/551) utilisées pour fixer l'humidité et empêcher l'agglomération des grains de sel ou de sucre, des épices, du cacao et des autres denrées en poudre.
- des nanoparticules de **dioxyde de titane** (**additif alimentaire E171**) servent à **l'allongement de la durée de conservation** :
  - intégration de nanocapsules qui libèrent progressivement des substances conservatrices dans les aliments ; ajout d'un **caroténoïde** (**lycopène** synthétique nanométrique, antioxydant) aux limonades, jus de fruits, fromages et margarine par exemple
  - ajout de nanoparticules de **dioxyde de titane** par exemple ( $\text{TiO}_2$ , E171), que l'on trouve par exemple pour les chewing-gums, bonbons, des barres chocolatées ou crèmes à café
  - ajout de nanoparticules de **platine** pour décomposer l'éthylène et ralentir le mûrissement des fruits et légumes
  - ajout d'un revêtement de **nanosilver** sur des fruits coupés pour allonger leur durée de conservation



<http://veillenanos.fr>

# Moteurs diesel



La nature des carburants usuels pour moteurs Diesel : des hydrocarbures relativement lourds, avec un ratio carbone/hydrogène élevé, une fraction aromatique importante et un taux d'aromatiques polycycliques (HAP) non négligeable, fait que parmi ces imbrûlés, il y a des suies, des dépôts de coke mêlé à des HAP, qui forment des plaquettes de type graphitique, puis des sphérules carbonées, sur lesquelles viennent s'adsorber d'autres polluants (oxydes de soufre, hydrocarbures). La taille moyenne de ces particules serait de 100 nm en nombre, de 250 nm en volume. Non seulement on a affaire à des particules fines, mais elles comportent une grande part de nanoparticules.

La composition et la granulométrie des particules émises par les moteurs Diesel en font leur principal problème sanitaire et environnemental : le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC/IARC) avait dans un premier temps (1998) classé leurs gaz d'échappement « cancérogènes probables », et peut-être reprotoxiques. Puis, le 12 juin 2012, les experts du CIRC, après une réunion d'une semaine tenue en son siège de Lyon, ont décidé de les reclasser comme cancérogène pour l'Homme (Cf. Groupe 1).

# Moteurs diesel

## D'autres imbrûlés cancérigènes

Sont également présents dans les gaz d'échappement :

- ⊙ Les [benzopyrènes](#) et les [benzoanthracènes](#), [hydrocarbures aromatiques polycycliques](#) reconnus cancérigènes.
- ⊙ Le [formaldéhyde](#), cancérigène de catégorie 1 (CIRC), à une concentration similaire à celle des moteurs à essence (100 à 300 ppm).

## Les oxydes d'azote

- ⊙ Les [oxydes d'azote - NOx](#) sont des précurseurs de la pollution à l'[ozone](#), surtout par temps ensoleillé et notamment lors de [canicules](#). Les [normes européennes d'émission](#) ont pris en compte de manière limitée la réduction des [oxydes d'azote - NOx](#) émis par les moteurs Diesel. Actuellement la limite est de 2 g/kWh pour les camions ([Euro V](#)) et 0,18 g/km pour les voitures particulières ([Euro 5](#)).

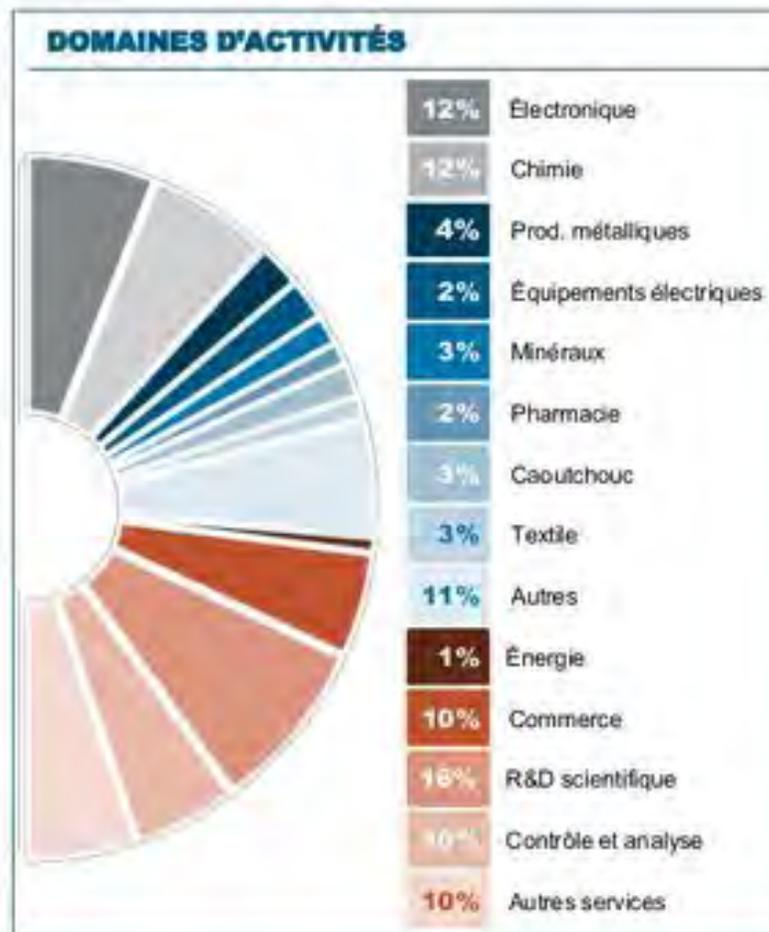


# PROFIL DES ACTEURS DES NANOS EN FRANCE

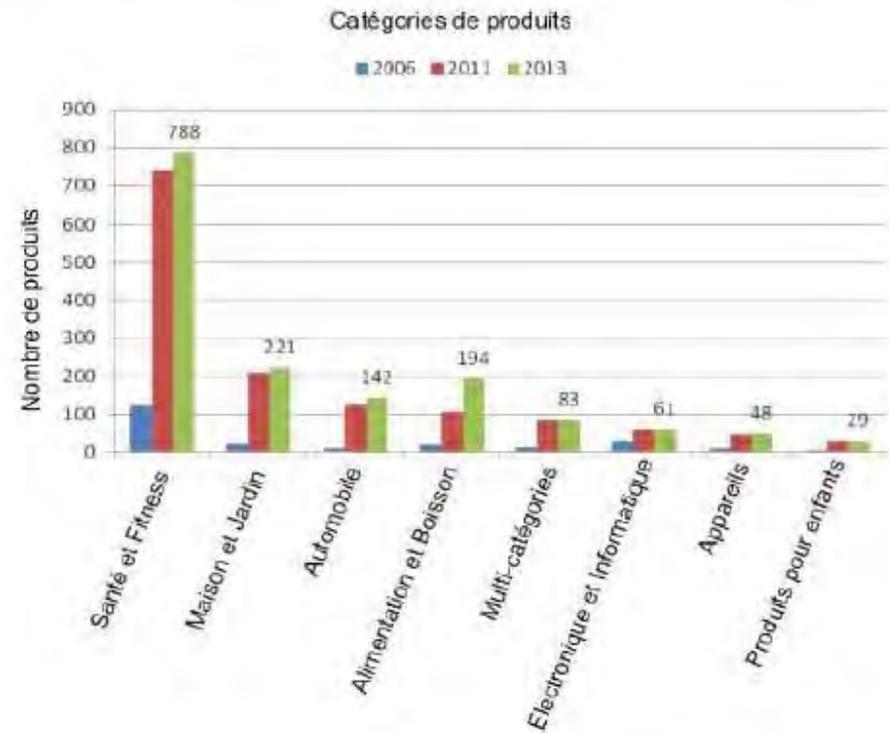
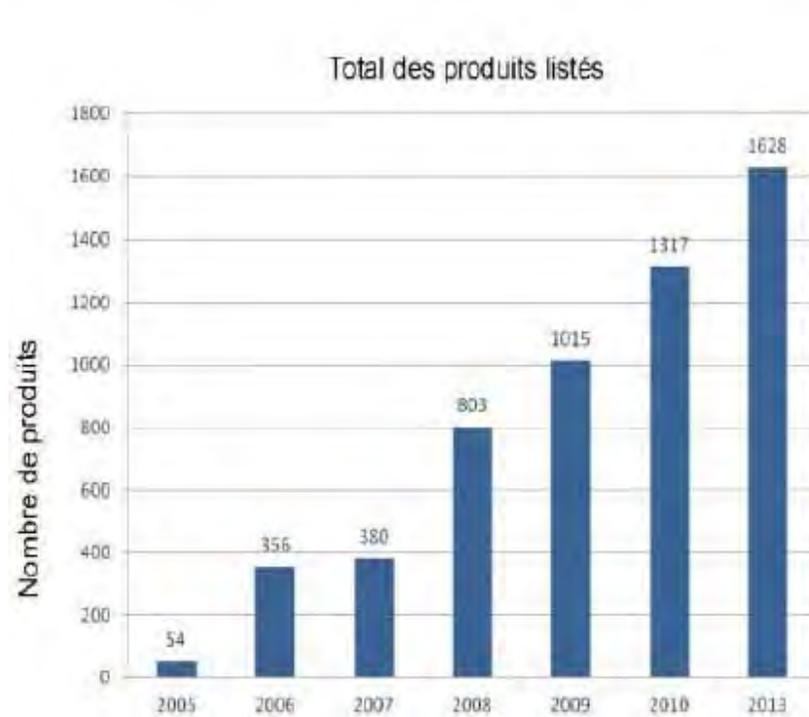


- Environ 300 entreprises en France, dont 60% de PME
- Localisation concentrée sur les pôles de compétitivité (région parisienne, Lyon, Grenoble)
- Rôle important des partenariats public / privé

Source : DGCIS / D & Consultants 2011

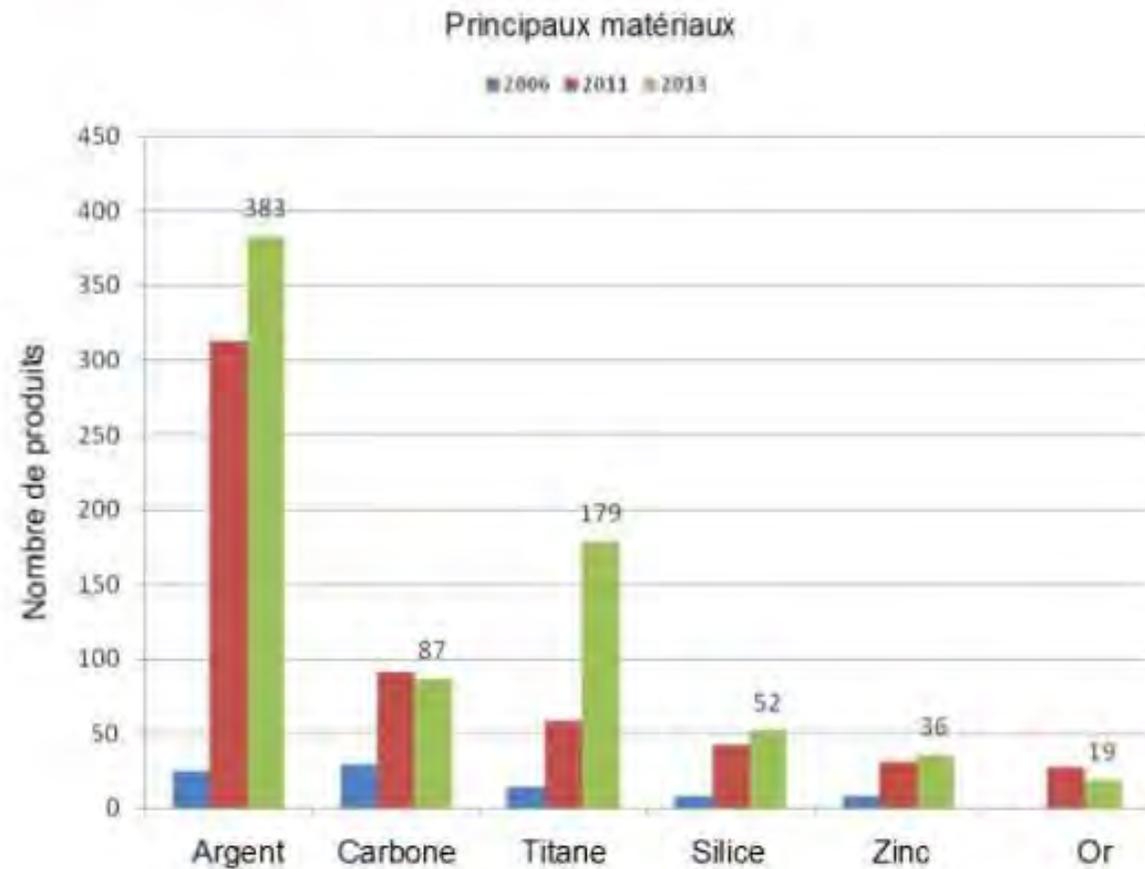


# Nombre de produits répertoriés contenant des « nanos »...



Origine : <http://veillenanos.fr>

# Les principaux matériaux utilisés



Origine : <http://veillenanos.fr>

# Éléments de repérage

- Etiquetage (alimentaire, cosmétique, biocides) ?
- Fiche technique
- FDS (produit  $> 0,1 \mu\text{m}$ ) : se référer plus spécifiquement à la rubrique 9 pour les paramètres physico-chimiques et à la rubrique 2 pour les dangers,
- Contacter les fabricants / fournisseurs
- Réaliser une revue de la littérature technique et scientifique.



# Éléments de repérage

Tout comme la taille, la surface spécifique peut également être un bon indicateur. En effet, dès lors qu'un matériau présente une surface spécifique supérieure à  $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ , il convient de s'interroger sur le caractère nanométrique du matériau.



En dernier recours, si le caractère nanométrique n'a pu être confirmé ou infirmé, il convient de se rapprocher d'un laboratoire capable de caractériser le matériau à l'aide de diverses techniques telles que la microscopie électronique...



## 2. DEFINITIONS

---

Recommandation de la  
Commission Européenne  
portant sur la définition  
du terme « nanomatériau »



*Un nanomatériau est un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 et 100 nanomètres.*

*⇒ Modification du code de l'environnement :  
déclaration*



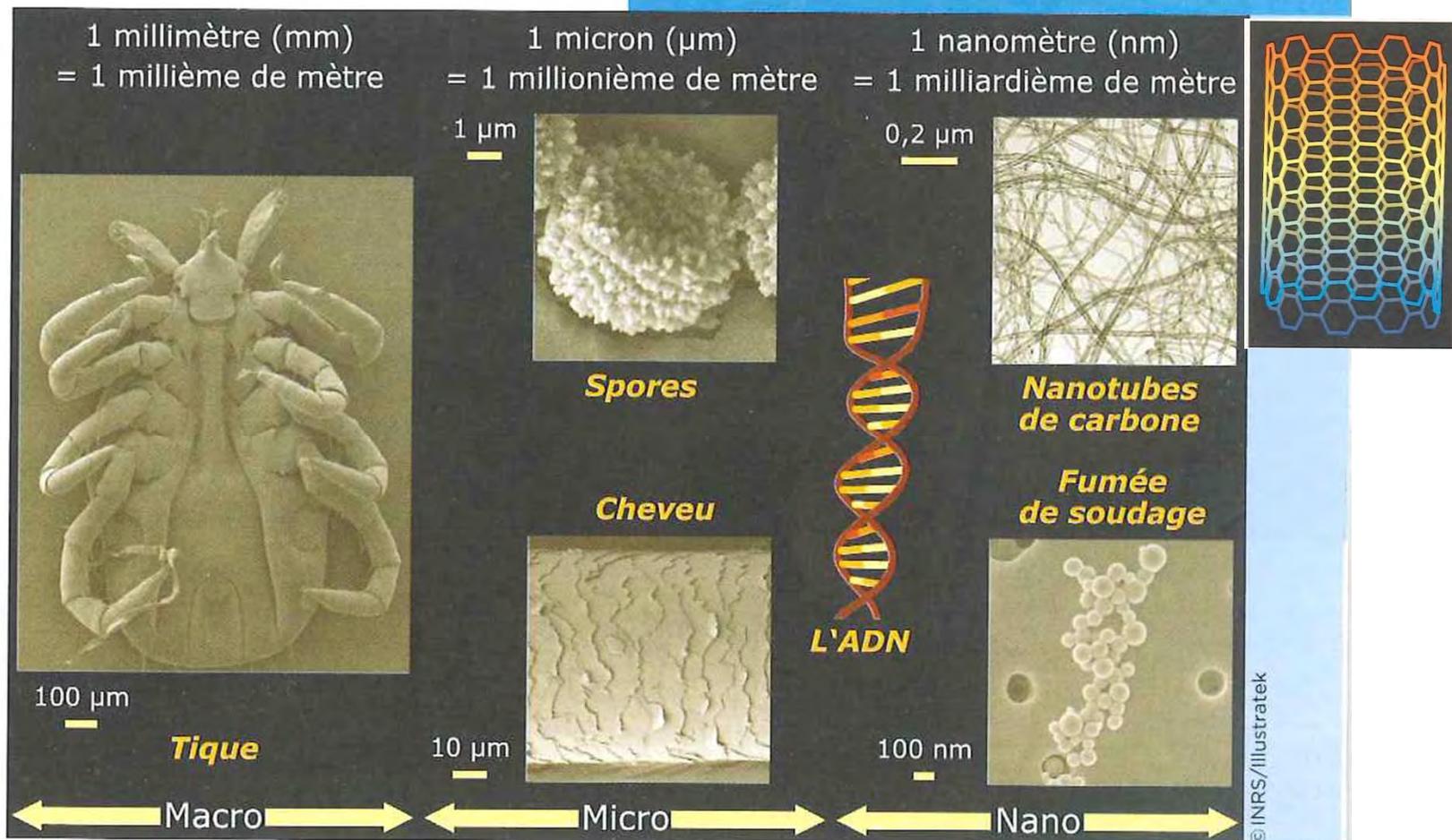
## 2. DEFINITIONS

---

### Normative (ISO)

Un nanomatériau est un matériau dont au moins une dimension est à l'échelle nanométrique c'est-à-dire comprise approximativement entre 1 nm et 100 nm ou qui possède une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique [2], [3], [4], [5].

On distingue les nanomatériaux générés de façon intentionnelle (manufacturés) des non intentionnelle.



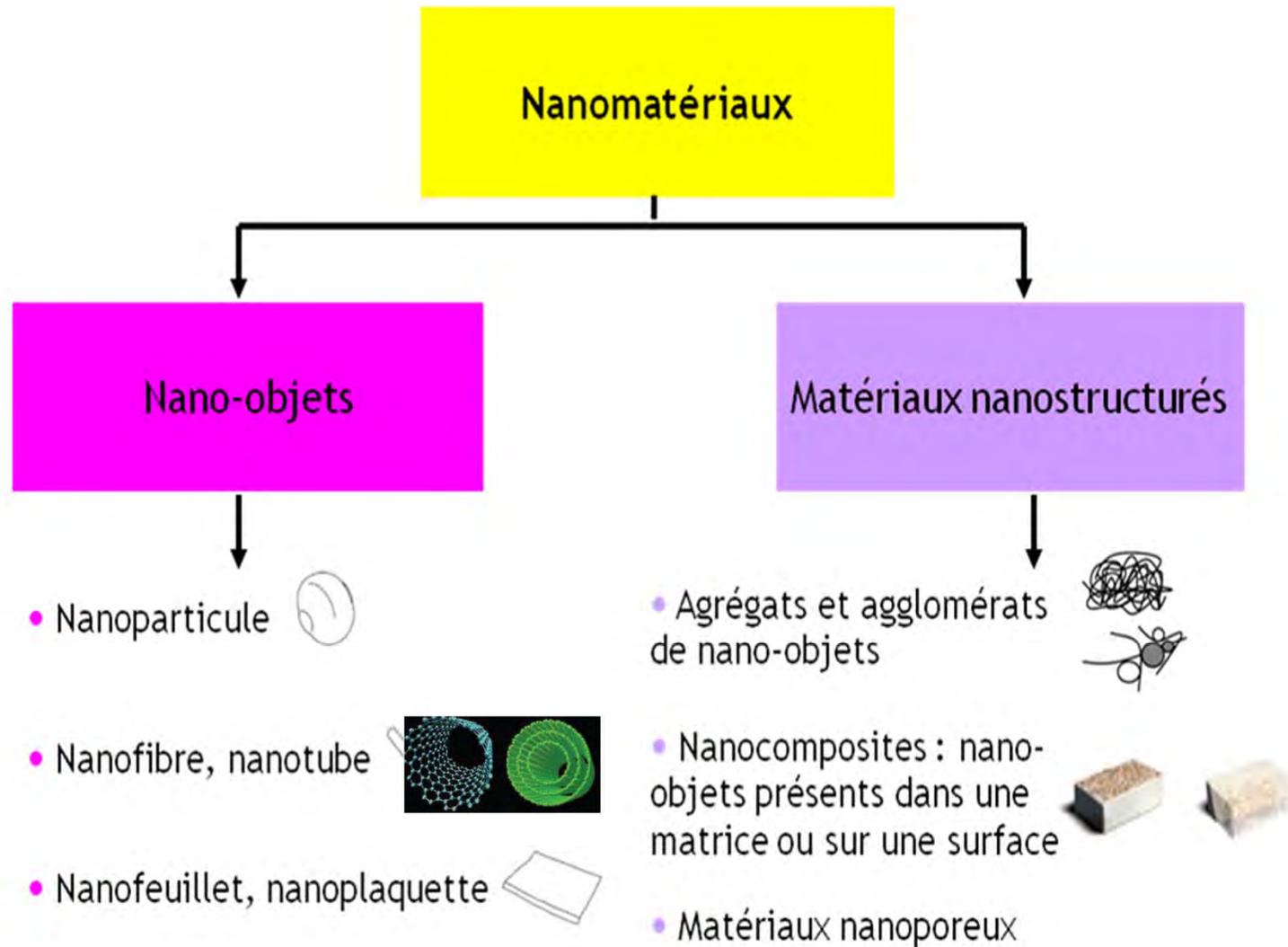
▲ L'échelle des dimensions: du visible à l'invisible

Pollen de 7 à 150  $\mu\text{m}$

ADN : double hélice 2 nm de diamètre

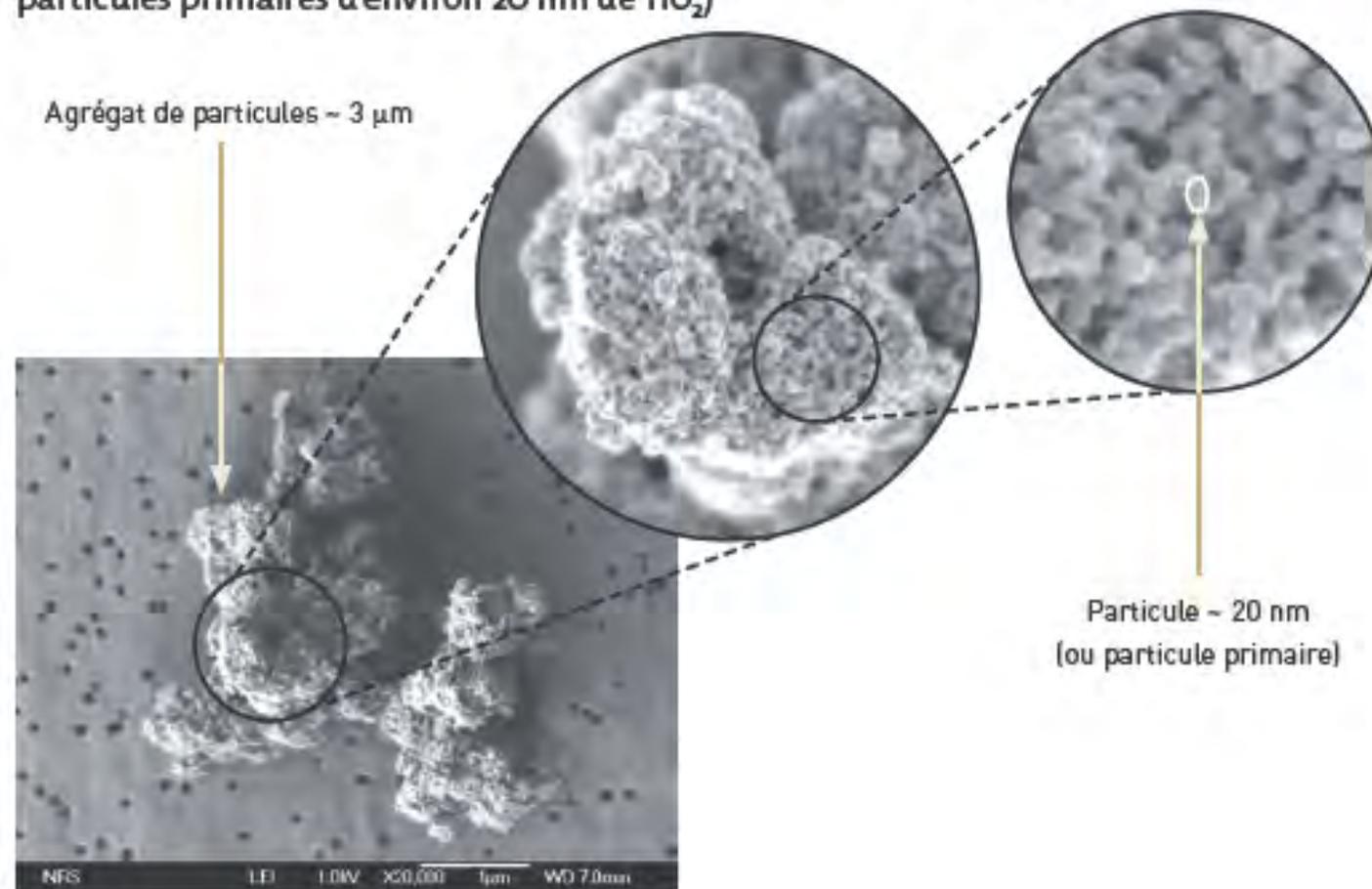
Un nanotube a un diamètre compris entre 1 et 10 nanomètres pour une longueur de plusieurs micromètres

# Classification des nano-objets et des nanomatériaux manufacturés



**Les nano-objets peuvent être utilisés en tant que tels sous forme de poudre, de suspension, de solution ou de gel.**

Illustration d'un agrégat de particules de taille nanométrique (cas d'un agrégat de particules primaires d'environ 20 nm de  $\text{TiO}_2$ )





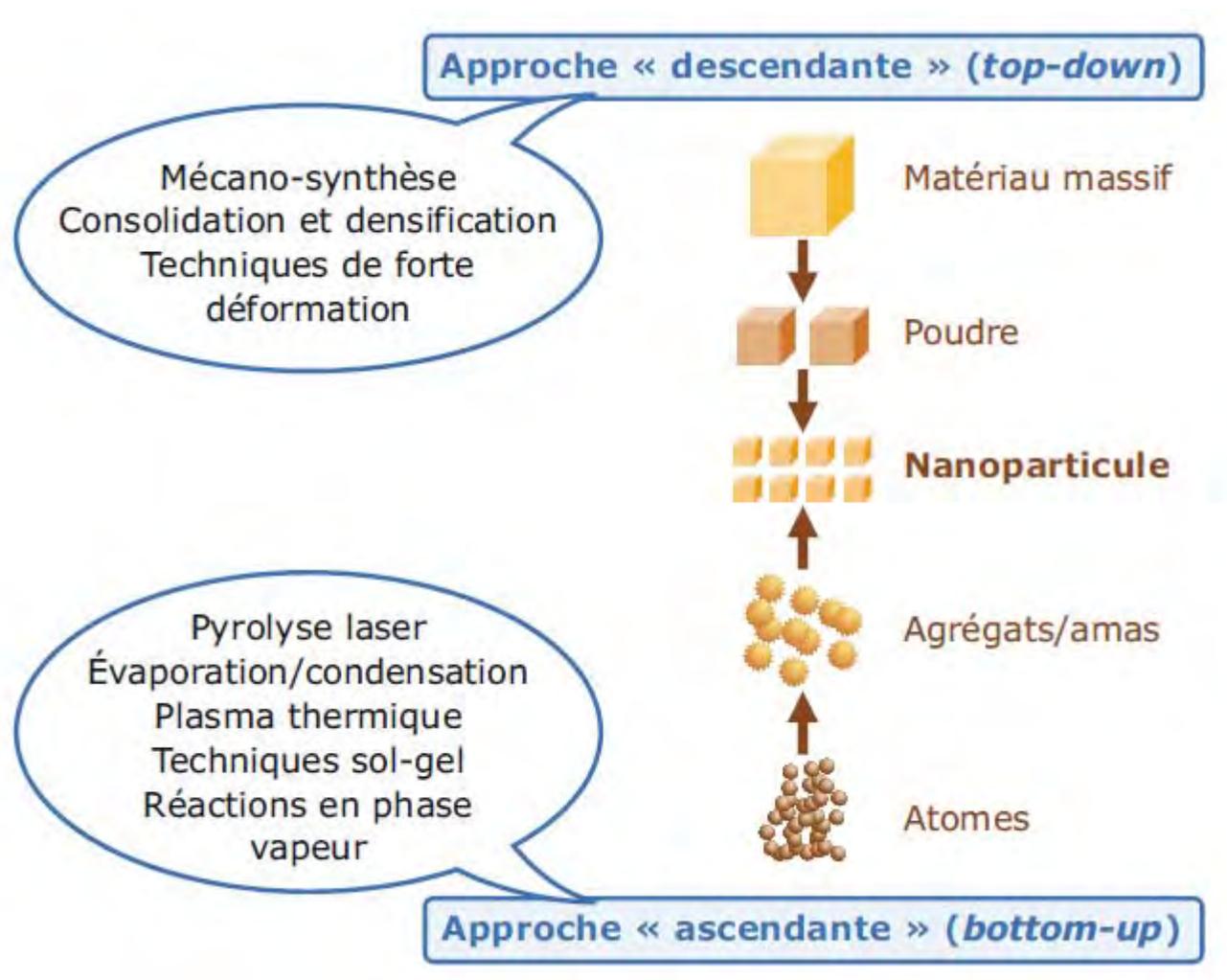
# LES PROCÉDES DE FABRICATION

---

Approches top-down et bottom-up



# Les 2 approches d'élaboration des nano-objets et des nanomatériaux manufacturés



Les deux approches tendent à converger en termes de gamme de tailles des objets. L'approche « bottom-up » semble néanmoins plus riche en termes de type de matière, de diversité d'architecture et de contrôle de l'état nanométrique alors que l'approche « top-down » permet d'obtenir des quantités de matière plus importantes mais le contrôle de l'état nanométrique s'avère plus délicat.

Les procédés actuels permettant la fabrication de nanomatériaux sont classés en trois grandes catégories :

**procédés par voie physique :**

- l'évaporation/condensation,
- l'ablation laser,
- la décharge électrique,
- les flammes de combustion,
- la pyrolyse laser,
- les micro-ondes,
- l'irradiation ionique ou électronique,
- la décomposition catalytique,
- les dépôts physiques en phase vapeur regroupés sous le terme de PVD (Physical Vapor Deposition), etc.

### procédés par voie chimique :

- les réactions en phase vapeur regroupées sous le terme de CVD (Chemical Vapor Deposition),
- les réactions en milieu liquide : co-précipitation chimique, hydrolyse, etc.,
- les réactions en milieu solide,
- les fluides supercritiques avec réaction chimique,
- les techniques sol-gel : sol-gel à base de silice, alkoxyde de métal, etc.

### procédés par voie mécanique :

- le broyage à haute énergie ou mécano-synthèse,
- La consolidation et la densification,
- les techniques de forte déformation : torsion, friction, laminage, etc.

L'approche « ascendante » fait appel à des procédés d'élaboration chimiques et physiques alors que l'approche « descendante » induit, principalement, l'utilisation de méthodes mécaniques.

# Génération non intentionnelle

## Procédés générant des nanomatériaux de façon non intentionnelle

Type de procédé	Exemples de procédés
Procédés thermiques	Fonderie et affinage des métaux (acier, aluminium, fer, etc.) Métallisation (galvanisation, etc.) Soudage et gougeage Coupage de métaux (laser, torche thermique, etc.) Traitement thermique de surface (laser, projection thermique, etc.) Application de résines, de cires, etc.
Procédés mécaniques	Usinage Ponçage Perçage Polissage
Combustions	Émissions de moteur diesel, essence ou gaz Centrale d'incinération, thermique, crémation Fumage de denrées alimentaires Chauffage au gaz





# 3. DANGERS POUR LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ

---

## 3.1. Effets sur la santé

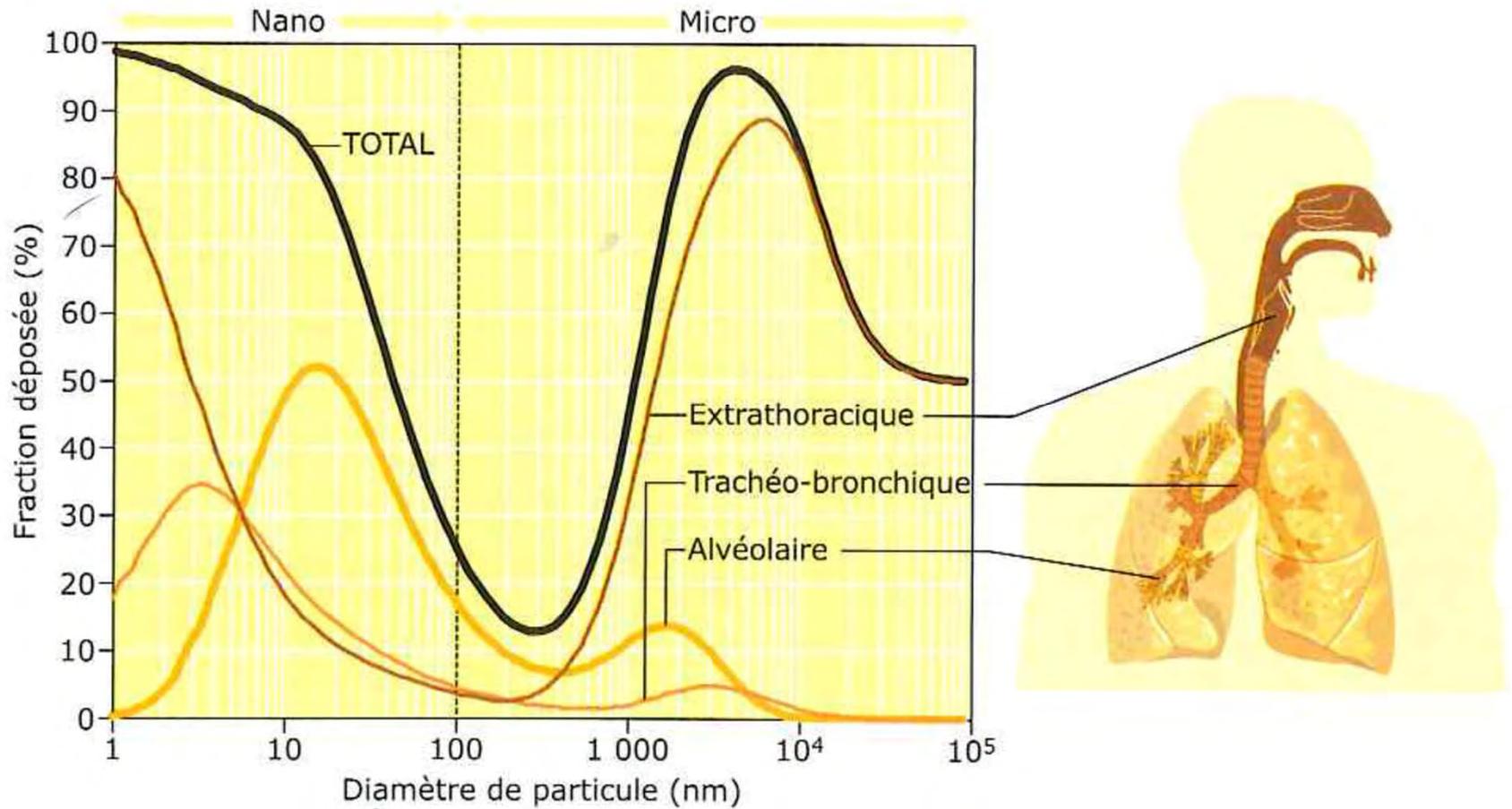


# Les effets toxicologiques

Les principaux facteurs qui déterminent les effets toxicologiques des nanomatériaux sur l'organisme sont [7], [8], [9], [10] :

- Les facteurs liés à l'exposition
  - Voies d'exposition
  - Durée d'exposition
  - Fréquence de l'exposition
- Les facteurs liés à l'organisme exposé
- Les facteurs liés aux nanomatériaux

# Le dépôt n'est généralement pas uniforme.



Dépôt total et régional chez l'homme  
en fonction du diamètre des particules

# Les facteurs liés à l'exposition

- Les nano-objets peuvent, également, se retrouver dans le système gastro-intestinal
- La pénétration transcutanée des nano-objets est une hypothèse encore à l'étude.

Les propriétés de surface et l'élasticité des nano-objets ainsi que le sébum, la sueur, les pores, les irritations locales et les flexions répétées de la peau sont également des facteurs qui pourraient favoriser leur pénétration percutanée.

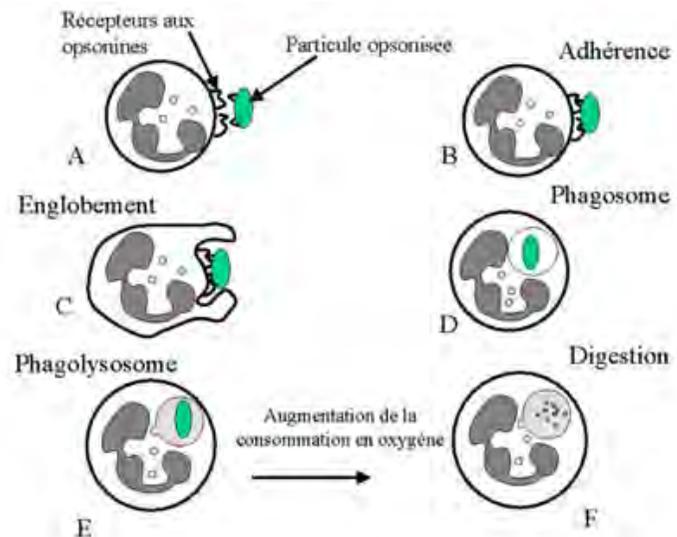
# Les facteurs liés à l'organisme exposé

Les nanomatériaux solubles qui se déposent dans l'arbre respiratoire sont dissous par les fluides biologiques.

Les nanomatériaux insolubles ou peu solubles qui se déposent dans les voies aériennes supérieures et dans l'arbre trachéo-bronchique sont principalement éliminés par transport muco-ciliaire en direction du nez et de la bouche.

# Les facteurs liés à l'organisme exposé

Ceux qui se déposent au niveau des alvéoles pulmonaires sont généralement éliminés par les macrophages via le mécanisme de la phagocytose. Or, plusieurs études indiquent que les nanomatériaux individuels ne sont pas phagocytés de façon efficace par les macrophages.



- une accumulation dans les alvéoles pulmonaires.
- inflammations, pathologies pulmonaires

# Les facteurs liés à l'organisme exposé

Les nanomatériaux inhalés ou ingérés sont de surcroît capables de franchir les barrières biologiques :

nasale, bronchique, alvéolaire, intestinale et placentaire

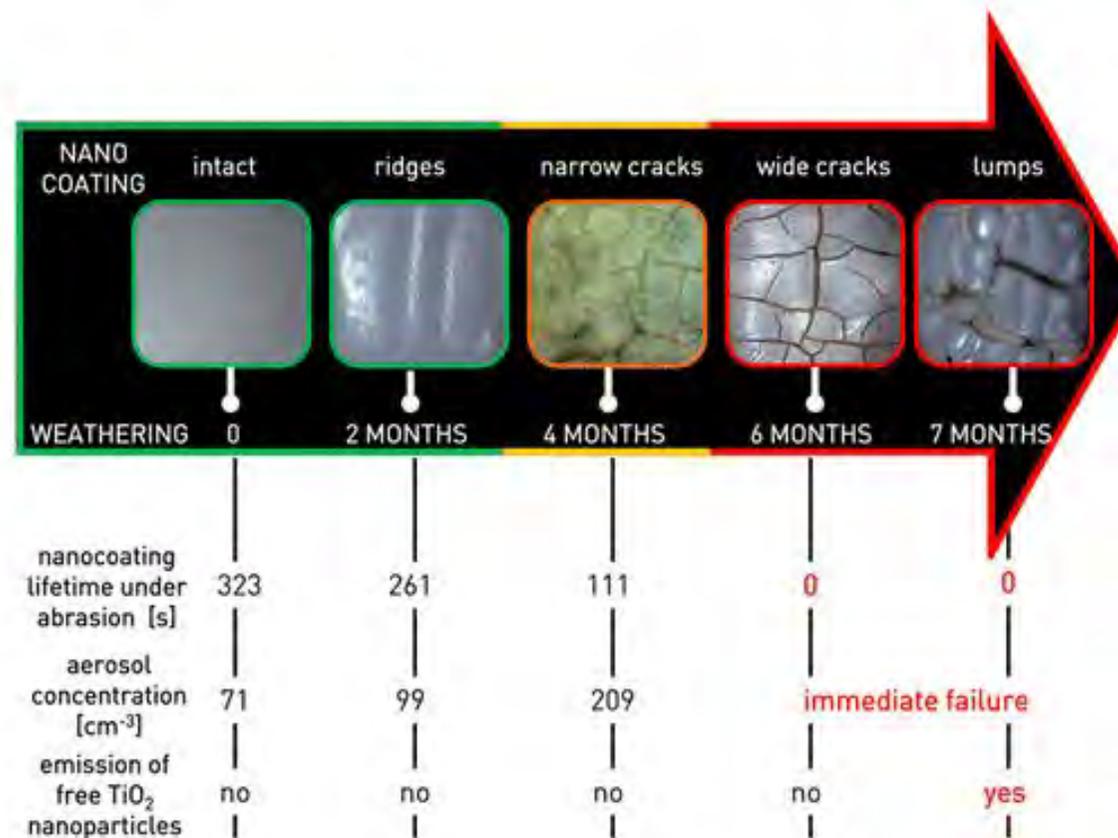
et de migrer vers différents sites de l'organisme (processus de translocation) via le sang et la lymphe.

# Les facteurs liés aux nanomatériaux

- distribution granulométrique,
- surface spécifique,
- réactivité de surface,
- nombre,
- morphologie,
- porosité,
- cristallinité,
- solubilité,
- charge électrique,
- degrés d'agrégation et d'agglomération,
- substances absorbées (métaux, hydrocarbures..)
- Méthode de fabrication, vieillissement, traitement de surface...

Un potentiel  
de toxicité  
spécifique

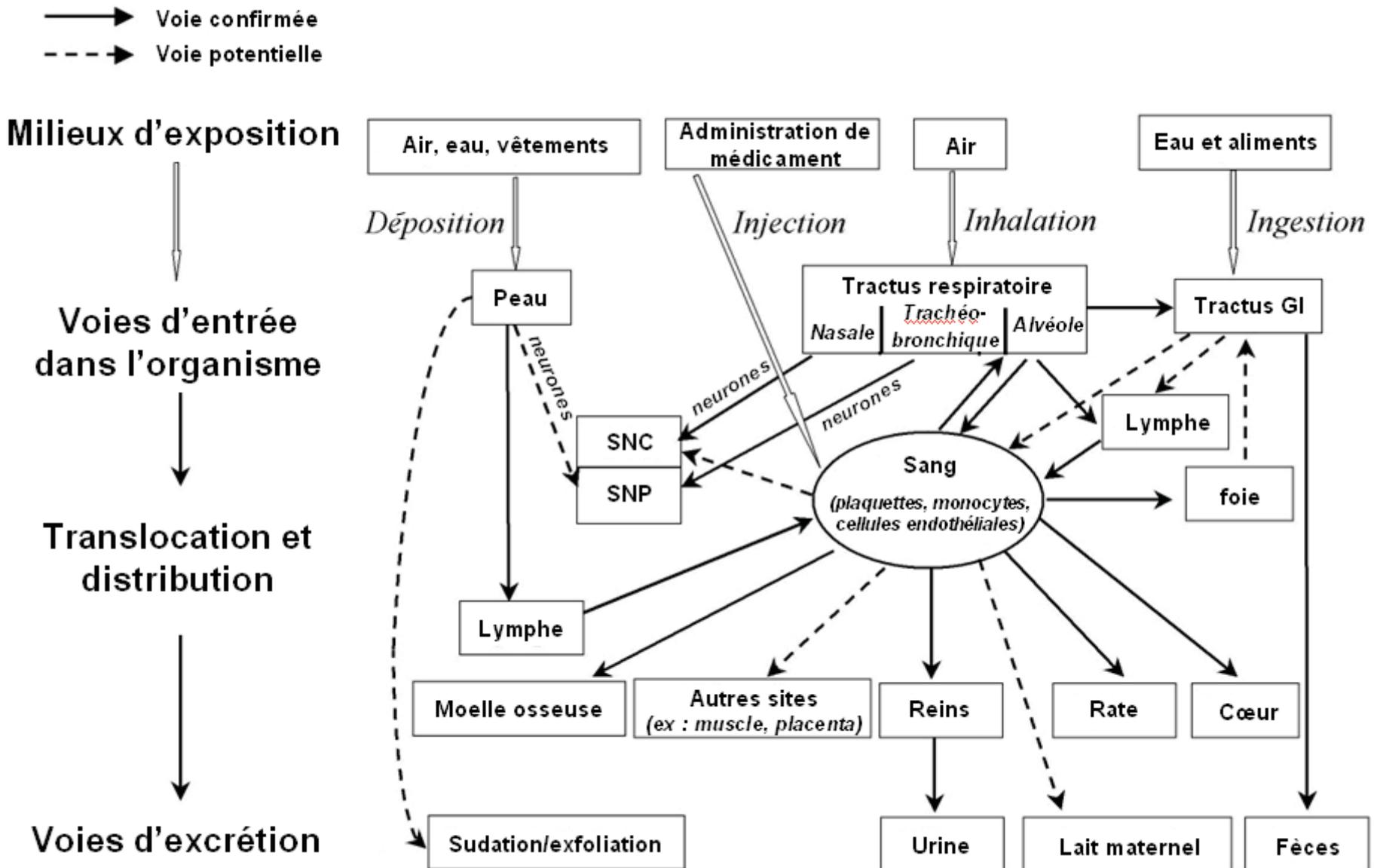
Une étude de l'INERIS et de l'université de Compiègne publiée début 2015 a montré qu'un nanorevêtement de dioxyde de titane existant dans le commerce, une fois appliqué sur une façade de bâtiment, peut se détériorer sous l'effet du soleil et de la pluie ; ce faisant, il entraîne le relargage de particules de titane dans l'air en quelques mois.



Source : [Emission of titanium dioxide nanoparticles from building materials to the environment by wear and weather](#), Shandilya, N et al., *Environmental Science & Technology*, 49(4): 2163–2170, 2015

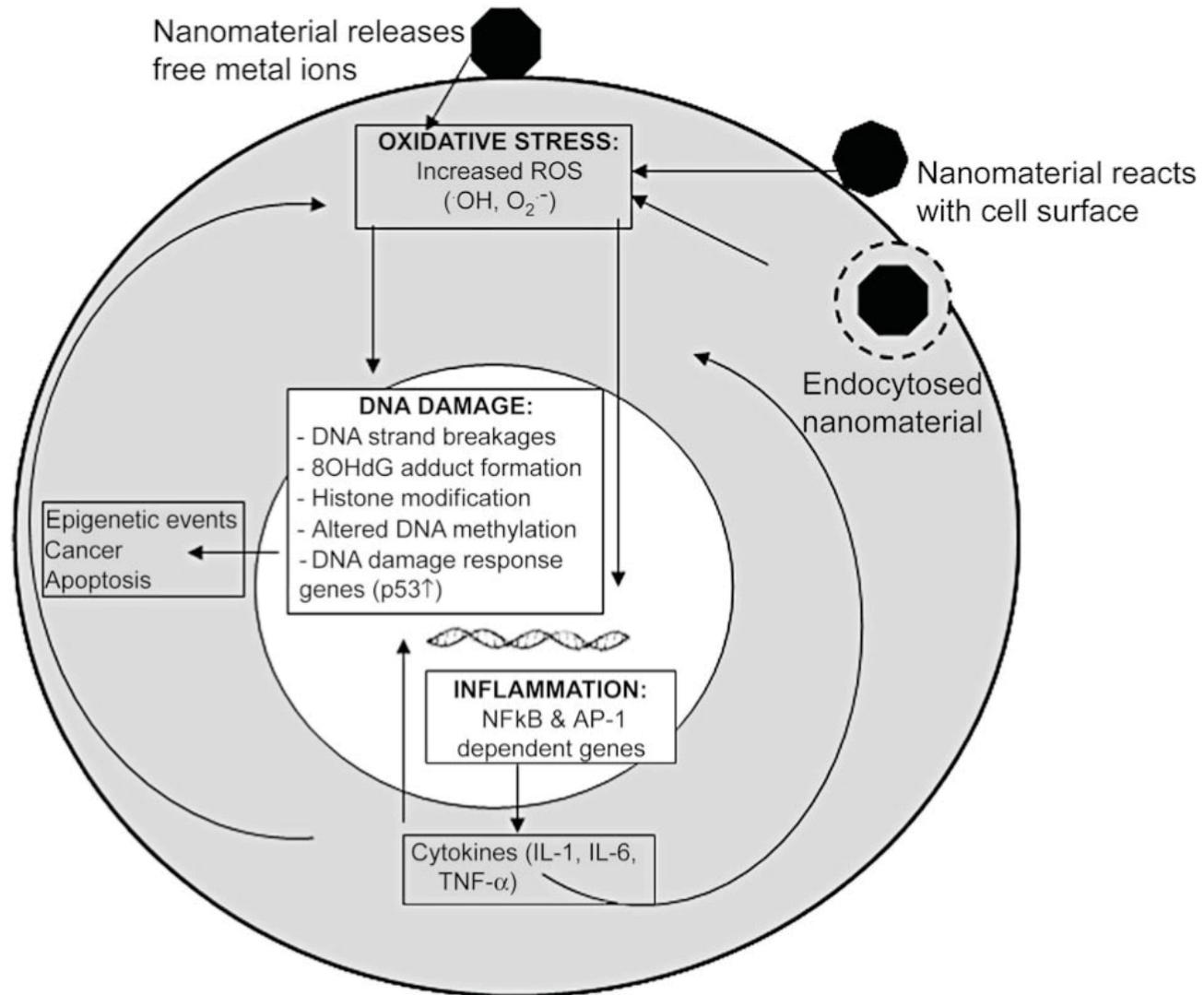
# La toxicité

- Les connaissances sur la toxicité des nanomatériaux demeurent lacunaires.
- La plupart des données toxicologiques proviennent d'études, généralement de portée limitée, réalisées sur cellules ou chez l'animal et donc difficilement extrapolables à l'homme.
- s'interroger sur les risques encourus y compris pour des composés réputés inertes
- A masse équivalente, les objets nanométriques présentent une toxicité plus grande et sont à l'origine d'effets inflammatoires plus importants que les objets micro et macroscopiques et de même nature chimique [7], [10].



**Bio cinétiques de particules de taille nanométrique (d'après Oberdorster G., 2005).**

## Effets secondaires



**Mécanismes indirects qui peuvent conduire à la génotoxicité (d'après Singh N., 2009).**

TiO<sub>2</sub> (anatase, rutil) et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanométriques sont plus cytotoxiques que les homologues micrométriques

SiO<sub>2</sub> peut avoir un effet sur le système immunitaire (maturation des cellules dendritiques\*)

MnO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, => augmentation potentiel inflammatoire

Nanotubes de carbone simple feuillet (brut) => granulomes, marqueurs inflammatoires, stress oxydant, apoptose, phagocytose + rapide que purifiés chez le rat

Al(OH)<sub>3</sub> transporté par les phagocytes > ganglions lymphatiques > sang / accumulation dans le cerveau progressif chez la souris

ZnO => augmentation des micronoyaux (génétoxiques et cytotoxiques) / effets clastogènes (coupures ADN) et aneugènes (anomalies nb Chromosomes)

.....

\* : cellules présentatrices d'antigène aux lymphocytes T

- Résultats parcellaires
- Difficiles de transposer à l'Homme
- Absence de modèle d'étude normalisés

**Il convient de prendre ces résultats avec  
une grande prudence**

**Cependant, au regard des études sur  
l'animal, il faut réduire les expositions  
professionnelles au niveau le plus bas  
possible.**

## Évaluation des risques liés aux nanomatériaux

Enjeux et mise à jour  
des connaissances

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Avril 2014

Édition scientifique

Les nanomatériaux peuvent être absorbés par l'organisme et migrer vers d'autres organes, induisant un **risque systémique potentiel**. Le passage des nanomatériaux à travers certaines barrières biologiques a été vérifié (barrière alvéolo-capillaire par exemple), tandis que d'autres doivent être confirmés (passage à travers les barrières placentaires (TiO<sub>2</sub>), hémato-testiculaires et hémato-encéphaliques). La capacité des nanomatériaux à **franchir ces barrières** et leur **persistance** dans l'organisme varient en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, qui influence non seulement leurs propriétés intrinsèques mais aussi leur capacité d'interagir avec l'environnement dans lequel ils se trouvent.

Des **effets génotoxiques** de plusieurs nanomatériaux ont été mis en évidence *in vitro* (NTC, ZnO) et *in vivo* (NTC, TiO<sub>2</sub>). Cette génotoxicité peut être **directe**, *via* l'interaction des nanomatériaux avec l'ADN ou avec l'appareil mitotique, ou liée à la **production de radicaux libres** résultant ou non d'un processus inflammatoire. Bien que peu d'études soient disponibles sur le sujet, des **effets cancérogènes ont également été mis en évidence chez l'animal** exposé à des nanomatériaux tels que les nanotubes de carbone et les nanoparticules de cobalt et de nickel. Toutefois, les études à faible dose et dans des conditions d'exposition proches de l'exposition humaine sont encore trop rarement accomplies et doivent être privilégiées. **Encore peu d'études *in vivo* de toxicité pour le système nerveux ou la reproduction sont disponibles.**

Compte tenu de leur structure et de leurs propriétés uniques, les nanomatériaux peuvent potentiellement interagir spécifiquement avec le **système immunitaire** et être capables de modifier les réponses immunes. Des effets adjuvants, une réaction inflammatoire ou au contraire des phénomènes d'immunosuppression ont été observés avec certains nanomatériaux.

Des preuves limitées suggèrent que **l'exposition *in utero* et postnatale** aux nanomatériaux est **possible**, avec des résultats indiquant des changements dans la plasticité synaptique, l'expression des gènes et le neurocomportement. Des études plus robustes sont cependant nécessaires afin de permettre l'évaluation des risques neurocomportementaux suite à une exposition à des nanomatériaux.

# Conclusion

Il ressort de l'analyse des études *in vivo* et *in vitro* sur la toxicité des nanomatériaux que ceux-ci sont capable de **pénétrer dans l'organisme et d'être distribués** dans différents organes avec une durée de rétention plus ou moins longue. Si des effets toxiques sont démontrés lors de l'exposition avec certains nanomatériaux (génotoxicité, cancérogénèse induites par les nanotubes de carbone, le nickel ou le cobalt), d'autres effets probables doivent être confirmés.

Bien que parmi l'ensemble des études disponibles, plusieurs puissent être critiquables en raison des **niveaux de doses élevés**, des **modes d'administration des nanomatériaux peu réalistes par rapport à l'exposition humaine**, ou encore des **modèles cellulaires utilisés parfois peu pertinents**, les effets toxiques mis en évidence justifient la réalisation d'études plus approfondies. Une attention particulière doit être portée sur les modèles expérimentaux utilisés et le *design* des expérimentations. De plus, le développement de nanomatériaux de référence est crucial afin de valider les tests de toxicité dans les conditions expérimentales de chaque laboratoire.



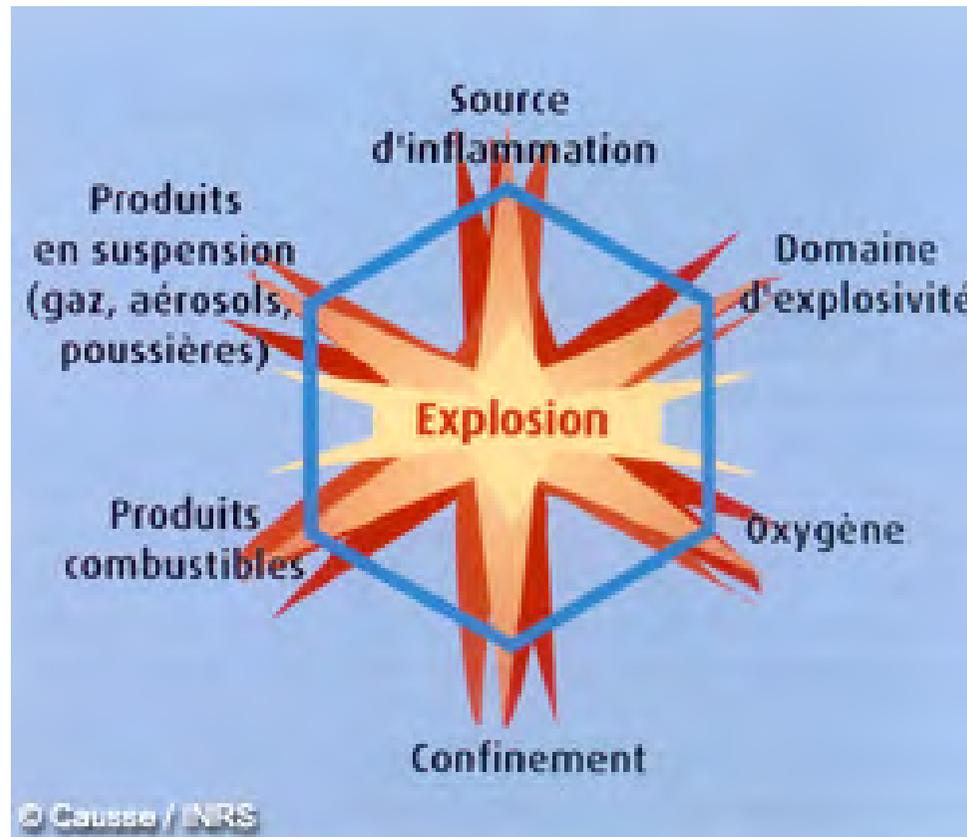
# 3. DANGERS POUR LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ

---

## 3.2. Explosion et incendie

- Peu de données sont actuellement disponibles dans la littérature.
- Il est néanmoins envisageable d'anticiper leur comportement par extrapolation à partir des connaissances acquises sur les poudres fines et ultra-fines.
  - > incertitudes (propriétés chimiques et physiques différentes)
  - > la violence et la sévérité d'une explosion de même que la facilité de déclenchement ont tendance à augmenter à mesure que la taille des particules diminue. l'énergie d'activation nécessaire est moins élevée. Nanomatériaux sont plus réactifs, voire plus explosifs.

# Conditions simultanées pour qu'une explosion survienne :



**Les caractéristiques des particules (composition chimique, granulométrie, etc.) et les conditions environnementales (température, humidité, etc.) influencent le domaine d'explosivité.**



## Les conditions favorables à la survenue d'une explosion :

- ventilation déficiente,
- méthodes de travail inadaptées (par exemple nettoyage trop peu fréquent ou nettoyage à la soufflette),
- fuite sur un équipement, déversement accidentel,
- accumulation dans des conduits,
- etc.

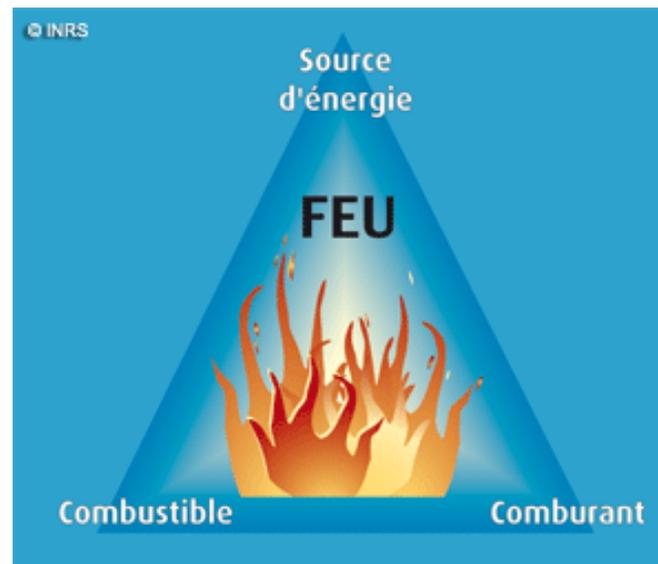
Certains métaux, facilement oxydables, comme l'aluminium, le magnésium, le lithium ou le zirconium ainsi que quelques produits inorganiques tels que les nanotubes de carbone sont particulièrement à risque.

Peu d'informations sont également disponibles sur les risques d'incendie des nano-objets, mais il est toujours possible de se référer aux connaissances déjà publiées sur les poussières de plus grandes dimensions.

Généralement, trois facteurs doivent être réunis pour qu'un incendie se produise :

- la présence de particules combustibles,
- un comburant (en général l'oxygène de l'air)
- une source d'énergie.

NB : travaux par point(s) chaud(s)...





# 4. CARACTERISATION DE L'EXPOSITION

---



Dans une optique d'évaluation de l'exposition professionnelle par inhalation, il est essentiel de privilégier une caractérisation des nanomatériaux dispersés dans l'air, c'est-à-dire sur la phase aérosol (nano-aérosol) [7], [8], [11], [12].

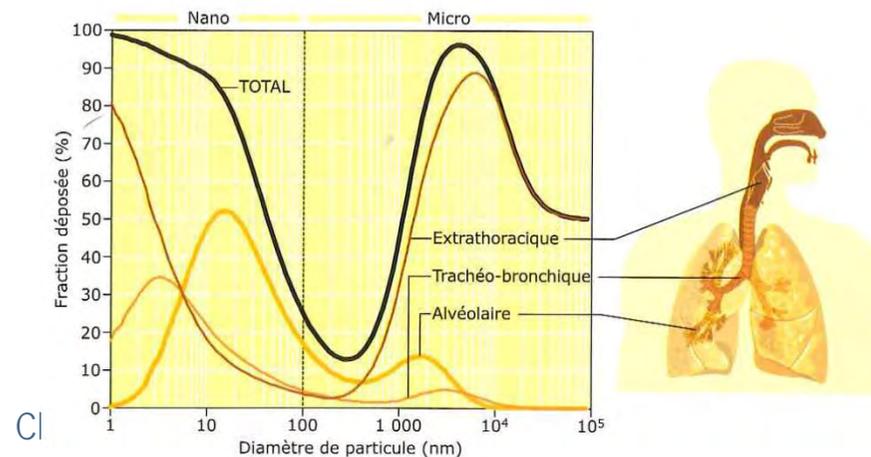
Il n'existe pas actuellement de définition normative définissant la fraction de taille de l'aérosol devant être mesurée.



=> considérer toute la gamme submicronique (particules dont le diamètre équivalent est inférieur à environ 1 000 nm).

L'existence de différences entre fraction pénétrante et fraction déposée dans une même région des voies respiratoires engendre des biais plus ou moins importants en termes d'évaluation des doses.

=> intégrer un critère de dépôt et non de pénétration (modèle CIPR).



## Criètes d'évaluation de l'exposition :

Pour les substances insolubles ou peu solubles, les indicateurs de masse et de composition chimique semblent être inappropriés (effets spécifiques).

deux autres indicateurs d'exposition semblent devoir être mesurés : la surface ( $\mu\text{m}^2/\text{m}^3$ ) et le nombre (particules/cm<sup>3</sup>).

Pas de méthode de mesure unique et simple ni de consensus.

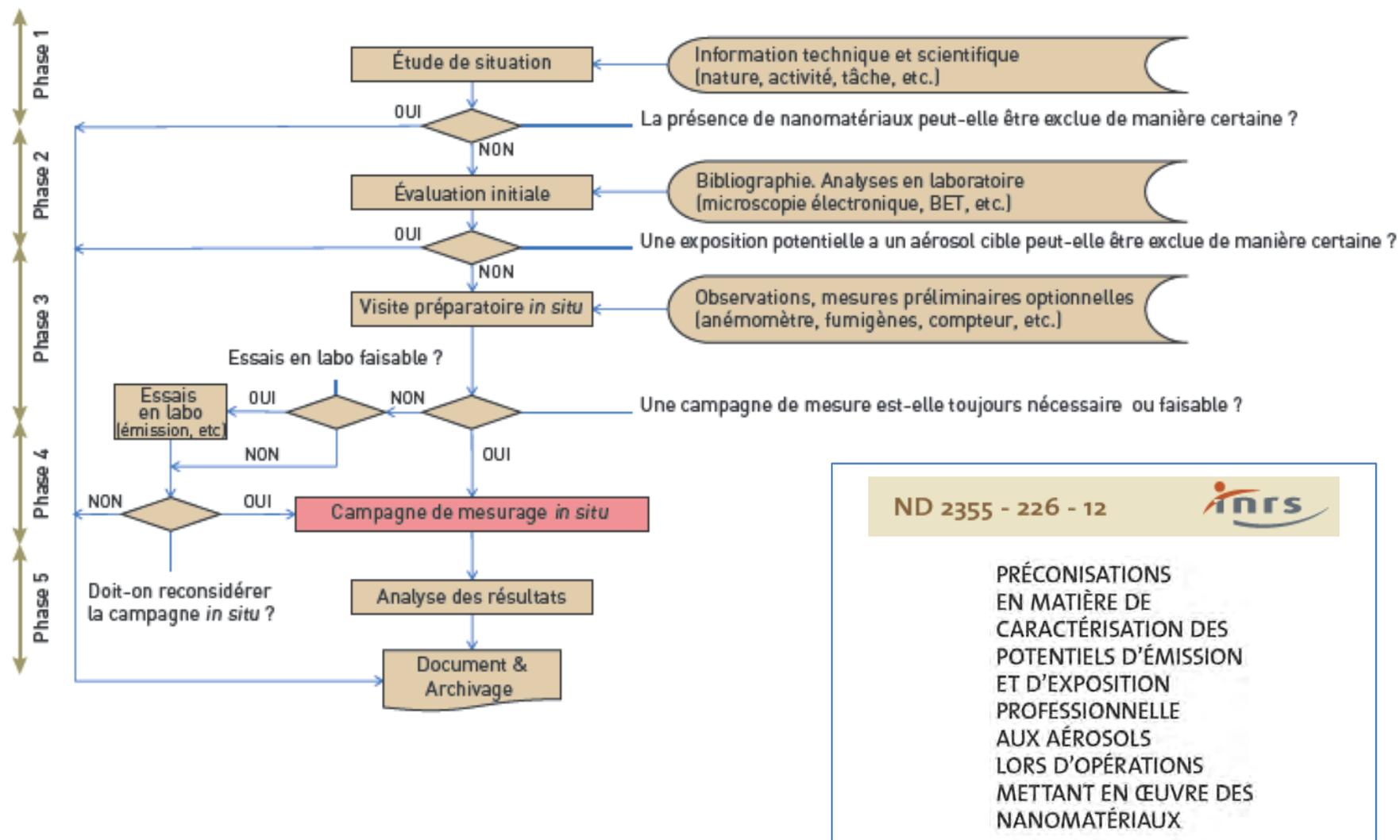
## Cela implique de déterminer :

- la concentration en surface,
- la concentration en nombre,
- la concentration en masse ,
- leur distribution granulométrique,
- la morphologie des particules,
- la composition chimique,
- la structure cristalline,
- etc.

La stratégie de mesurage doit permettre de repérer et de caractériser la (ou les) source(s) d'émission(s) probable(s) des nanomatériaux en faisant sorte de les discerner du bruit de fond, c'est à dire des particules de taille nanométrique présentes dans l'atmosphère de travail mais non liées à l'activité étudiée.

- > tendance à se déposer et à s'accumuler
- > pas de méthode de prélèvement surfacique validée.

## Logigramme d'ensemble de la stratégie pour la caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux



## Instrumentes et méthodes proposés correspondant au niveau 1 (base) d'une campagne de mesure

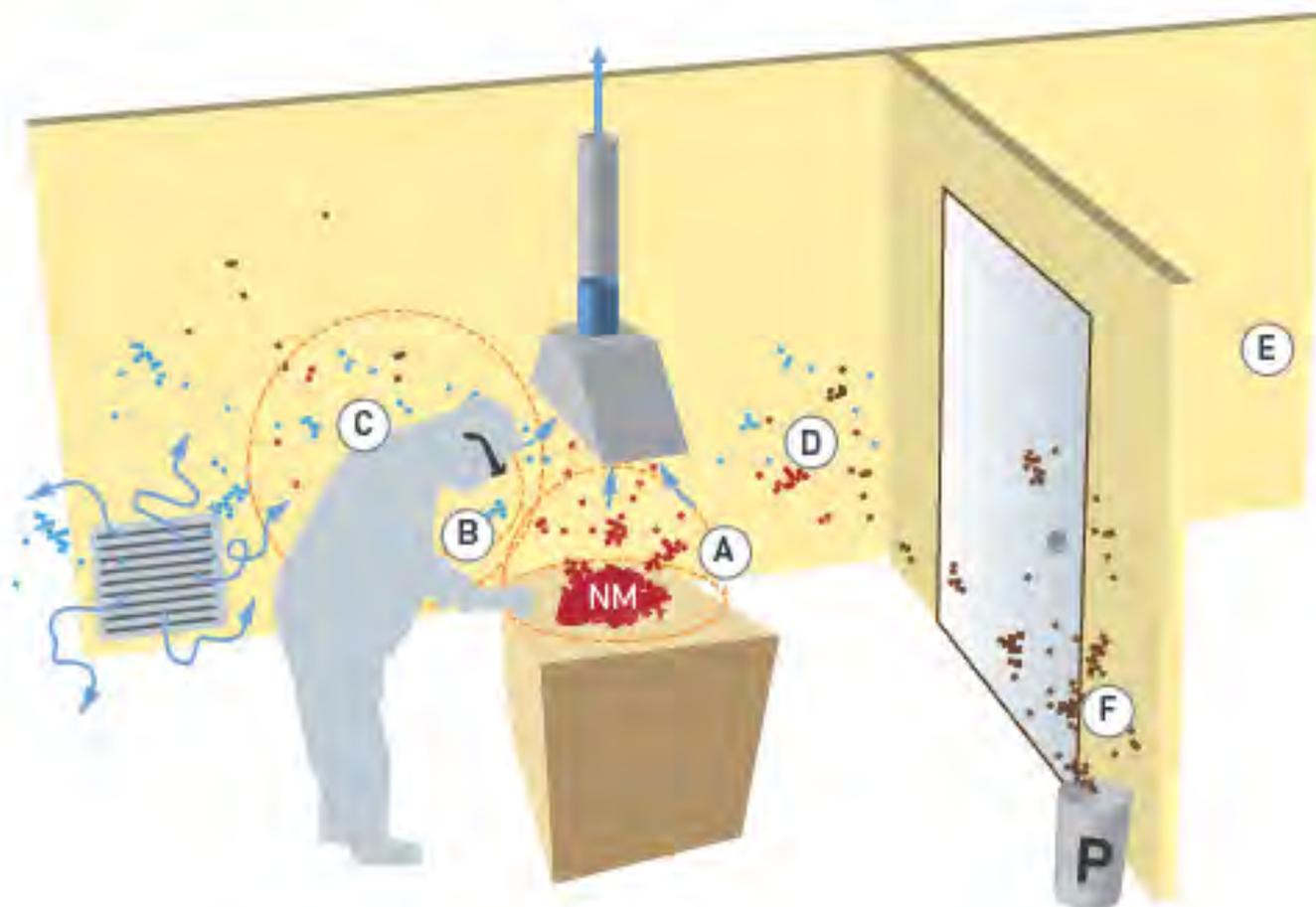
Niveau 1 (base)		
Type de mesure	Paramètre	Instrument/Méthode
Temps réel	Concentration en nombre (1/cm <sup>3</sup> )	Compteur de noyaux de condensation portable (CNC) Compteur optique de particules portable (COP)
	Concentration en masse (µg/cm <sup>3</sup> )	Compteur optique de particules portable (COP) Photomètre laser portable
Intégré	Particule élémentaire (morphologie, analyse élémentaire)	Prélèvement* pour observation microscopie électronique (ME) à transmission (MET) ou balayage (MEB) éventuellement combinée avec des techniques de microanalyse ou spectroscopique
	Composition chimique aérosol	Prélèvement à poste fixe de la fraction alvéolaire combinée avec analyse chimique** (ex. Spectrométrie de Masse)

\* Il existe plusieurs techniques pour la collecte des particules (filtration, précipitation électrostatique ou par thermophorèse) et différents média peuvent être utilisés (membrane, disque de silicium, grille MET etc.)

\*\* Des méthodes d'analyses telles que publiées par l'INRS (base Metropol) ou le NIOSH peuvent être mises en œuvre en fonction de la nature de la substance chimique. Le prélèvement peut être réalisé à l'aide d'un dispositif de type CATHIA (alvéolaire)

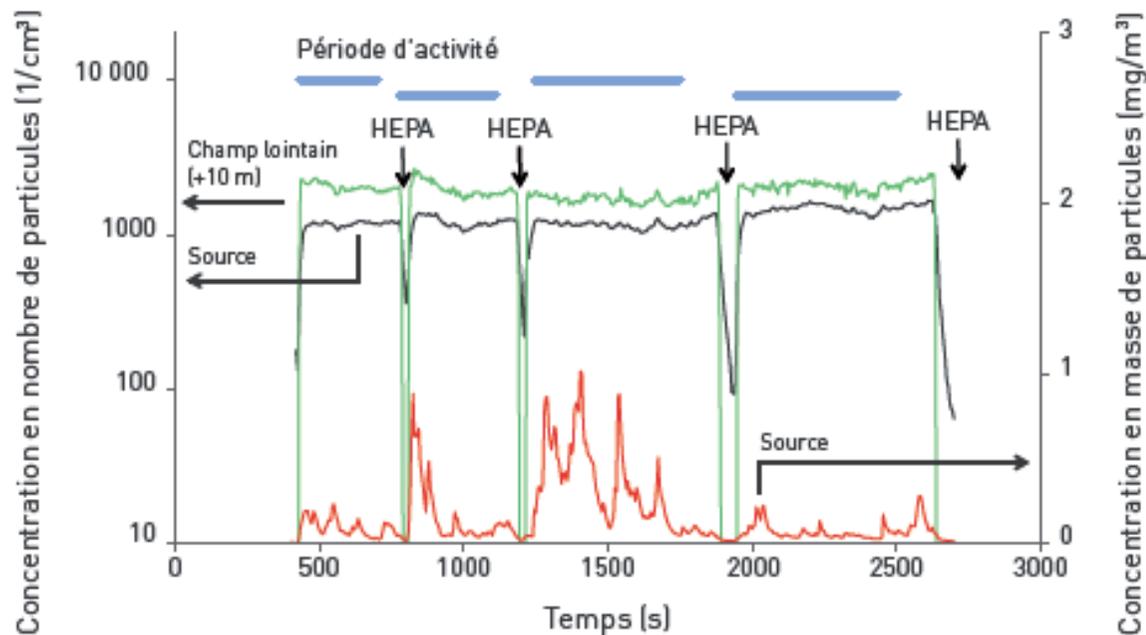
**Illustration du positionnement des points de mesure dans un local où un opérateur met en œuvre un nanomatériau (NM).**

En bleu l'aérosol de fond issu de l'extérieur, en marron l'aérosol de fond issu d'une source ponctuelle P de particules à l'intérieur du local, en rouge l'aérosol cible issu de la mise en œuvre du nanomatériau. Points de mesure à la source (A), dans la zone respiratoire (B), en champ proche de l'opérateur (C), en champ lointain de l'opérateur à hauteur des voies respiratoires à l'intérieur du local (D) ou à l'extérieur du local (E), à proximité de la source ponctuelle P de particules (F).



**Exemple de mesurages effectués en temps réel lors d'une opération de ponçage de surfaces internes d'un équipement dans lequel ont été produits des nanoparticules.**

Les évènements marqués HEPA correspondent à la connexion furtive d'un élément filtrant de type HEPA sur la ligne de prélèvement dans le but de séparer les tâches ou opérations observées. Echelle des ordonnées à gauche pour les courbes noire et verte ; à droite pour la courbe en rouge ;



La *Figure 6* montre des résultats des mesurages en temps réel obtenus lors d'une opération de ponçage de surfaces internes d'un équipement dans lequel ont été produites des nanoparticules. On peut observer que la série temporelle de la concentration en nombre des particules obtenues à la source est bien corrélée avec celle obtenue en champ lointain, mais elle ne montre pas d'évènement particulier en lien avec l'activité de ponçage. Par contre, il existe un lien évident entre l'activité de ponçage et la série temporelle de la concentration en masse des particules. Cet exemple illustre le fait qu'il est parfois pertinent de considérer pour le mesurage en temps réel la concentration en nombre des particules mais aussi la concentration en masse des particules.

Pour procéder à une évaluation quantitative :

- connaissance avérée des dangers
- niveaux d'exposition

Il n'est généralement, pas possible dans les laboratoires dans lesquels sont manipulés des nanomatériaux, d'appliquer des méthodes d'évaluation des risques quantitatives.

=> L'utilisation de méthodes d'évaluation (et de gestion) des risques qualitatives apparaissent alors comme une alternative possible [13], [14].

« Control banding »

Ex : ANSES, IRSST, Ecole polytechnique de Lausanne ...



## 4. CARACTERISATION DE L'EXPOSITION

---

Identification et caractérisation du danger



## Démarche :

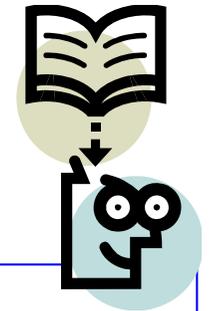
1. détection, d'identifier et d'inventorier l'ensemble des nanomatériaux qui sont fabriqués ou utilisés
2. Ce recensement doit être exhaustif et mis à jour régulièrement.
3. revue de la littérature scientifique
4. toxicité du matériau parent
5. études réalisées sur cellules, chez l'animal, voire chez l'homme (matériau parent)

Lorsque des données sont disponibles pour des objets de taille micrométrique ou supérieure et de même nature chimique, il est admis que les nano-objets correspondants présentent au moins la même toxicité et sont probablement plus dangereux.

Un recueil des propriétés physico-chimiques de chaque nanomatériau doit également être entrepris (incidence certaine sur leur toxicité).

## Il convient donc de s'intéresser à :

- la taille,
- la distribution granulométrique,
- la surface spécifique,
- la morphologie,
- la cristallinité,
- la solubilité,
- au traitement de surface,
- la pulvérulence,
- aux degrés d'agrégation et d'agglomération.



FDS

Fiches  
techniques

Synthèses de  
la littérature



# 4. CARACTERISATION DE L'EXPOSITION

---

## Evaluation de l'exposition



## Analyser chaque poste de travail

- les procédés de synthèse ou d'utilisation (méthodes en phase liquide ou vapeur, broyage, etc.) et les modes opératoires mis en œuvre,
- l'état dans lequel se trouvent le ou les nano-objets manipulés : sous forme de poudre, de suspension liquide, de gel, incorporés dans une matrice, etc.,
- la propension des nanomatériaux à se retrouver dans l'air ou sur les surfaces de travail c'est-à-dire à former des aérosols ou des gouttelettes,

- les quantités fabriquées ou utilisées,
- la durée et la fréquence des opérations,
- les voies d'exposition des opérateurs :  
inhalation, ingestion et/ou contact cutané,
- les mesures de prévention (visant à réduire l'exposition) éventuellement mises en place.

## Il convient de s'intéresser à :

- Transfert, échantillonnage, pesée, mise en suspension et incorporation dans une matrice minérale ou organique de nanopoudres,
- Transvasement, agitation, mélange et séchage d'une suspension liquide contenant des nano-objets,
- Usinage de nanocomposites : découpe, polissage....,
- Conditionnement, emballage, stockage et transport des produits,

- Nettoyage des équipements et des locaux : nettoyage d'un réacteur, d'une boîte à gants, d'une paillasse, etc.,
- Entretien et maintenance des équipements et des locaux : démontage d'un réacteur, changement de filtres usagés, etc.,
- Collecte, conditionnement, entreposage et transport des déchets,
- Fonctionnement dégradés ou incidents : fuites...



# 5. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

---

## La prévention du risque chimique



# NANOMATERIAUX = AGENTS CHIMIQUES DANGEREUX

Les règles de prévention du risque chimique s'appuient sur les principes généraux de prévention définis à l'article L.4121-2 du Code du travail et se déclinent en 2 volets :

- les règles générales de prévention du risque chimique énoncées aux articles R.4412-1 à R.4412-58 du Code du travail,
- les règles particulières de prévention du risque chimique pour les activités impliquant des agents chimiques cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR) de catégorie 1 et 2 définies aux articles R.4412-59 à R.4412-93 du Code du travail.



## 5. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

---

### Valeurs limites d'exposition professionnelle



*A l'heure actuelle, il n'a pas été défini dans les réglementations française et européenne de valeurs limites d'expositions professionnelles pour les nanomatériaux.*

*Il existe des valeurs limites pour certaines catégories de poussières : poussières réputées sans effet spécifique, dioxyde de titane, graphite sous forme non fibreuse, certains oxydes et sels métalliques, etc.*

*Pas applicables aux formes nanométrique.*

*En 2011, le NIOSH[1] propose deux valeurs limites d'exposition pour le dioxyde de titane :*

- 1,5 mg/m<sup>3</sup> pour le dioxyde de titane fin*
- 0,1 mg/m<sup>3</sup> pour le dioxyde de titane ultra-fin (particules de diamètre inférieur à 100 nm) [15].*

*En 2013, il établit une valeur limite d'exposition pour les nanotubes de carbone de 1 µg/m<sup>3</sup> [16].*

*[1] National Institute for Occupational Safety and Health*

*Le BSI[2] [16] ou l'IFA[3] [17] définissent des valeurs seuils en distinguant certaines catégories de nano-objets : fibres, CMR, nano-objets insolubles et solubles, etc.*

*Ces instituts indiquent que les valeurs proposées visent à réduire l'exposition des salariés conformément à l'état de l'art. Ils précisent également qu'elles ne sont pas justifiées sur le plan toxicologique, et que leur respect ne saurait constituer une garantie de ne pas développer une pathologie.*

*[2] British Standards Institution*

*[3] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung*

*Classification CIRC[1] du noir de carbone et du dioxyde de titane*

*Il n'existe pas aujourd'hui d'étude épidémiologique publiée sur les populations de travailleurs exposés.*

*Dans les industries les plus anciennes, comme celles du dioxyde de titane ou du noir de carbone, plusieurs études de morbidité et de mortalité ont été effectuées.*

*En février 2006, le CIRC a publié les résultats des réévaluations du potentiel cancérogène du noir de carbone et du dioxyde de titane sous formes nanométrique et micrométrique. Il a confirmé pour le noir de carbone le classement établi en 1996 – à savoir **cancérogène possible chez l'homme (catégorie 2B)** – et a modifié pour le dioxyde de titane celui établi en 1989, qui passe ainsi de la catégorie 3 (classification impossible quant au pouvoir cancérogène pour les humains) à la catégorie 2B. Ces deux substances ne sont pas classées par l'Union Européenne.*

*[1] Centre international de recherche sur le cancer*



# 5. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

---

## 5.2. Déclaration annuelle des substances à l'état nanoparticulaire

En application de l'article  
L 523-4 du code de l'environnement



Les personnes qui fabriquent, importent ou distribuent des **substances à l'état nanoparticulaire**, en l'état ou contenues dans des mélanges sans y être liées, ou des **matériaux destinés à rejeter de telles substances** dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation déclarent périodiquement à l'autorité administrative, **dans un objectif de traçabilité et d'information du public**, l'identité, les quantités et les usages de ces substances, ainsi que l'identité des utilisateurs professionnels à qui elles les ont cédées à titre onéreux ou gratuit.



Les informations relatives à l'identité et aux usages des substances ainsi déclarées sont mises à disposition du public.

Code de l'environnement - L 523-1

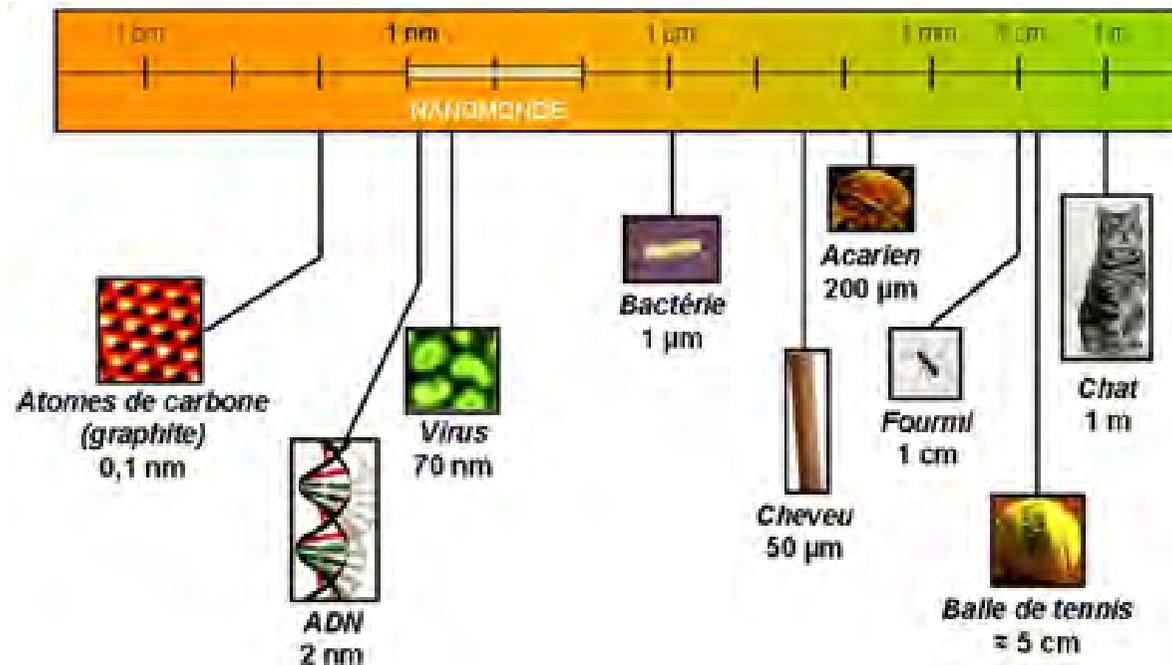
# Les objectifs de la loi

1. Avoir la **connaissance des nanomatériaux** produits, importés, mis sur le marché (identité, quantités, usages)
2. **Traçabilité** (fabricant, distributeur, importateur et utilisateur professionnel)
3. Rassembler les connaissances sur les nanomatériaux en vue de **l'évaluation des risques** et de **l'information du public**



« Substance au sens du règlement (CE) n°1907/2006\* fabriquée intentionnellement et se caractérisant par une ou plusieurs dimensions externes, ou une structure interne, sur une échelle de 1 à 100 nm... »

Code de l'environnement - R 523-12



« Nanomonde » selon Richard Feynman - 1959

1 nanomètre (nm) =  $10^{-9}$  m = 0,000 000 001 m

\* **REACH** = règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques. Il est entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2007. REACH rationalise et améliore l'ancien cadre réglementaire de l'Union européenne (UE) sur les produits chimiques.

## *Article 3 du règlement (CE) n°1907/2006*

**«substance»** : un **élément chimique** et ses composés à l'état naturel ou obtenus par un processus de fabrication, y compris tout additif nécessaire pour en préserver la stabilité et toute impureté résultant du processus mis en œuvre mais à l'exclusion de tout solvant qui peut être séparé sans affecter la stabilité de la substance ou modifier sa composition;

## *Matériau destiné à rejeter une substance à l'état nanoparticulaire dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation » ?*

le terme « matériau » est à interpréter par « **article** » au sens de REACH. La définition fait référence à un matériau (*article*) dont le rejet de la substance à l'état nanoparticulaire **sert à remplir une fonction** (accessoire à la fonction principale de l'article) : **il doit apporter un "plus"** à au matériau (*article*) en question, et doit se produire **dans des conditions prévues** pour l'utilisation de cet article décrites par exemple dans un manuel d'utilisation, ou dans des conditions qui ne seraient pas tout à fait normales mais **raisonnablement anticipables** (conditions dont la survenue est probable en raison de l'apparence ou de la fonction du matériau (*article*)).

*Matériau destiné à rejeter une substance à l'état nanoparticulaire dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation » ?*

Rejets non considérés comme intentionnels :

par exemple, si le rejet est provoqué par un accident ou une utilisation extrêmement intensive d'un article (bien au delà de la durée de fonctionnement indiquée dans les conditions d'utilisation), si le rejet se produit pendant des réactions chimiques...



## REACH

« **“Fabricant”** : toute personne fabriquant dans l’exercice de ses activités professionnelles sur le territoire, pour son propre usage ou en vue de leur cession à titre onéreux ou gratuit, une substance à l’état nanoparticulaire, en l’état ou contenue dans un mélange sans y être liée, ou un matériau destiné à rejeter une telle substance dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d’utilisation ;

« **“Importateur”** : toute personne qui introduit dans l’exercice de ses activités professionnelles sur le territoire une substance à l’état nanoparticulaire, en l’état ou contenue dans un mélange sans y être liée, ou un matériau destiné à rejeter une telle substance dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d’utilisation, en provenance d’un autre Etat membre de l’Union européenne ou d’un Etat tiers ;

« **“Distributeur”** : toute personne établie sur le territoire, y compris un détaillant, qui exécute des opérations de stockage et de cession à titre onéreux ou gratuit à des utilisateurs professionnels d’une substance à l’état nanoparticulaire, en l’état ou contenue dans un mélange sans y être liée, ou d’un matériau destiné à rejeter une telle substance dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d’utilisation ;

## QQOQCP

- Déclaration annuelle avant le 1<sup>er</sup> mai des activités de l'année civile précédente.
- Déclaration simplifiée (catégorie de nanomatériau) via une application informatique dédiée.
- Substances à l'état nanoparticulaire & matériaux en contenant :
  - fabrication, importation ou distribution au moins 100 g / an
  - proportion minimale des particules : 50 % en nombre
- Déclaration au Ministre chargé de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie via l'ANSES.





# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.1. Les principes généraux de la démarche de prévention

⇒ *Les stratégies de prévention et les bonnes pratiques de travail qu'il convient de mettre en place dans les laboratoires doivent donc être élaborées au cas par cas [7], [8], [19].*

⇒ *Elles visent à réduire l'exposition des salariés au niveau le plus bas possible.*

- *niveaux d'exposition,*
- *durée d'exposition,*
- *nombre de salariés exposés,*
- *etc.*

*Les principales voies de la démarche de prévention [8], [19], [20] :*

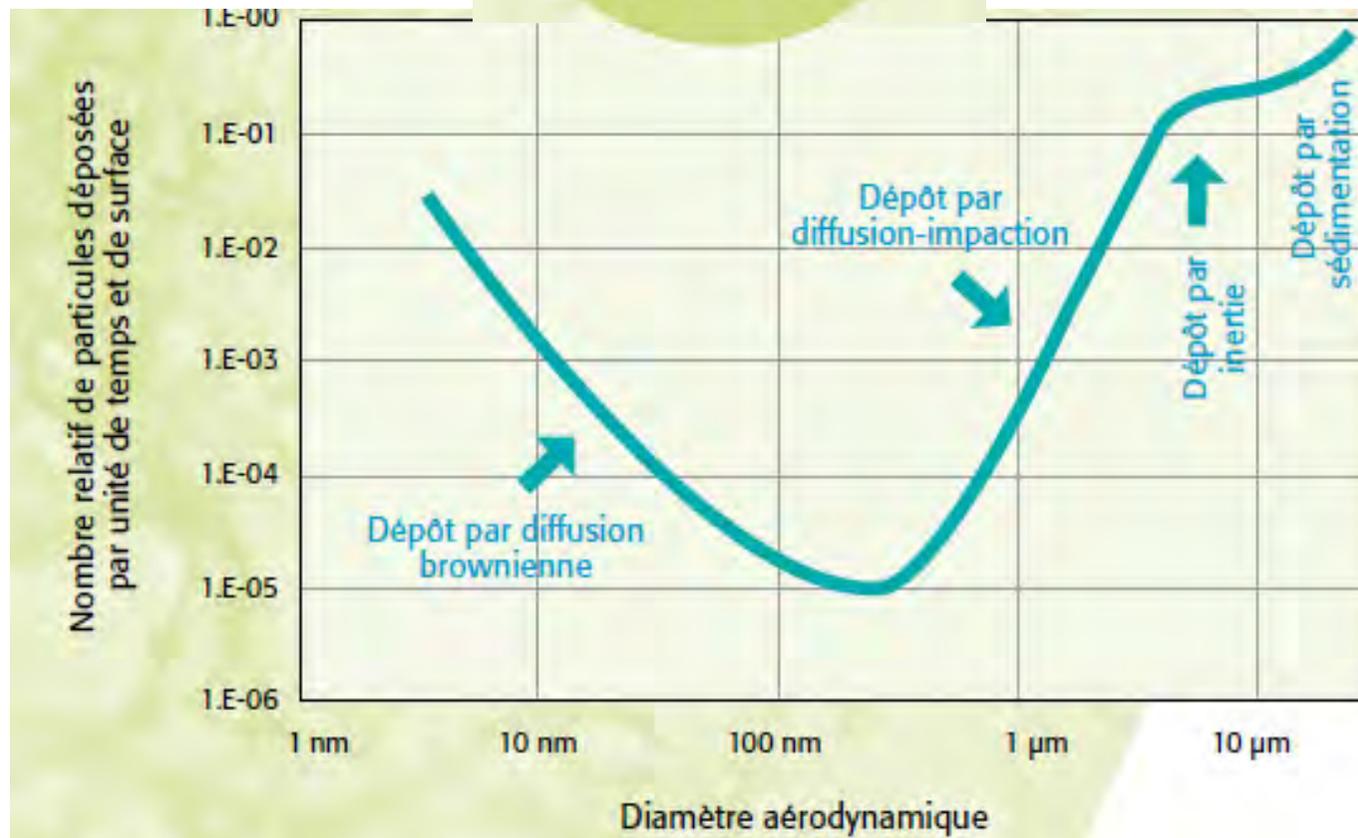
- *modifier le procédé ou l'activité de façon à ne plus produire ou utiliser le ou les nanomatériaux,*
- *remplacer le ou les nanomatériaux par des substances non toxiques ou dont la toxicité est moindre,*
- *manipuler les nanomatériaux sous une forme plus sûre : de préférence en suspension dans un milieu liquide, à l'état de gel ou intégrés dans une matrice,*



- *optimiser le procédé pour obtenir un niveau d'empoussièremement aussi faible que possible afin de limiter l'exposition : privilégier des systèmes clos et des techniques automatisées,*
- *capter les polluants à la source : mettre en place une ventilation locale + ventilation générale*
- *filtrer l'air avant rejet à l'extérieur du local de travail (HEPA > H13),*



Figure 1 –  
Nombre relatif de particules déposées sur une surface  
de type sol par unité de temps  
et de surface, en fonction de la taille  
des particules (particules sphériques  
de masse volumique de 1 000  
 $\text{kg.m}^{-3}$  (densité = 1))



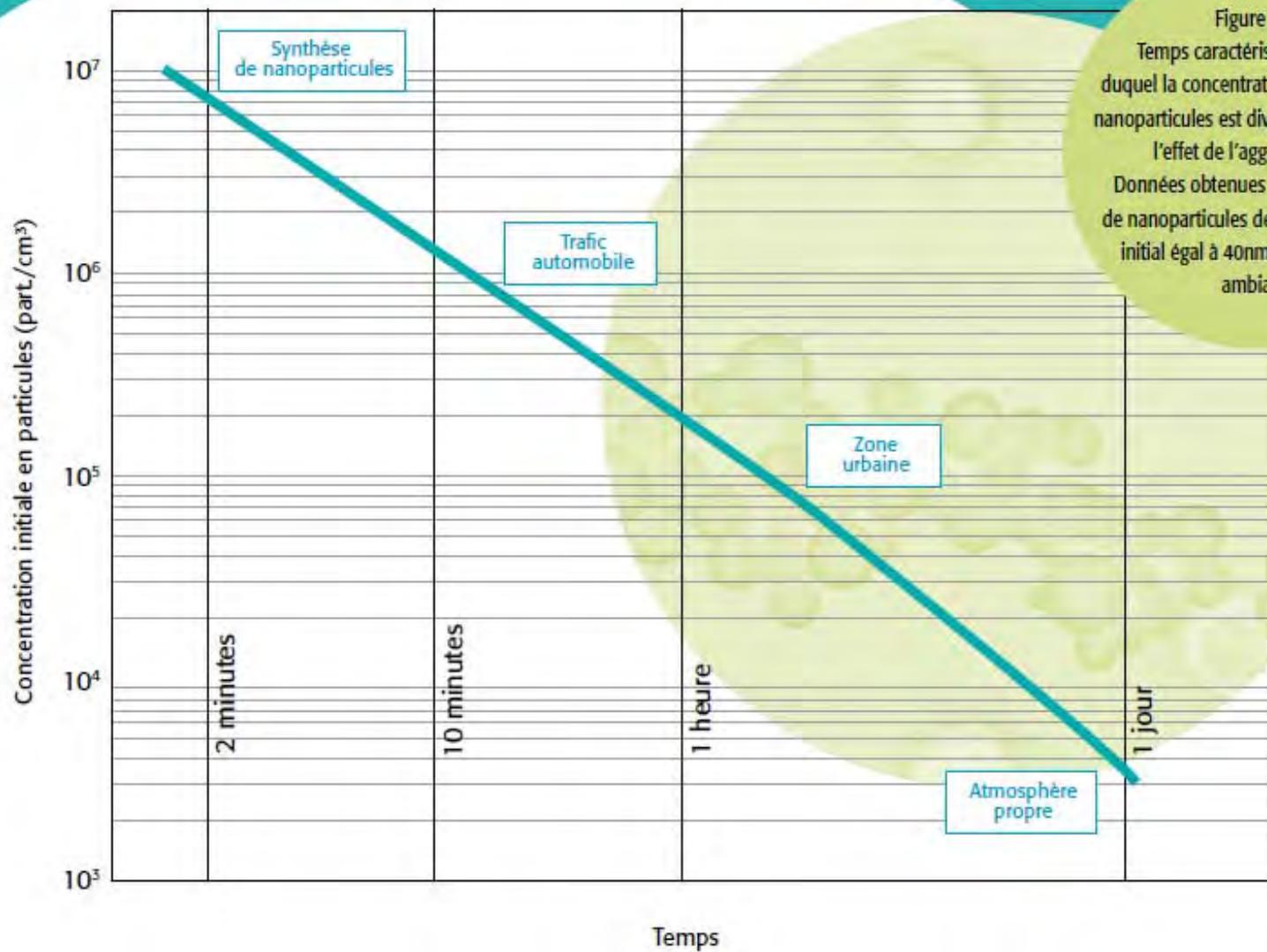


Figure 2 – Temps caractéristique au bout duquel la concentration numérique en nanoparticules est divisée par deux sous l'effet de l'agglomération. Données obtenues pour un aérosol de nanoparticules de diamètre moyen initial égal à 40nm émis dans l'air ambiant.

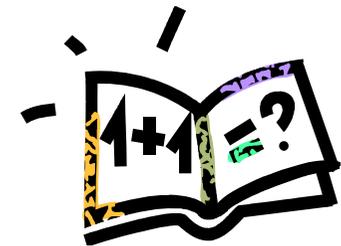


- *employer un équipement de protection individuelle si les mesures de protection collective s'avèrent insuffisantes,*
- *collecter et traiter les déchets,*
- *former et informer les salariés exposés sur les risques et leur prévention : donner aux salariés les informations nécessaires à l'exécution de leurs tâches dans des conditions de sécurité optimales,*

- *assurer une traçabilité des expositions des opérateurs c'est-à-dire noter et conserver toutes les informations pertinentes relatives à leur exposition: types de nanomatériaux manipulés, quantités mises en œuvre, opérations et tâches effectuées, moyens de prévention mis en place, etc..*

*=> fiche d'exposition*

*Quid de la fiche pénibilité*



- *analyser et exploiter les incidents et accidents survenus.*



- *optimiser les procédés afin d'utiliser des quantités de nanomatériaux plus faibles ;*
- *remplacer les installations vétustes afin de réduire les dysfonctionnements, les fuites ou les sources d'ignition.*



# Etude épidémiologique Epinano NTC et TiO<sub>2</sub>

---





Après étude des différents protocoles épidémiologiques possibles et des données existantes, l'InVS propose la mise en place d'un **dispositif de surveillance épidémiologique** à deux volets avec, d'une part, une étude de cohorte prospective et, d'autre part, la conduite d'enquêtes transversales répétées.

L'étude de cohorte prospective poursuivra des objectifs de surveillance et pourra secondairement servir de base à la mise en œuvre d'études poursuivant des **objectifs de recherche spécifiques**.

---

Une cohorte est une population de sujets qui répondent à une définition donnée et qui sont suivis dans le temps. Une étude de cohorte consiste à comparer la survenue d'une pathologie dans plusieurs populations définies en fonction de leur exposition à un facteur présumé causal pour cette pathologie. Dans les études de cohortes dites « prospectives », la période de suivi débute à la date de mise en place de l'enquête ; diverses données sont alors recueillies : questionnaires, tests fonctionnels, indicateurs biologiques, etc.



# Le dispositif de surveillance épidémiologique

- Nécessité de se mettre en position de veille sur la thématique nanomatériaux
- Étude de cohorte prospective adaptée :
  - au caractère émergent de la thématique
  - à la surveillance potentielle d'évènements de santé divers
- Objectifs
  - exercer un suivi généraliste de la santé de travailleurs exposés aux nanomatériaux (moyen et long terme)
  - permettre la mise en place d'études *ad hoc* explorant des hypothèses de recherche spécifiques
- Champ d'intérêt
  - travailleurs potentiellement exposés lors de la production ou de la manipulation de poudres de nano-objets incluant les formes agrégées ou agglomérées
  - sélection de 4 nano-objets prioritaires
    - nanotubes de carbone
    - dioxyde de titane nanométrique
    - noir de carbone
    - silices amorphes



# Méthode

- Initialement
  - création d'un enregistrement de travailleurs potentiellement exposés
  - qualification de l'exposition
  - suivi des causes de décès

- A reconsidérer ultérieurement
  - examen clinique standardisé
  - biothèque

- Dans un second temps
  - suivi de santé passif
    - interrogation des bases de données de consommation de soin
    - valorisation des données de santé collectées en routine par la médecine du travail
  - suivi de santé actif
    - par auto-questionnaire annuel
  - quantification de l'exposition



# 6. MESURES DE PREVENTION

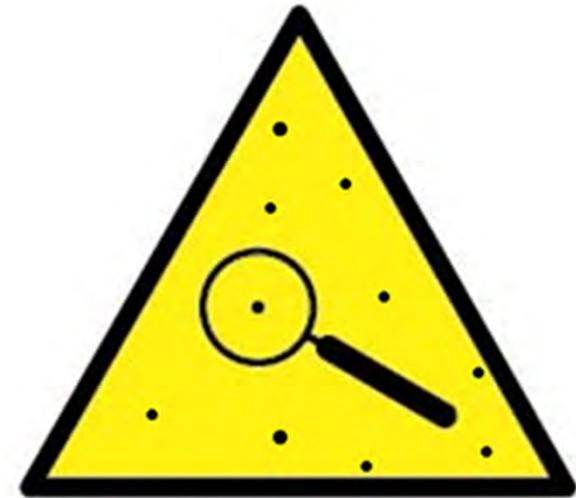
---

## 6.2. L'aménagement des locaux



# *Exemple de pictogramme « Risque d'exposition aux nanomatériaux »*

IDENTIFICATION ET  
SIGNALISATION DES  
LOCAUX



Contient des nanomatériaux



Risques d'exposition aux nanomatériaux

- *Principe de séparation des zones « tertiaires »  
Prévoir un accès direct ET restreint aux seuls opérateurs (limiter les expositions, formation) et fermés en dehors des heures de travail.*
- *Equipements et instruments dédiés sinon  
procédure de nettoyage*
- *revêtements de sol et muraux et paillasses doivent être lisses, imperméables, non poreux, facilement nettoyables*



## 6. MESURES DE PREVENTION

---

La prévention des explosions et des incendies



- *limiter les nanoaérosols*
- *Nettoyage régulier*
- *Isoler des sources d'ignition (charges électrostatiques...)*
- *La mise en œuvre sous atmosphère contrôlée*



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.3. La ventilation des locaux

### 6.3.1. Principes généraux

#### Locaux à pollution spécifique

## La ventilation locale doit répondre à neuf principes simples

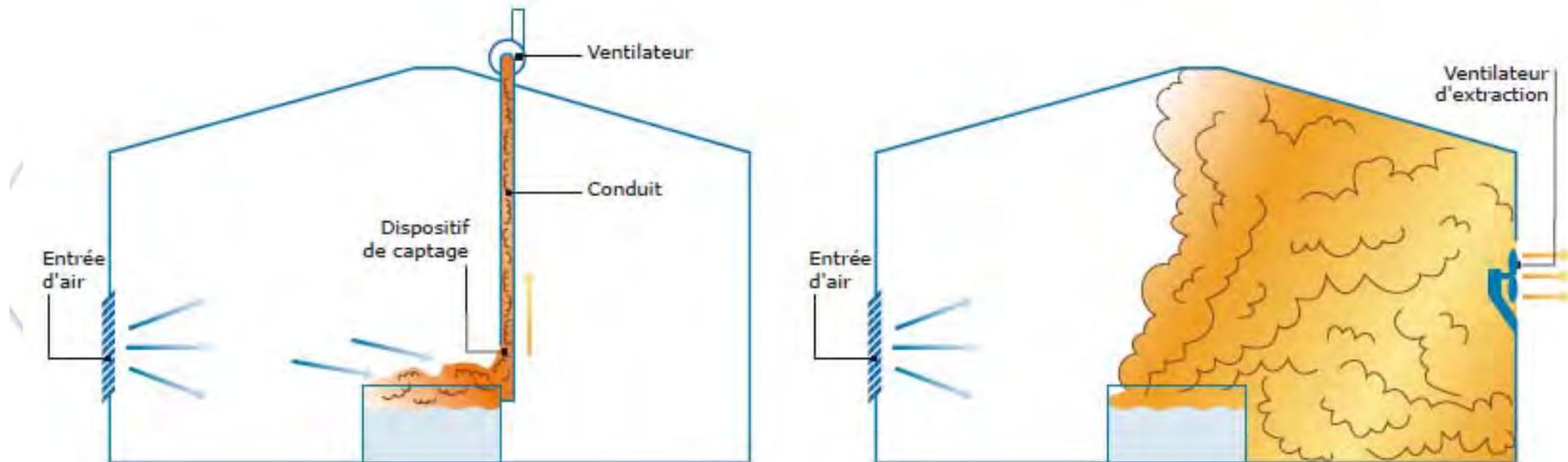
[23] :

- *envelopper au maximum la zone de production des nanomatériaux,*
- *capter au plus près de la zone d'émission,*
- *placer le dispositif de manière que l'opérateur ne soit pas entre celui-ci et la source de pollution,*
- *utiliser les mouvements naturels des polluants,*
- *induire une vitesse d'air suffisante (0,4 m/s – 0,6 m/s),*
- *éviter les courants d'air et les sensations d'inconfort thermiques,*
- *rejeter l'air pollué en dehors des zones d'entrée d'air neuf après filtration (HEPA > H13).*

## La ventilation générale

- *assure une élimination des polluants résiduels, non directement captés à la source, (10 à 20 renouvellements par heure)*

# Ventilation locale / générale



⇒ Coupler les deux systèmes  
Locale + générale



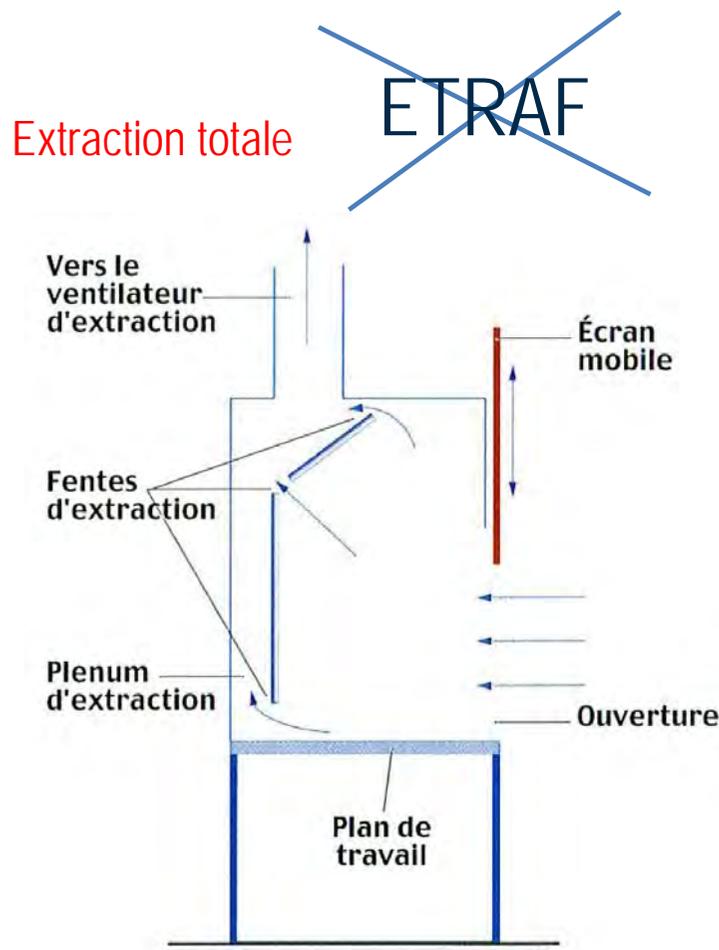
## 6. MESURES DE PREVENTION

---

### 6.3.2. Les enceintes ventilées et captages à la source

# SORBONNE

Norme EN 14175  
Filtration > H13



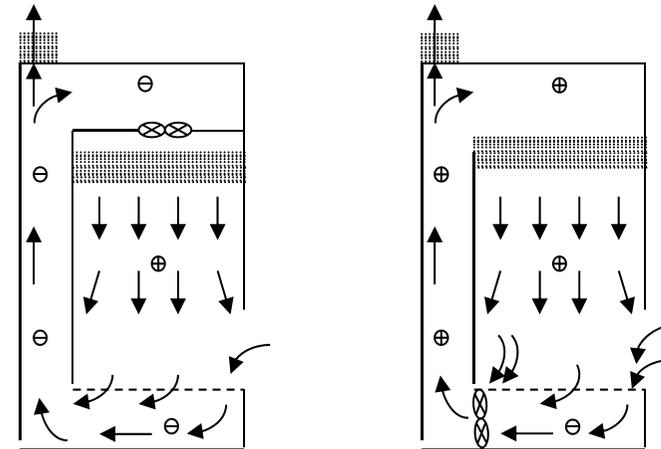
Biblio : [24], [25], [26]  
128

# HOTTE A FLUX LAMINAIRE

Extraction totale

Norme EN 12469  
Filtration > H13

PSM de type II A



Attention aux conditions de mise en œuvre

# BOITE A GANTS

Manipulation de :  
CMR

Métaux facilement oxydables



*Lors d'équipements trop volumineux qui ne peuvent être placés dans une enceinte ventilée, un dispositif de captage des nanomatériaux disposé au plus proche de leur point d'émission doit être mis en place.*

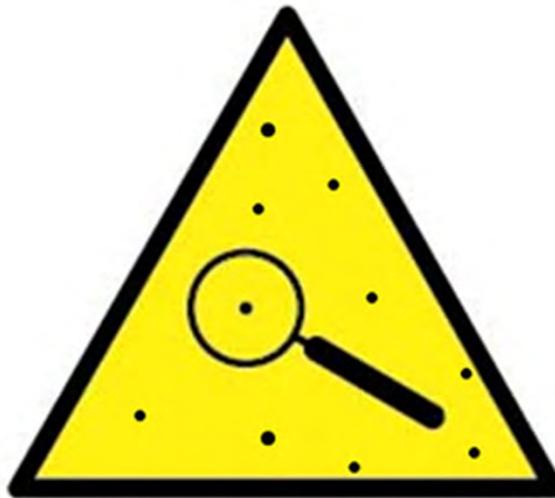
*Ex : hottes de laboratoire, tables aspirantes (plan de travail perforé, dosserets aspirants), buses aspirantes, entonnoirs aspirants, anneaux aspirants, etc.*

*⇒ Filtration avant rejet (HEPA > H13)*



*Des pictogrammes peuvent être apposés sur les postes de travail indiquant par exemple :*

*« Risque d'exposition aux nanomatériaux »*



Risques d'exposition aux nanomatériaux

## Exemples d'opérations à effectuer :

- *le déconditionnement,*
- *la synthèse*
- *la pesée,*
- *l'échantillonnage,*
- *le broyage,*
- *la mise en suspension et le mélange,*
- *le transvasement,*
- *le filtration et le séchage,*
- *le changement de filtres sur un aspirateur...*



# 6. MESURES DE PREVENTION

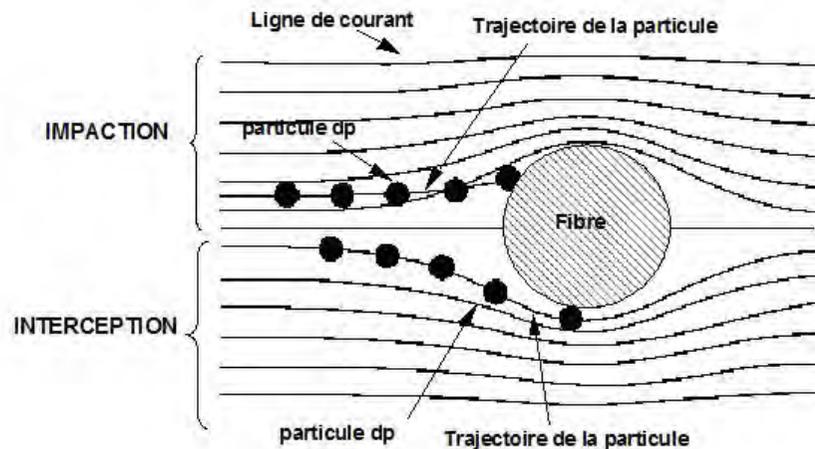
---

## 6.4. La filtration de l'air des locaux

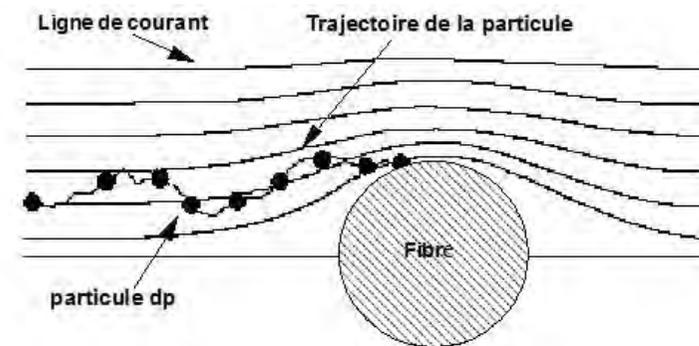


# Impaction – Interception / diffusion Brownienne

***Dans le domaine des particules nanométriques, le mécanisme de collection est la diffusion.***



Collecte des particules par impaction  
( $> 1 \mu\text{m}$ ) et interception ( $> 0,1 \mu\text{m}$ )

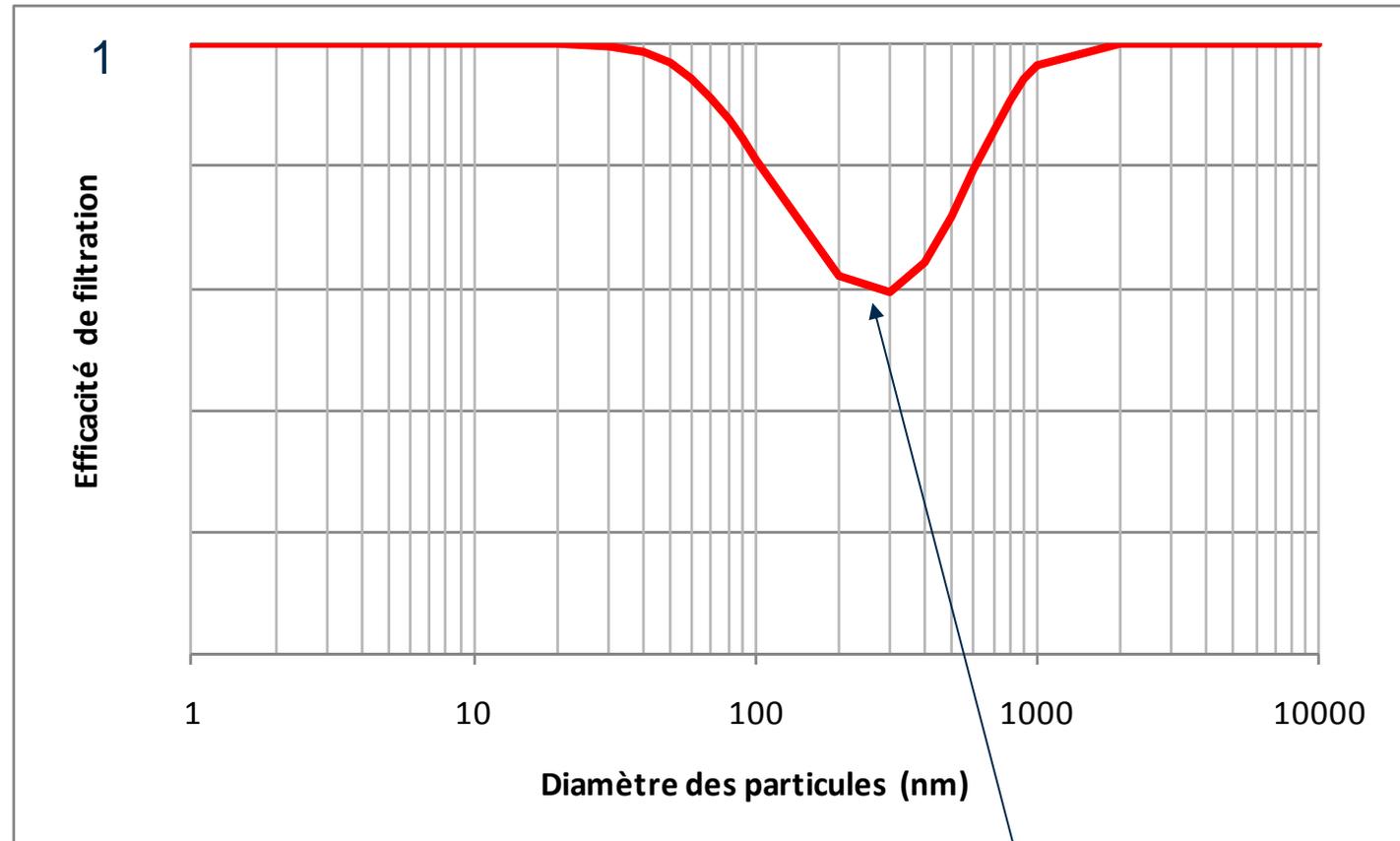


Collecte des particules par diffusion  
Brownienne ( $< 100 \text{ nm}$ )

+ forces coulombienne, polarisation (fibres chargées), image (particule chargée)

## Efficacité d'un filtre à fibres

**augmentation de l'efficacité des filtres à fibres avec la diminution de la taille des particules [28], [29].**



***Efficacité minimale (MPPS).  
Particules trop grosses pour que l'effet de diffusion soit efficace et trop petites pour que les mécanismes d'interception et d'impaction jouent un rôle important.  
Méthode normalisée EN 1822-5 [30]***

Classe de filtre	Valeur intégrale		Valeur locale	
	Efficacité (%)	Pénétration (%)	Efficacité (%)	Pénétration (%)
<b>E 10</b>	<b>85</b>	<b>15</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
<b>E 11</b>	<b>95</b>	<b>5</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
<b>E 12</b>	<b>99,5</b>	<b>0,5</b>	<b>97,5</b>	<b>2,5</b>
<b>H13</b>	<b>99,95</b>	<b>0,05</b>	<b>99,75</b>	<b>0,25</b>
<b>H14</b>	<b>99,995</b>	<b>0,005</b>	<b>99,975</b>	<b>0,025</b>
<b>U15</b>	<b>99,9995</b>	<b>0,0005</b>	<b>99,9975</b>	<b>0,0025</b>
<b>U16</b>	<b>99,99995</b>	<b>0,00005</b>	<b>99,99975</b>	<b>0,00025</b>
<b>U17</b>	<b>99,999995</b>	<b>0,000005</b>	<b>99,9999</b>	<b>0,0001</b>

**Classification des filtres EPA (E 10 à E 12), HEPA (H 13 et H 14) et ULPA (U15 et U17) selon EN 1822-1 [31].**

***Aspirateurs industriels : Norme EN 60335-2-69 s'applique et des dispositifs de classe H***



## 6. MESURES DE PREVENTION

---

### 6.5. Le nettoyage des équipements et des locaux



*Le nettoyage des surfaces, des instruments, des équipements et du mobilier doit être effectué par les opérateurs.*

- *linges humides et/ou d'un aspirateur (HEPA > H 13) dédié et signalé.*
- *Déchets contenant des nanomatériaux*
- *Nettoyer l'aspirateur*
- *Utilisation d'EPI adaptés (ne pas mélanger avec les vêtements de ville ; prévenir l'entreprise de nettoyage le cas échéant)*
- *Hygiène du travail*
- *Lavage des mains, avant-bras ...*



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.6. Le stockage des produits



*Le stockage dans un local central isolé du laboratoire doit toujours être préféré [32] (à proximité immédiate du laboratoire).*

- > identifié ex : « **Risque d'exposition aux nanomatériaux** »*
- > produits étiquetés*
- > accès réservé, fermé en dehors des heures ouvrables*
- > rétention*
- > ventilation mécanique*
- > surfaces facilement nettoyables*
- > produit de nettoyage et de récupération (absorbant...)*
- > EPI à disposition*

*Le stockage tampon peut être réalisé en armoire ventilée.*

*Le conditionnement, le déconditionnement et le fractionnement des nanomatériaux (et notamment des nanopoudres) doivent être effectués dans une enceinte ventilée.*

⇒ Postes de pesée ventilés (ex : Safetech, Skan AG...)



Extraction en dehors des locaux



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## Le transport



*En l'absence d'une réglementation spécifique concernant le transport des nanomatériaux, il convient d'appliquer les règles en vigueur relatives au transport des marchandises dangereuses et de se référer aux réglementations ADR[1] (transport par la route), RID[2] (transport par chemin de fer), IATA[3] (transport par air) et IMDG[4] (transport par mer).*

*Le transport par voie postale de nanomatériaux est interdit.*

*[1] Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route*

*[2] Règlement concernant le transport international ferroviaire de marchandises dangereuses*

*[3] International Air Transport Association*

*[4] International Maritime Transport for Dangerous Goods*



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.7. le traitement des déchets



Les déchets de nanomatériaux doivent être traités comme des déchets dangereux.

> poubelles fermées au plus près des zones de manipulation, dédiées et identifiées

résidus de manipulation, contenants vides souillés, produits et résidus de nettoyage, sac aspirateur, EPI contaminés...

> emballages fermés et identifiés

« Contient des nanomatériaux ».

> entreposage adapté (local dédié..)

Les produits liquides

=> conteneurs étanches et étiquetés.

Les produits solides, les filtres, les EPI jetables, etc.

⇒ sacs en plastique étanches et étiquetés.

Filières d'élimination

⇒ incinérateur (jusqu'à 1000 °C)

⇒ four cimentier (jusqu'à 1850 °C).



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.8. Maintenance - démantèlement



*L'entretien et la maintenance périodiques des équipements et des installations minimisent les risques d'interruptions non planifiées, de dysfonctionnements et de dégagements accidentels (fuites).*

- > programmé
- > accès restreint
- > information des personnels

*Le dépoussiérage et le nettoyage soigneux des équipements et des installations concernés constituent la première étape de l'intervention puis à la fin des opérations.*



# 6. MESURES DE PREVENTION

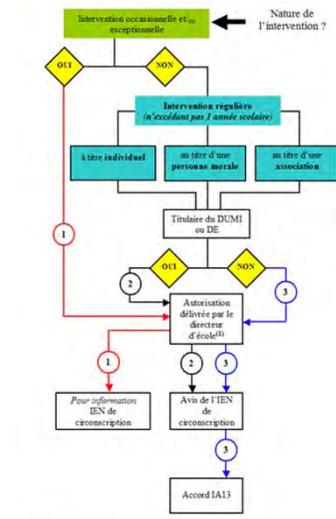
---

## 6.9. Incidents - accidents



# Des procédures d'intervention lors de dégagements (fuites) et de renversements accidentels doivent être rédigées et diffusées auprès des opérateurs.

- **alerter les services de secours**
- **identifier les périmètres affectés par des incidents ou des accidents d'envergures diverses**
- **mettre en place un contrôle de l'accès aux locaux contaminés ;**
- **disposer d'équipements de protection individuelle adaptés**
- **Informers des méthodes de nettoyage**



<sup>1</sup> Tous les renseignements d'ordre administratif doivent être communiqués au directeur d'école pour permettre l'instruction du dossier (cf. fiche délégué)



Répandre sur les liquides renversés une substance inerte absorbante (absorbant du commerce, vermiculite, sable...) traiter les déchets de décontamination comme vous le feriez pour le produit lui-même (protection, règles de stockage...). Les déchets chimiques doivent être triés en vue de leur élimination selon les règles.

*Un registre des incidents et des accidents doit être tenu à jour. Une analyse rigoureuse de chaque incident et accident doit être conduite afin d'éviter qu'il ne se réitère et de prendre le cas échéant des mesures de prévention.*



*Les lieux de travail sont équipés d'un matériel de premiers secours facilement accessible. Des lave-œil et des douches de sécurité seront notamment installés.*





## 6. MESURES DE PREVENTION

---

### 6.10.1. Protection respiratoire

Familles d'appareils de protection :  
INRS ED 780 (2011)

*les filtres de classe 1 marqués P1 ou FFP1  
arrêtent au moins 80 % des aérosols,  
les filtres de classe 2 marqués P2 ou FFP2 qui  
arrêtent au moins 94 % des aérosols  
les filtres de classe 3 marqués P3 ou FFP3 qui  
arrêtent au moins 99,95 % des aérosols.*

### Nanomatériaux => classe 3



> Etanchéité



## 6. MESURES DE PREVENTION

---

### 6.10.2. Protection cutanée et oculaire



*Il est recommandé de porter des vêtements de protection contre les produits chimiques sous forme de particules) en Tyvek® de type 5 (plus efficace que le coton et le polypropylène vis-à-vis des nanoaérosols [38], [39]) à usage unique.*

*NB : manchettes en Tyvek®*

*Des gants étanches (nitrile, vinyle, latex ou néoprène)  
[38], [39], / deux paires de gants*

*Des lunettes équipées de protection latérale*



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## 6.11. Information - formation



*S'informer à l'aide des fiches de données de sécurité des matériaux parents.*

*Les données importantes (granulométrie, la surface spécifique ou encore la morphologie) ne sont pas précisées dans ces fiches.*

*⇒ Contacter le fournisseur.*

- *donner une représentation la plus juste possible des risques*
- *mise en œuvre des EPC*
- *l'utilisation des EPI*
- *les bonnes pratiques de travail,*
- *les procédures de nettoyage et de traitement des déchets,*
- *les mesures d'hygiène ;*
- *les mesures en cas d'incident / accident.*

*Une traçabilité doit être réalisée.*



# 6. MESURES DE PREVENTION

---

## Surveillance médicale



*Il n'existe pas à ce jour de consensus sur le contenu et les modalités de suivi médical des salariés potentiellement exposés aux nanomatériaux [41].*

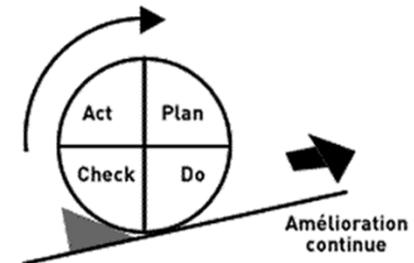
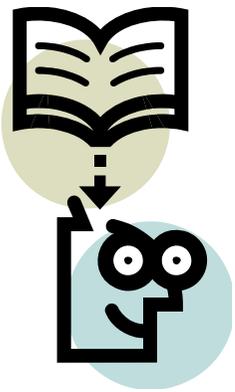
- *détermination de l'aptitude au poste de travail et l'information des salariés sur les risques et les mesures de protection.*
  - *constituer un bilan de référence à l'embauche*
- ⇒ dossier médical individuel des salariés.*
- ⇒ adaptation en fonction des connaissances à venir*



# CONCLUSIONS

---

- *Des connaissances parcellaires*
- *Une réduction de l'exposition au niveau le plus bas possible*
- *Evaluation des risques itérative*
- *Bonnes pratiques de laboratoires rigoureuses (manipulations + nettoyage)*
- *Protections collectives*
- *Protections individuelles*
- *Formation des personnels renouvelée*
- *Maintenance et entretien*
- *Gestion des déchets*





# BIBLIOGRAPHIE

---



[1] [http://www.debatpublic-nano.org/informer/dossier-maitre-ouvrage.html?id\\_document=23&pointer=3](http://www.debatpublic-nano.org/informer/dossier-maitre-ouvrage.html?id_document=23&pointer=3)

[2] ISO TS 80004-1, *Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1 : Core terms* (2010)

[3] ISO TS 27687, *Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects. Nanoparticle, nanofibre and nanoplate* (2008)

[4] ISO TS 80004-3, *Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3 : carbon nano-objets* (2010)

[5] ISO TS 80004-4, *Nanotechnologies – Vocabulary – Part 4 : nanostructured materials* (à paraître)

[6] [http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/recommendation\\_nano.pdf](http://ec.europa.eu/environment/consultations/pdf/recommendation_nano.pdf)

[7] *Les nanoparticules : un enjeu majeur pour la santé au travail ?*, EDP Sciences (2007)

[8] *Les nanomatériaux : définitions risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention*, INRS, ED 6050 (2009)

[9] *Les nanotubes de carbone : quels risques, quelle prévention ?*, INRS, ND 2286 (2008)

[10] *Les effets sur la santé reliés aux nanoparticules*, IRRST, Rapport R-558 (2008)

- [10] *Les effets sur la santé reliés aux nanoparticules*, IRRST, Rapport R-558 (2008)
- [11] WITSCHGER O., *Nanoparticules : quelles possibilités métrologiques pour caractériser l'exposition des personnes ?*, Spectra Analyse N°264 (2008)
- [12] *Particules ultra-fines et santé au travail – Sources et caractérisation de l'exposition*, INRS, ND 2228 (2005)
- [13] A. GROSO et coll., *Management of nanomaterials safety in research environment*, Particle and Fibre Toxicology, 7:40 (2010)
- [14] *Development of a specific control banding tool for nanomaterials*, ANSES (2010)
- [15] Current Intelligence Bulletin : *Evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide*, NIOSH (2011)
- [16] Current Intelligence Bulletin : *Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers*, NIOSH (2013)
- [17] *Nanotechnologies – Part 2 : Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterial*, BSI (2007)
- [18] <http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmassstaebe/index.jsp>, IFA
- [19] *Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse*, IRRST, Rapport R-586 (2008)
- [20] *Les nanomatériaux : risques pour la santé et mesures de prévention*, INRS, ED 6064 (2009)

- [21] Conception des lieux et des situations de travail. Santé et sécurité : démarche, méthodes et connaissances techniques, INRS, ED 950 (2010)
- [22] *La conception des laboratoires de chimie*, INRS, ND 2173 (2002)
- [23] Principes généraux de ventilation, INRS, ED 695 (1989)
- [24] *Sorbonnes de laboratoire, guide pratique de ventilation n°18*, INRS, ED 795 (2009)
- [25] TSAI S.J et coll., *Airborne nanoparticle exposures associated with the manual handling of nanoalumina and nanosilver in fume hoods*, Journal of Nanoparticles Research, 11, pp. 147-161 (2009)
- [26] TSAI S.J et coll., *Airborne nanoparticle exposures while using constant-flow, constant velocity and air curtain isolated fume hoods*, Annals of Occupational Hygiene, 54, pp. 78-87 (2010)
- [27] *Postes de sécurité microbiologique. Poste de sécurité cytotoxique. Choix et utilisation*, INRS, ND 2201 (2003)
- [28] *Filtration des nanoparticules : un problème de taille ?*, INRS, ND 2288 (2008)
- [29] THOMAS D., *Etude de la filtration des aérosols par des filtres à fibres*, Habilitation à Dirigée des Recherches, Spécialité Génie des Procédés, Université Henri Poincaré (2001)
- [30] NF EN 1822-5, *Filtres à air à haute efficacité (EPA, HEPA et ULPA) – Partie 5 : mesure de l'efficacité de l'élément filtrant* (2010)

- [31] NF EN 1822-1, *Filtres à air à haute efficacité (EPA , HEPA et ULPA) – Partie 1 : classification, essais de performance et marquage* (2010)
- [32] *Le stockage des produits en laboratoire*, INRS, ED 6015 (2007)
- [33] *Les appareils de protection respiratoire, choix et utilisation*, INRS, ED 780 (2011)
- [34] NF EN 143 et NF EN 143/A1, *Appareils de protection respiratoire – Filtres à particules – Exigences, essais, marquage* (2000 et 2006)
- [35] NF EN 149 + A1, *Appareils de protection respiratoire – Demi-masques filtrants contre les particules – Exigences, essais, marquage* (2009)
- [36] NF EN 12942, *Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrants à ventilation assistée avec masques complets, demi-masques ou quarts de masques – Exigences, essais, marquage* (1998)
- [37] NF EN 12941, *Appareils de protection respiratoire – Appareils filtrants à ventilation assistée avec casques ou cagoules – Exigences, essais, marquage* (1998)
- [38] L. GOLANSKI et coll., *Experimental evaluation of personal protective devices against graphite nanoaerosols : fibrous filter media, masks, protective clothing and gloves*, Human & Experimental Toxicology, 28, pp. 353-359 (2009)

[39] L. GOLANSKI et coll., *Experimental evaluation of individual protection devices against different types of nanoaerosols : graphite, TiO<sub>2</sub> and Pt*, Journal of Nanoparticles Research, 12, pp. 83-89 (2010)

[40] *Fiche de données de sécurité : guide pour les nanomatériaux synthétiques*, SECO, ABCH (2010)

[41] *Surveillance médicale des travailleurs exposés à des nanomatériaux. Les enseignements du congrès de Keystone*, INRS, DMT 124, TP 11 (2010)



# Contact



**Damien MONCOQ**  
Chargé de Mission CNRS  
Nanomatériaux et prévention des risques

CNRS - Délégation Centre Limousin Poitou-Charentes

[Damien.Moncoq@dr8.cnrs.fr](mailto:Damien.Moncoq@dr8.cnrs.fr)

Tél : 02 38 25 52 46