

NANOPARTICULES DANS LES PRODUITS DE LA VIE QUOTIDIENNE. L'EXEMPLE DU NANOARGENT.

Nicole PROUST : Ingénieur de Recherches. Consultante.

Expertise dans les domaines santé, toxicologie et environnement.

Membre ATC (Association Toxicologie Chimie).

Membre CNanoS.



1. Introduction au nanomonde.
2. Produits manufacturés disponibles sur le marché.
(Les inventaires : US, Europe, France).
3. Toxicologie, quelques mots d'introduction.
4. Voies d'exposition aux nanoparticules. Que sait-on de la toxicité?
5. Le nanoargent, son histoire, ses applications, sa toxicité.
6. Conclusion : des bénéfices aux risques.

1- Introduction. Nanomonde et dimensions.



1 nanomètre (nm) = 1 millionième de millimètre.
1 nm = 0,001 micromètre = 10^{-6} millimètre.

Nanomonde et dimensions : du macroscopique à l'infiniment petit.

1 millimètre = 1 000 000 nm.

1 nanomètre (nm) = 1 millionième de millimètre.

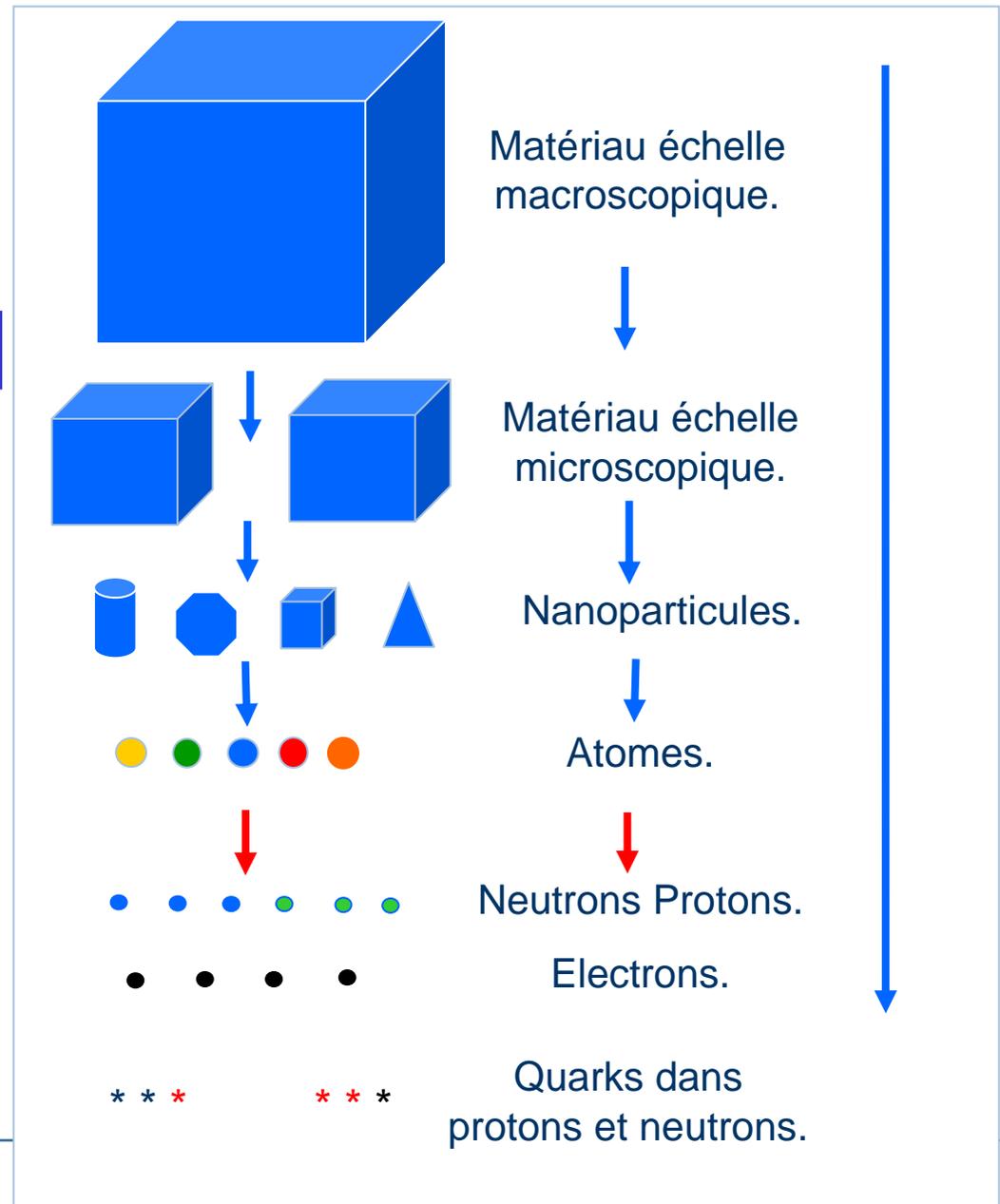
1 micromètre = 1 000 nm.

1, 2 ou 3 dimensions de 1 à 100 nm.

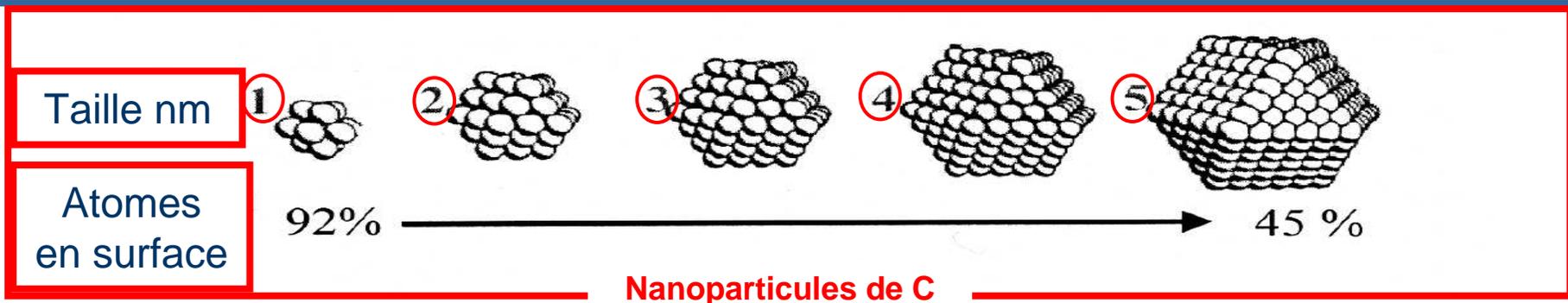
Atomes de 0,1 à 0,4 nm.

Taille du proton, neutron ~
1millionième de nanomètre.

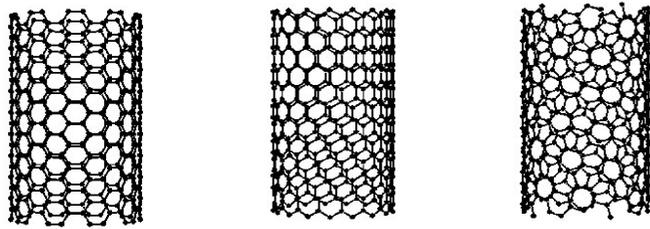
Neutrons et protons sont dans le noyau
atomique, ils contiennent chacun 3 quarks.



Carbone : Nanoparticules, Nanotube (NTC) et Fullerènes.

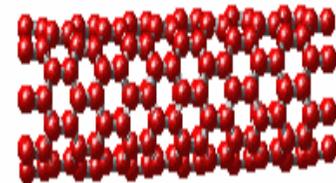


Diamètre (nm)	5	10	100	500	
Surface spécifique (m ² /g)	300	150	15	3	

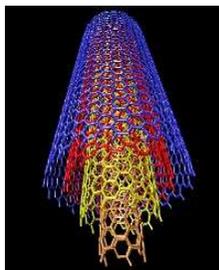


Dans le nanomonde les phénomènes de surface sont prépondérants et très différents de ceux du monde macroscopique.

NTC mono-paroi 3 arrangements différents.



NTC multi-parois



Fullerènes



1- Introduction. Nanoparticules naturelles et artificielles.

Partout et Beaucoup (~ 60 millions de tonnes /an).

Sources naturelles : volcans, aérosols marins, érosion éolienne, feux de forêts, combustion matières organiques, pollens...

Sources anthropiques (activités humaines, émissions non volontaires) : fumées industrielles, domestiques (cuisine, four, cuisson, imprimante laser, aspirateur, encens, aérosols...), échappement moteurs diesels, émissions métallurgiques, minoteries, ateliers de soudage, métallurgie (fonderies)...

Air ambiant : A la campagne ~10 000 nanos par cm³ d'air.

Paris sur le périphérique ~ 120 000/cm³. A l'aéroport ~ 700 000/cm³.

Respiration : ~10 millions de nanoparticules/inhalation de 500 cm³.

La plupart acceptées par les organismes vivants depuis toujours mais attention **aux nanoparticules synthétisées par l'Homme**.

Nanoparticules artificielles

Préparées par l'Homme avec matériaux particuliers (mimer le vivant naturel) Spécifiques avec propriétés physico-chimiques, chimiques, électriques, optiques... particulières.

Température fusion Or : 1064°C (massif), 900°C (nano s de 5 nm), 500°C (nanos de 2 nm).

Donc "Attention" propriétés très différentes des matériaux macrométriques de même nature!

Nanoparticules naturelles non intentionnelles.



World Trade Center
11 septembre 2001
=> 0,5 tonne de
nanoparticules dans
l'atmosphère.



Mimer la nature : les animaux, les plantes...

1- Effet feuille de Lotus.

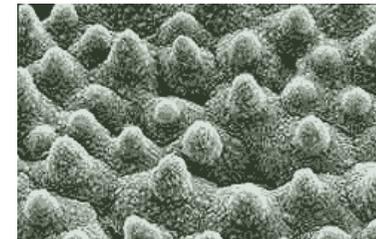
La feuille de lotus **jamais mouillée et toujours propre**

car **motifs en relief de taille nanométrique** (= planche à clous)

⇒ gouttes d'eau restent sphériques, roulent sur la feuille emportant les saletés.

Idem pour feuille de chou, de capucine, de tulipe...libellule, papillon...

Applications : surfaces auto-nettoyantes (vitres, béton...)...peintures...vêtements.

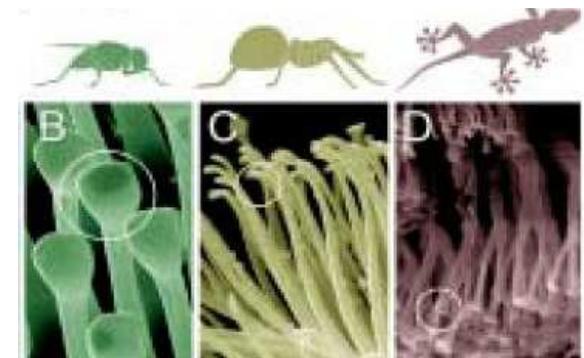
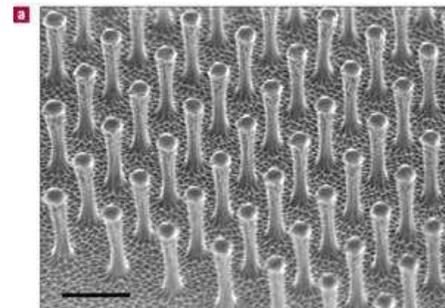


2- Effet Geyko.

Geyko = **petit lézard se colle sur toutes surfaces lisses.**

Doigts **des pattes recouverts de nano-poils** => **adhésion ventouse (forces de Van der Waals)** ~14 000 poils de 5 μm de diamètre/mm² **se terminent par des fibres de 200 nm**

Applications : robots tous terrains, spatial, militaire...



mouche

araignée

geyko

Mimer la nature : les animaux, les plantes...

3- Effet Papillon : Morphos bleus (bleu électrique)

Structure en écailles avec lamelles nanométriques
= miroir à facettes => interférences lumineuses,

couleurs flamboyantes.

Idem pour coléoptères (cétoines...), oiseaux (paon et autres), poissons...

Applications : cosmétiques (pour ne plus utiliser pigments chimiques).



4-Toile d'araignée :

fil très solide (5 fois + résistant que acier), très léger ($1,3 \text{ g/cm}^3$),
étirable. 15 à 20 fils élémentaires enchevêtrés de 50 nm.

Applications : militaire (gilets pare-balles légers, remplacer Kevlar).

Fils chirurgicaux. Cordes.

Modification génétique : chèvres pour avoir protéine de soie sécrétée par l'araignée dans le lait,
vers à soie. Fibre nouvelle : BioSteel (Nexia Biotechnologies).



5- Nacre des coquillages : nanostructure qui évite les fissures (feuillets d'aragonite et
protéine). Nacre est 3000 fois plus résistance que aragonite (carbonate de Ca).

Moules, huitres, escargots, nautilus...

6- Plantes carnivores : couche de cire avec nanocristaux = piège pour les
insectes qui ne peuvent pas ressortir, ils glissent et se noient dans les sucs digestifs.





Avant JC : Chinois, Egyptiens (couleurs).

Après JC

IV siècle : Coupe romaine de Lycurgus (British Muséum Londres).

Coupe verte (a)

(si éclairée de l'extérieur).

ou coupe rouge (b)

(si éclairée de l'intérieur).

particules de 50 nm

(70 % Ag + 30 % Au).

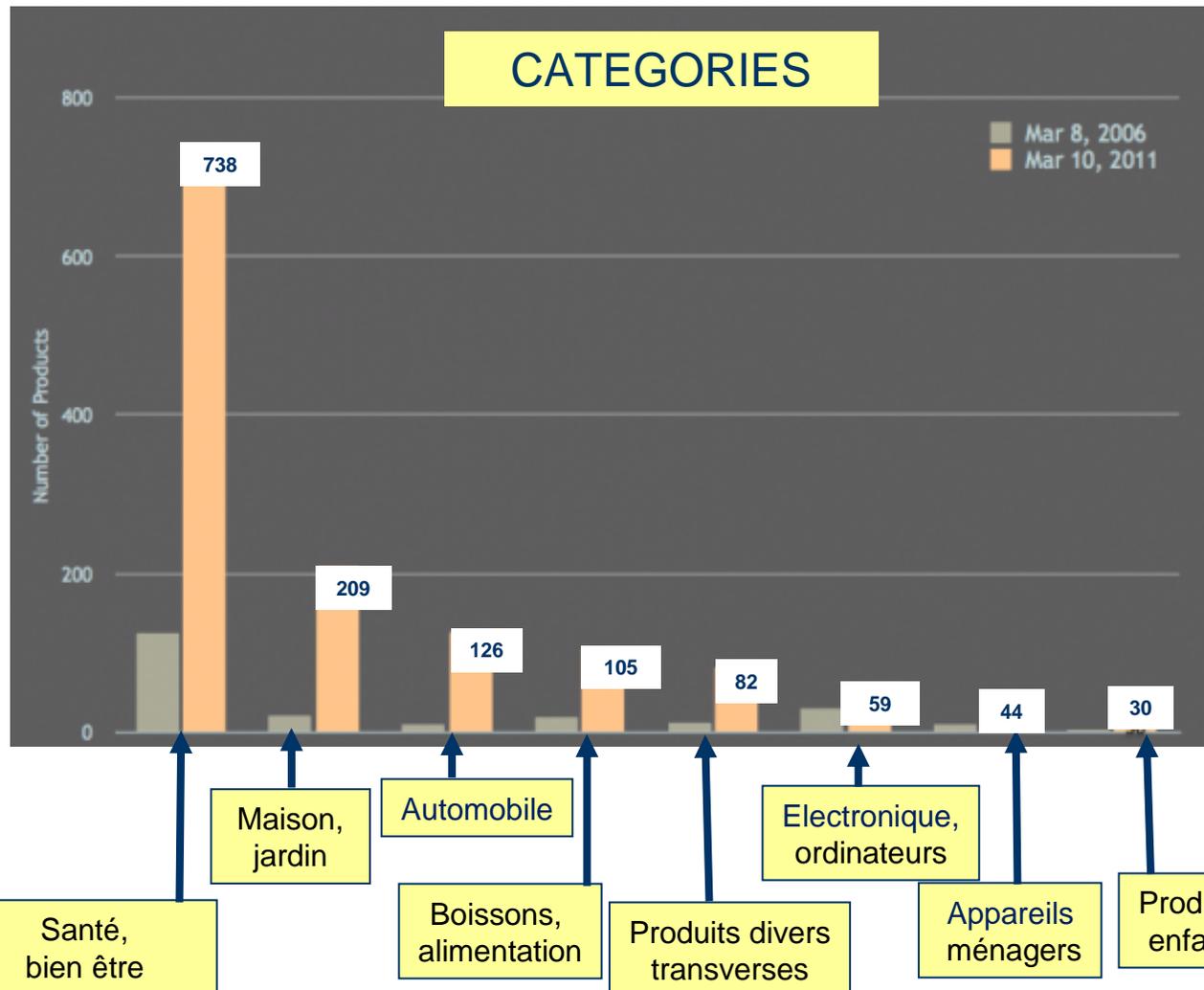


IX siècle : **céramiques lustrées, poteries** (sels Ag et Cu chauffés en atmosphère réductrice à $T < 600^{\circ}\text{C}$ \Rightarrow nanos sans le savoir).

2- Inventaires. Nanotechproject.org/inventories/consumer/ du Woodrow Wilson Center USA.

En 2011, 1317 produits répertoriés dans le monde (En 2006, 356 produits).
587 américains, **363 européens**, 267 asiatiques.

Nombre de produits par catégorie en 2011 en rose, en 2006 en gris.



Santé, bien être : 738

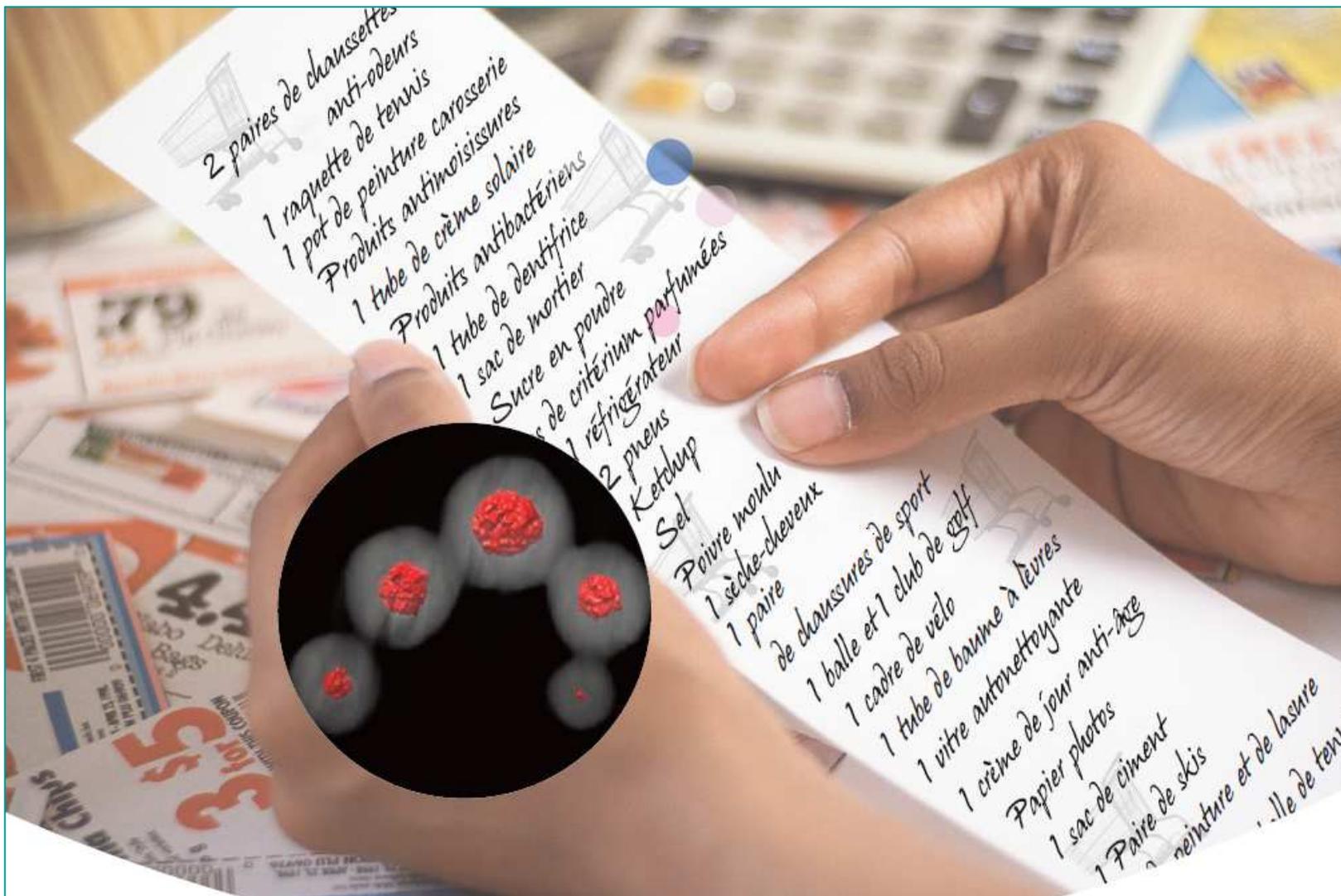
soins à la personne,
vêtements,
cosmétiques,
produits de sport.

Maison jardin : 209

Automobile : 126

Boissons alimentation : 105

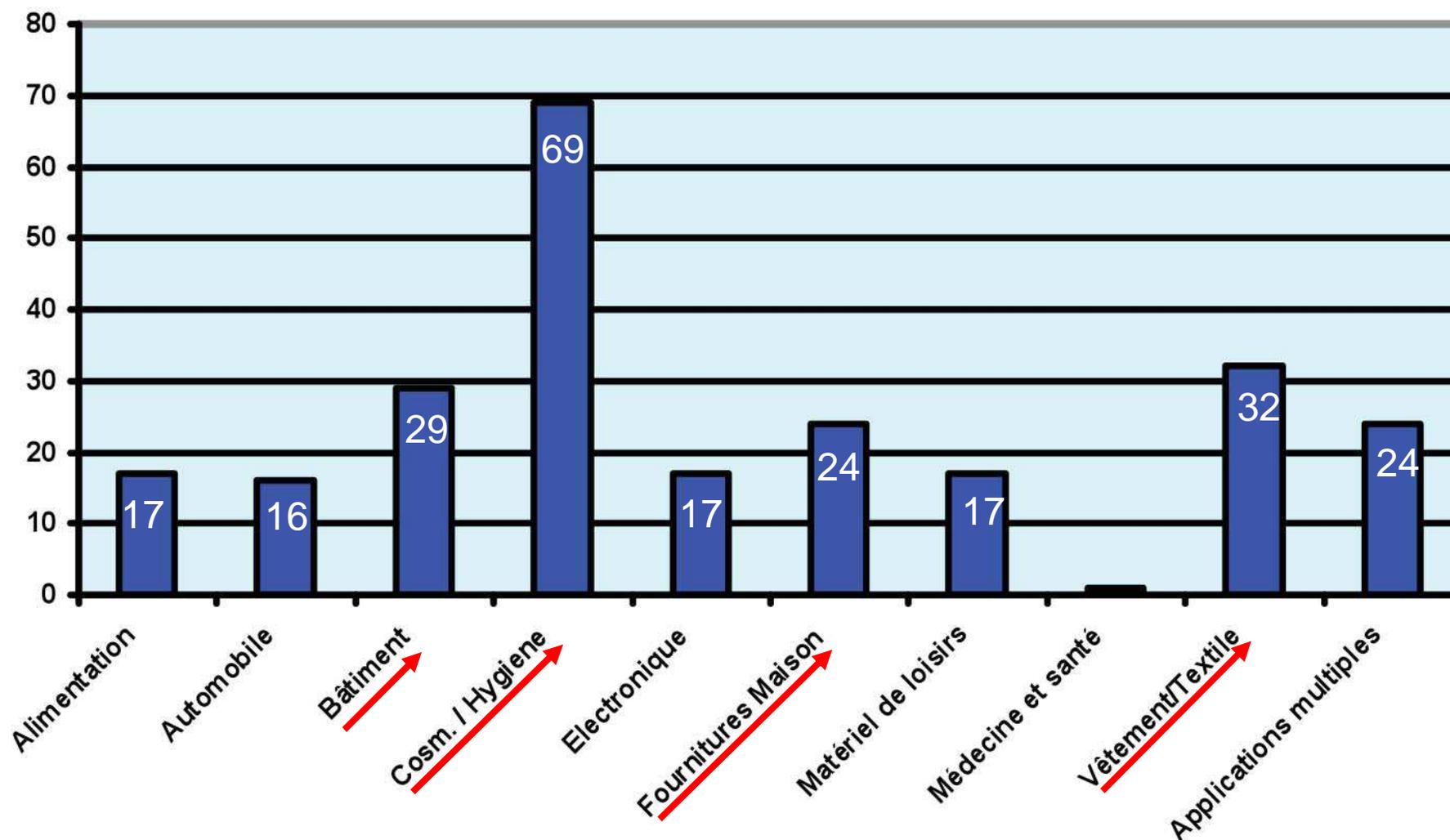
2- Inventaires. 246 produits finis disponibles sur le marché français en 2008.



Rapport AFSSET « Nanomatériaux et exposition du consommateur » Mars 2010.

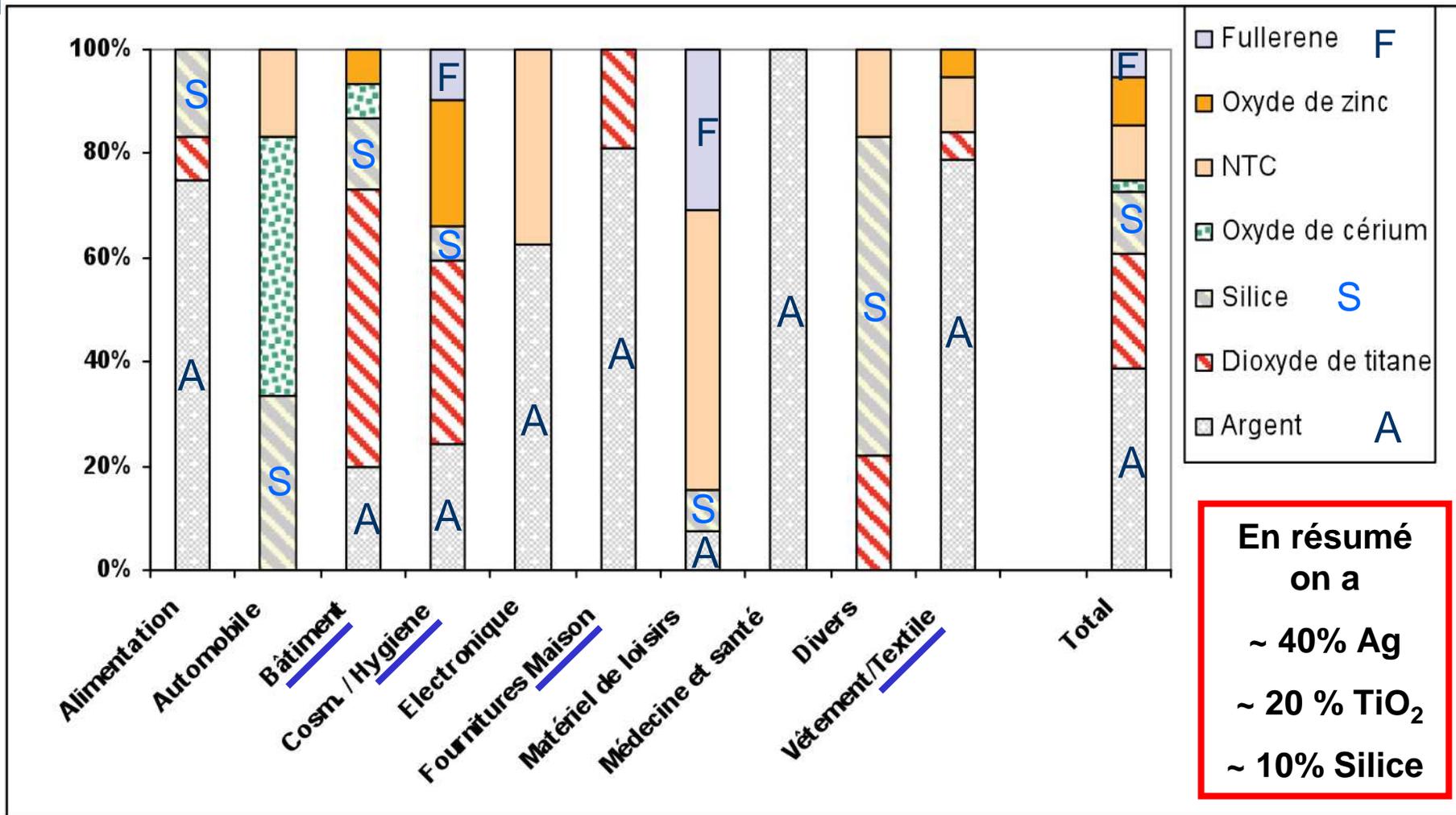
Produits finis par domaine application (marché français, 2008).

Inventaire non exhaustif.



Afsset RAPPORT « Nanomatériaux et exposition du consommateur » Mars 2010.

7 nanomatériaux prépondérants sur le marché français, 2008.



Distribution de la nature chimique du nanomatériau en fonction des domaines d'application.

Afsset RAPPORT « Nanomatériaux et exposition du consommateur » Mars 2010.

Risques pour Homme et Environnement?

1- Produit A : chaussettes antibactériennes avec **nanoparticules d'argent** (Homme, exposition cutanée).



2- Produit B : ciment avec nanoparticules de **dioxyde de titane** autonettoyant (Homme, exposition respiratoire).

Exemples : maison de la musique Chambéry 2003 (ciments Calcia) Hôtel police Bordeaux 2003. AF Headquarters Roissy 2006 (Italcementi)...

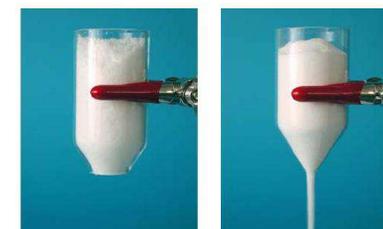


3- Produit C : lait solaire avec nanoparticules de **dioxyde de titane** (Homme, exposition cutanée).



4- Produit D : ingrédient **silice** (Homme, exposition orale).

Additif antiagglomérant E551 : sel, poivre, paprika, oignon, ail, cacao, sucre, potages, boissons, tomate... en poudre.



**Pas possible d'estimer correctement le risque associé.
Ce risque ne peut donc pas théoriquement être exclu.**

Réticence des industriels à communiquer.

Les « nanos » ont-elles investi notre quotidien?

En Europe inventaire ANEC/BEUC (agences européennes consommateurs).

En 2010 ~ 475 produits disponibles (1/2 produits inventaire USA).

En 2009 ~ 151 produits.

**Peintures, vernis, lasure,
laque...**

Peuvent contenir les nano-
matériaux suivants :

Dioxyde de titane TiO_2

Silice SiO_2

Céramiques.

Anti-abrasion.

Anti-rayures.

Protection UV.

Dentifrices.

Peuvent contenir les nano-matériaux suivants :
Dioxyde de titane TiO_2 (blancheur de la pâte).

Silice SiO_2 (abrasion).

Phosphate de Calcium (comble les fissures).

Peroxyde de Calcium (désinfecte et blanchit).

ou Nanoargent (antibactérien).

Nanos dans la vie quotidienne. Crèmes solaires.

Cosmétiques. Crèmes solaires.

Peuvent contenir les nano-matériaux suivants :
Dioxyde de titane TiO_2 Oxyde de zinc ZnO ...
Protection contre UV A et UV B.

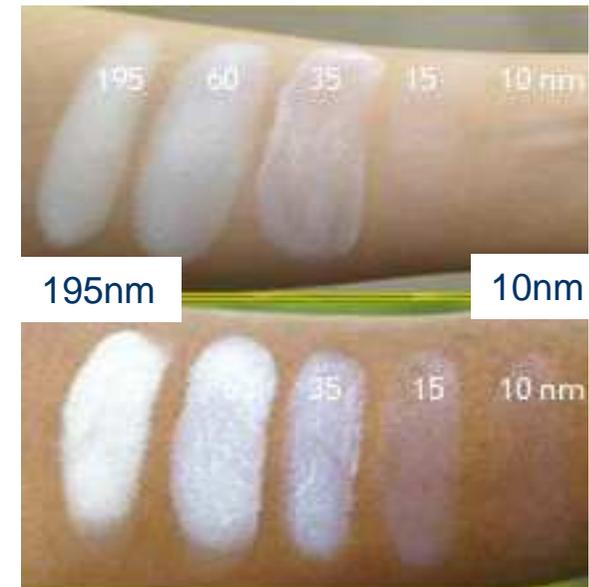
Tenue à l'eau : en séchant agglomération des nanos en réseau de nanos-plots (lotus).

Particules de 195 nm => crème blanche.

Les nanos de dioxyde de titane de 195 nm réfléchissent la lumière visible et la diffusent dans toutes les directions => peau blanche.

Particules de 10 nm => crème transparente.

Si on diminue la taille des nanos de dioxyde de titane, leurs propriétés optiques changent. Film de crème devient transparent.



Crème solaire sur 2 types de peaux.

AFSSET : oxyde de titane et crèmes solaires.

Tableau 9 : Caractéristiques des nanoparticules industrielles présentes dans la crème solaire (d'après www.tayca.co.jp)

Le producteur achète à un fournisseur des **nanoparticules de dioxyde de titane** prêtes à l'emploi :

- **enrobées d'hydroxyde d'aluminium** pour limiter effets photocatalytiques,

- **fonctionnalisées par de l'acide stéarique** pour les disperser dans la crème.

Rapport AFSSET « Nanomatériaux et exposition du consommateur ».
Mars 2010.

Produit C : TiO₂ dans crèmes solaires.

Type de nanoparticules	Oxyde de titane (TiO ₂) enrobé et fonctionnalisé
Masse du produit industriel dans la crème solaire	10%
Phase cristalline	100% rutile
Taille des cristallites primaires	18 nm (distribution à 50% : 9 - 24 nm)
Agrégats	Bâtonnets de 70 à 150 nm d'après photo TEM
Enrobage	Hydroxyde d'aluminium (Al(OH) ₃)
Fonctionnalisation	Acide stéarique (CH ₃ -[CH ₂] ₁₆ -COOH)
Composition massique du produit industriel :	
TiO ₂	83%
Al(OH) ₃	9%
CH ₃ -[CH ₂] ₁₆ -COOH	8%
Porosité	Inconnue





Crèmes hydratantes. Crèmes anti-rides.

Liposomes (vésicule biodégradable avec double couche de phospholipides et d'un compartiment aqueux, 100 à 300nm) pour principes actifs : vitamines C,E, autres.

Fond de teint « spécial effet lissant ».

Oxyde de zinc (ZnO) et Silice (capture enzymes qui dessèchent la peau).

Nanos dans la vie quotidienne : alimentaire.

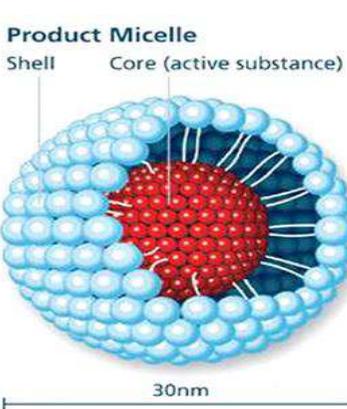
Silice anti agglomérant (E 551). (Nanos silice de 50-300 nm : Evonica Dégussa).
Sous forme nanoparticules depuis quand? Silice amorphe.
Dans produits en poudre... Préoccupation AFSSA 2009, AFSSET 2010.

Dioxyde de titane (E 171).

Sous forme nanoparticules? Brevets déposés en 1998.
Sur certains bonbons et confiseries (conservation et brillant). Blancheur biscuits et gâteaux. Blancheur papier emballage alimentaire.

Lycopène (E 160d) extrait de tomates (colorant) mais aussi antioxydant (lycopène est un caroténoïde)

Sous forme nanoparticules? Préoccupation AFSSA 2009



Pour arômes ou molécules fragiles transport sous forme de micelles, nanocapsules, « nanotransporteurs spécifiques » (lycopène, B-carotène, phytostérols ...)

Nanocapsule de 100 à 300 nm, nanoparticule « réservoir » en polymère biodégradable.

Obligation de déclaration à faire par les industriels utilisateurs à ce jour?
Particules nanométriques forment des agrégats de taille micrométrique

Nanos dans la vie quotidienne : quelques exemples (ANEC 2012).

Matériaux en contact avec denrées alimentaires (Ag antimicrobien).

Revêtements de frigidaire.

Emballages
(films, boîtes...).

Planche à découper.



Lettuce leaf freshness test



PP film with nanosilver



PP film with without nanosilver

After 5 days



Electroménager et autres appareils domestiques (Ag antimicrobien).

Aspirateur Samsung. Machine à laver Samsung. Frigidaire Daewoo, Sharp.

Sèche cheveux. Fer à friser...

Ordinateur (clavier) Samsung,

Micros Sony.



Nanos dans la vie quotidienne : quelques exemples (ANEC 2012).



NANOTEXTILES.

Vêtements antibactériens (nanoargent, argent colloïdal, cation argent, ...).

Chaussettes,
Sous-vêtements, pantalons, T shirt...
Vêtements de sport...



Vêtements, chaussures, accessoires imperméables, anti-taches, anti-feu...

Textiles ignifuges, hydrofuges, autonettoyants (nanopoudres céramiques ou nanocomposites fibres-polymères entrant dans composition des apprêts).

Fibres des nanotextiles peuvent diffuser des parfums (draps, sous-vêtements... avec nanocapsules contenant des huiles essentielles, des produits parfumés...).

Tissus anti-taches : ameublement (canapés...), habitacles automobile, bateau, avion, (moquette, sièges ...), nappes...

Nanos dans la vie quotidienne : quelques exemples.

Produits ménagers.

- *Entretien cuirs, chaussures (Bama).
- *Produits pour imperméabiliser (Kiwi).



Pharmacie (Ag antimicrobien).

- *Pansements HEDO + secours.



- * Produits personnels de la présentatrice.



Ameublement en 2012. Revêtements sur bois, verre, tissus. Colles...

TABLEAU 2 Nanomatériaux dominant les nanoproducts utilisés dans l'industrie de l'ameublement en 2012

Apport au produit →	Résistance aux éraflures	Facile à nettoyer	Anti-graffitis	Stabilité Lumière/UV	Propriétés autonettoyantes	Bactéricide
Nanomatériau						
SiO ₂	X	X	X			
TiO ₂ /ZnO				X	X	X
CeO ₂				X		
Ag						X
CuO						X

Les plus utilisés sont silice, dioxyde de titane et argent.

Nanos dans la vie quotidienne : quelques autres exemples.

Pneumatiques.

Nanoparticules de noir de carbone (100 à 500 nm) depuis 1910. Brevet en 1905 par Firestone. **Depuis 20 ans, silice amorphe (nano grains de 50 à 300 nm) pour diminution des frottements et pour consommation d'essence réduite (Michelin Rhodia)** => « pneus verts » Energy Saver de Michelin.

Meilleur freinage, durée de vie plus longue, moins de CO₂.

Production industrielle de nanoparticules noir de carbone la plus importante de toutes.

Chaussées.

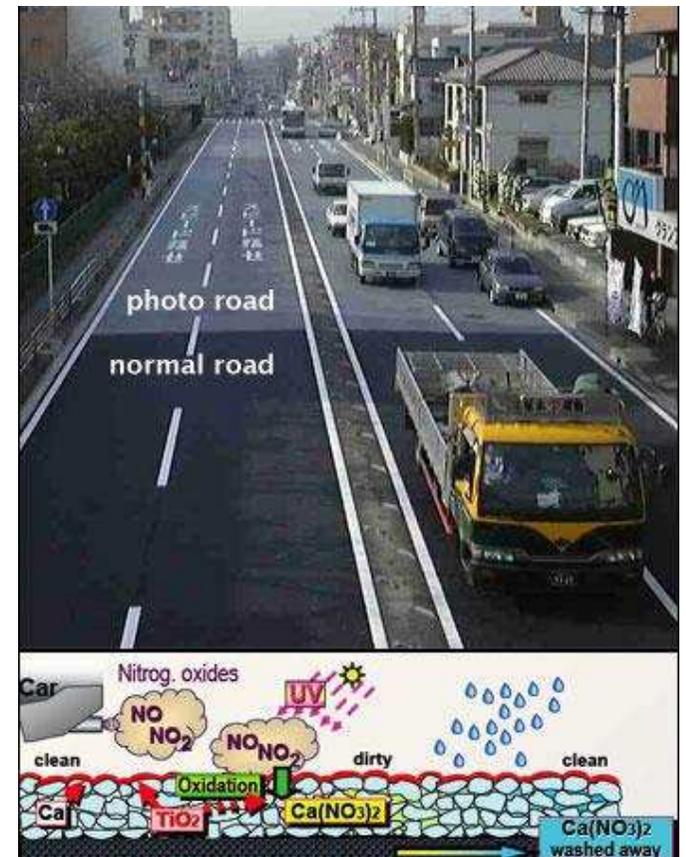
Les revêtements de route dépolluants : **dioxyde de titane catalyseur pour traitement des NO et NO₂ des gaz d'échappement voitures.**

La réaction produit du Ca(NO₃)₂ qui est emporté par l'eau de pluie.

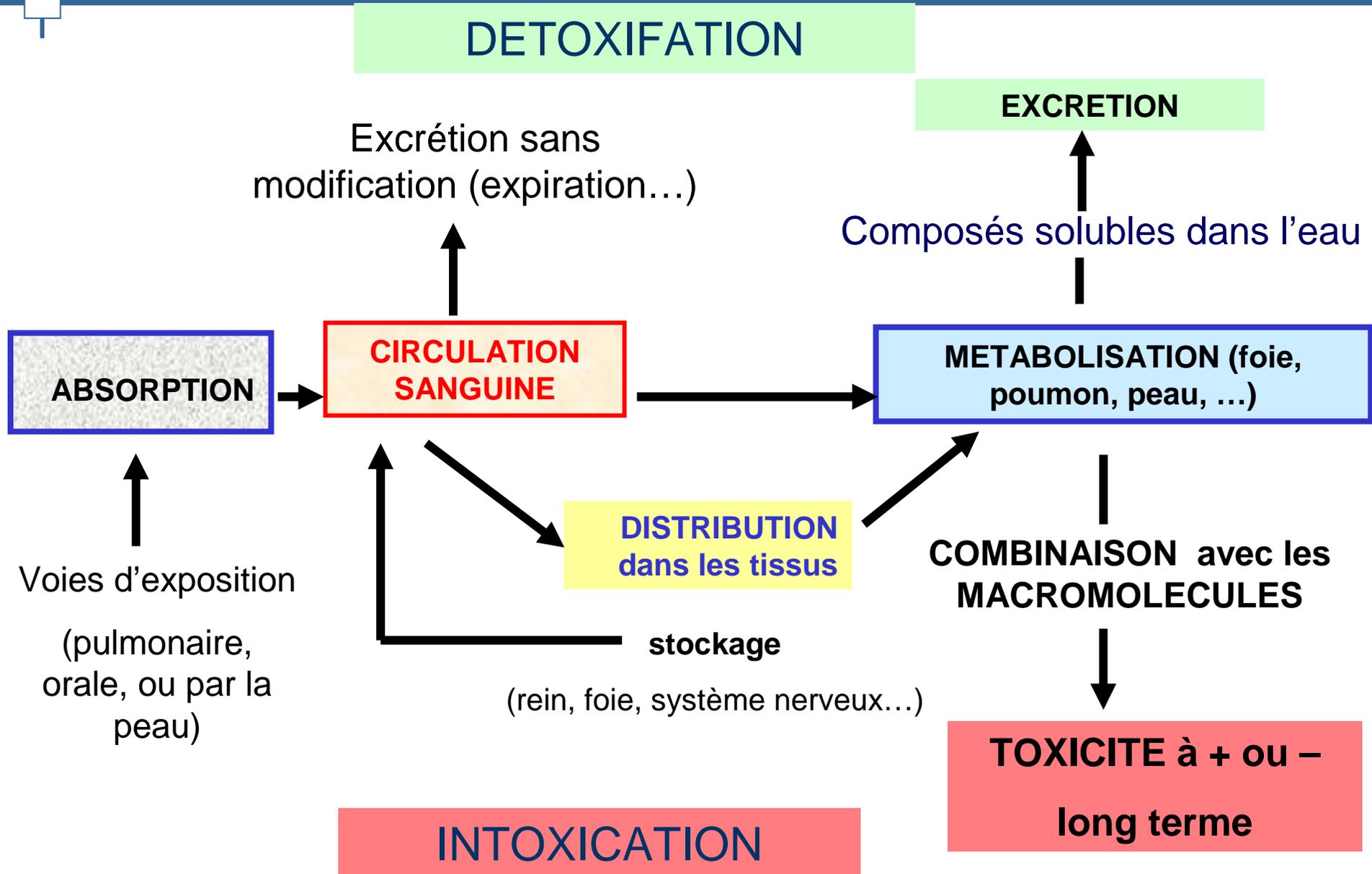
Tunnels ou chaussées. Expériences réalisées en Suisse.

Urbanisme.

Vitres (**verre anti-salissures**) autonettoyantes (Nanogate).



3. Toxicologie. Exposition, métabolisation, excrétion, intoxication.

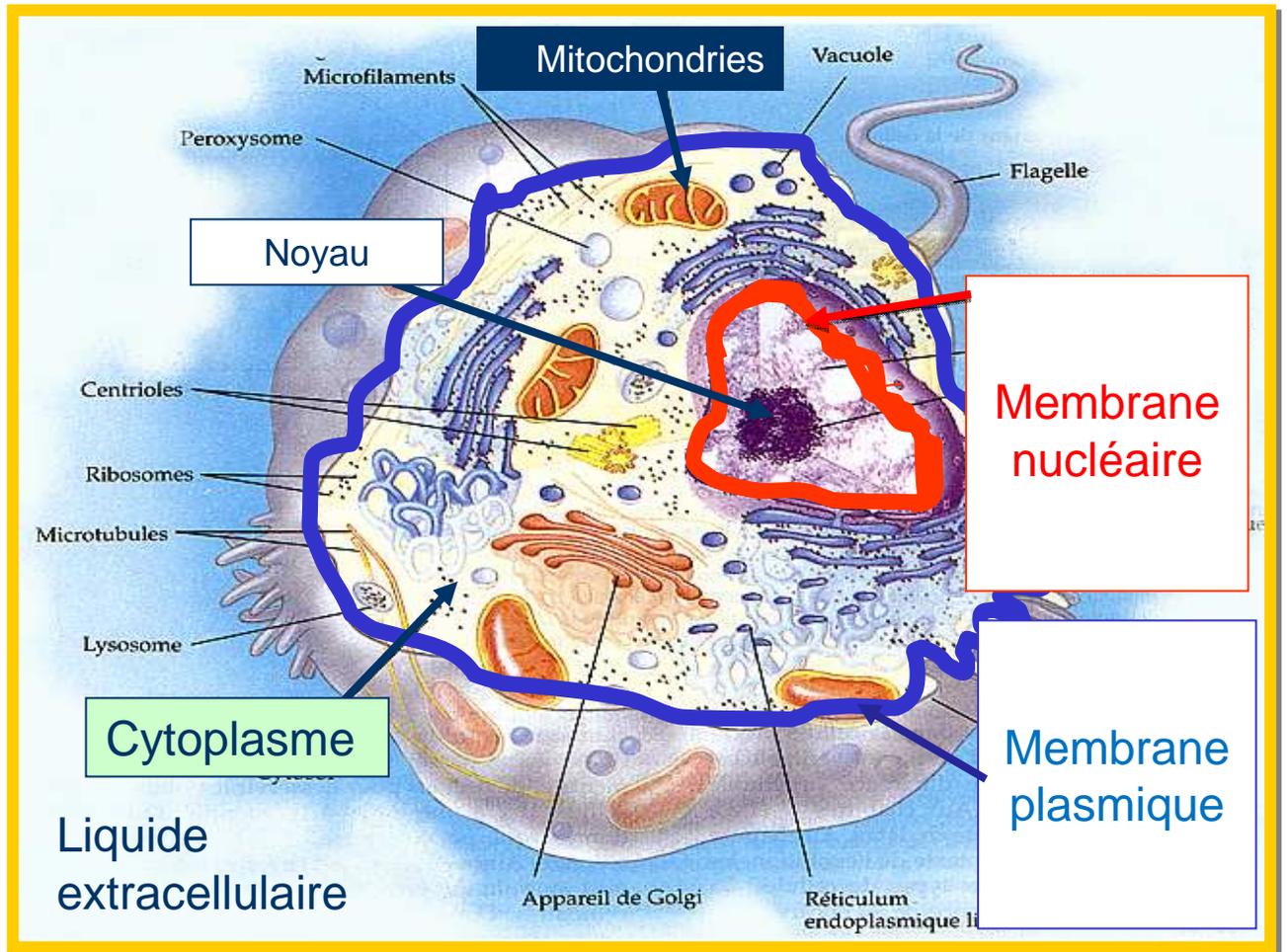


Cellules biologiques et leurs membranes.

Taille et forme des cellules sont variables.

Taille de l'ordre de **quelques microns**.

1 micron ou micromètre = 1000 nanomètres.



Quelques microns μm

Cellules biologiques et leurs membranes.

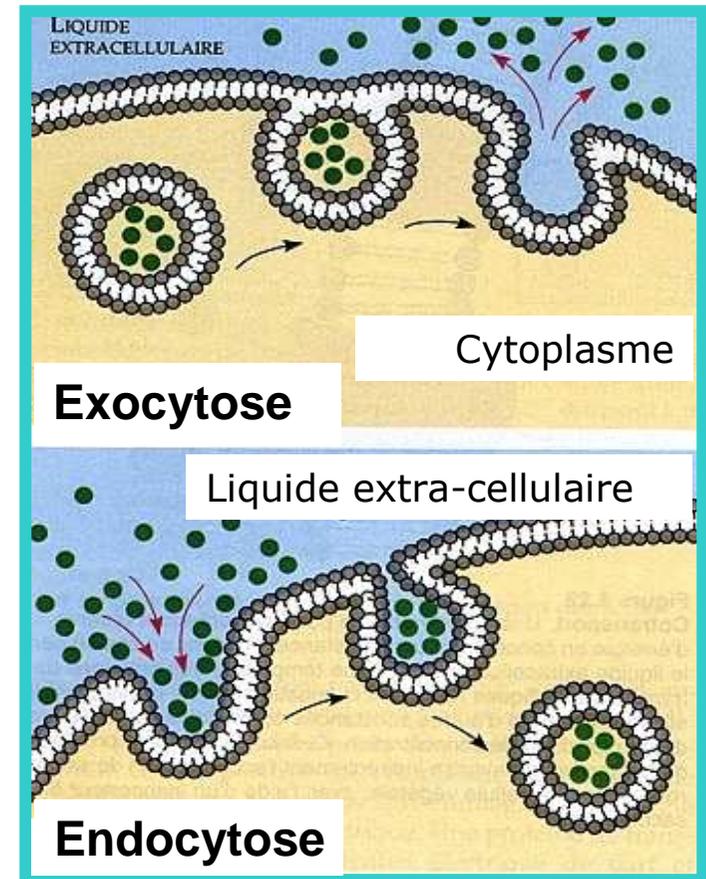
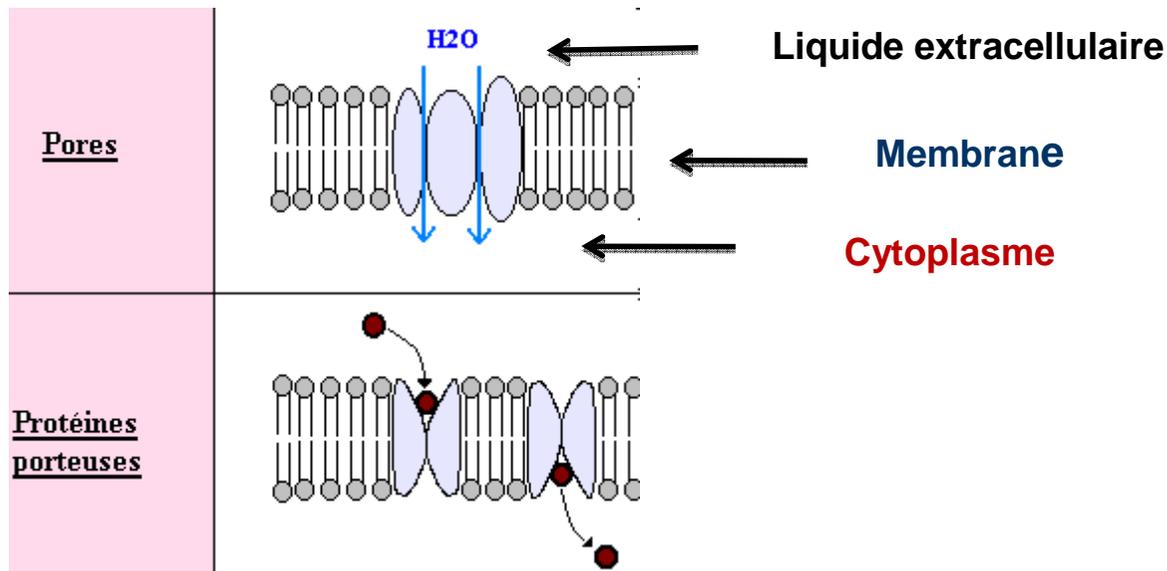
Membranes des cellules semiperméables (pores, canaux ioniques, protéines de transport...)

3 modes d'entrée/sortie dans les cellules.

1- **Diffusion simple** si gradient de concentration.
Pas besoin d'énergie.

2- **Diffusion assistée** par protéines de transport.

3 - **Transport actif avec consommation d'énergie**,
contre gradient de concentration.





Pénétration possible dans le corps par les 3 portes d'entrée :

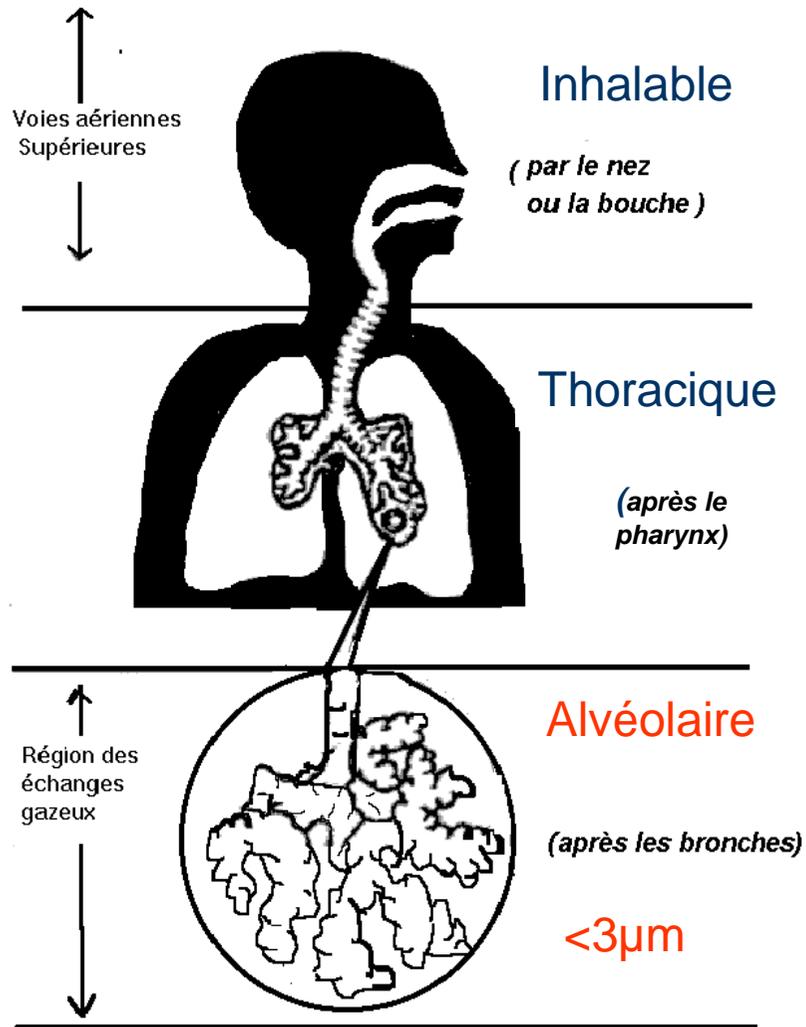
appareil respiratoire, peau, appareil digestif.

Toxicité dépend de plusieurs paramètres.

- Taille (petite,...).
- **Forme** (type fibre...).
- Composition.
- Solubilité (insoluble, soluble dans l'eau, dans les lipides).
- **Reactivité** (réactivité de surface est très importante car la surface est grande, matériau amorphe ou non).
- Bio-disponibilité.

Exposition par l'appareil respiratoire.

Les 3 zones



Les nanoparticules

- se déposent principalement dans le nez, remontent le nerf olfactif et peuvent aller au cerveau,

- se déposent aussi **partout dans le système respiratoire** jusqu'au fond des alvéoles pulmonaires (comme les gaz),

- peuvent aussi remonter dans bouche par tapis mucociliaire (= escalator) => ingestion.

=> Certaines vont aller **dans la circulation sanguine.**

=> Transfert dans les organes : foie, reins, coeur, cerveau...

Eviter l'usage des aérosols pour se protéger.



Exposition : les travailleurs sont principalement concernés.

Les Nanotubes NTC mono paroi (SWNTC) semblent rester dans les alvéoles pulmonaires,

=> **agrégats encapsulés** par tissu épithélial,

=> **fibrose** (Niosh 2006, Castranova 2009),

=> **potentiel inflammatoire** dépend des impuretés minérales piégées sur les NTC (2007).

=> Quand les NTC ont géométrie identique ou voisine d'une fibre → DANGER.
Question : peut-on craindre un problème identique à amiante? (abstestos)
(Etude publiée en 2008).

Zhao et Liu (2012). Eviter exposition nanotubes, nanofibres...

Exposition par la peau.

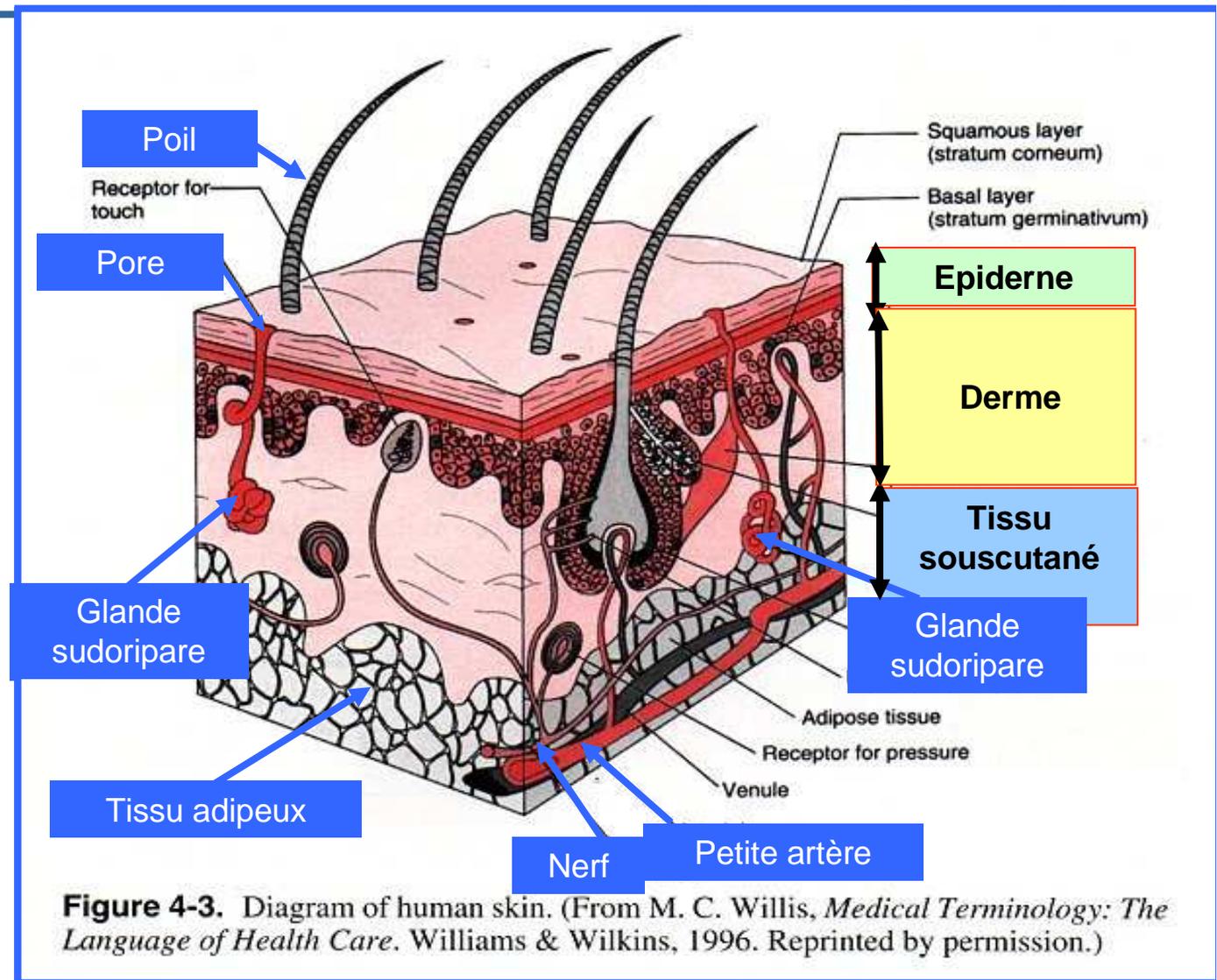
Peau est très vascularisée.

Beaucoup de terminaisons nerveuses, des poils....

Si **peau abimée** (blessure, brûlure...), épilation ??
pénétration facilitée.

Si action mécanique sur peau, pénétration serait facilitée.

Passage possible par les poils et canaux glandes sudoripares?





Nanos de TiO₂

(absorption des UV dans crème solaire),

resteraient dans couche superficielle de la peau (épiderme) sauf si peau abimée.

Mais attention à la taille ! Les petites particules peuvent pénétrer plus profondément. (Nanos de 30 nm différentes de celles de 250 nm).

Exposition par textiles, cosmétiques, bandages (blessures) ...

NanoAg, TiO₂, ZnO...

Absorption et distribution : dépendent de la taille, du matériau, de la charge (>0, <0, neutre) les >0 semblent aller plus loin. => **Circulation sanguine?**

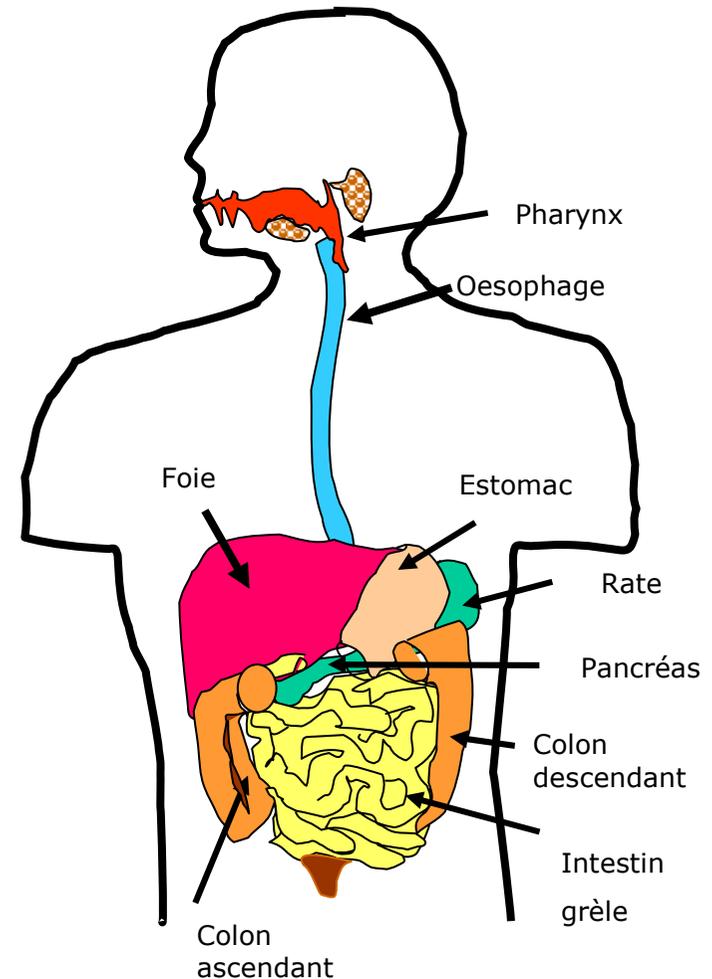
Absorption et distribution :

dépendent de la taille, du matériau,
de la charge [>0 , <0 , neutre) les >0 semblent
les mieux absorbées], des ligands...

Taille = facteur très important : les grosses
resteraient (?) dans les intestins pour être
éliminées (?) plus ou moins vite par les matières
fécales.

Les plus petites passeraient dans la circulation
sanguine, dans le foie (normalement organe de
détoxification), pourraient être excrétées par la
bile, pourraient être distribuées dans tous les
organes par le sang.

Stockage dans les organes (cellules rouges du
sang, cerveau, foie, reins, poumons, rate).





Peu importe la porte d'entrée : si "Nanos" dans circulation sanguine : ceci peut ou pourrait poser un problème.

Quels seraient les dangers?

Cardiotoxicité? Cytotoxicité? Immunotoxicité? Autres?

Accumulation dans système sanguin => variation de viscosité, inflammation, Pb cardiovasculaires, risques de thrombose, d'infarctus.

Distribution dans les organes et déposition : reins, foie, poumons, cerveau, rate.

Niveau cellulaire : possibilité d'entrée dans les cellules biologiques, traversée des membranes y compris la **membrane nucléaire**.

Interaction possible avec protéines (réversible?), mitochondries (production ATP : énergie de la cellule), **ADN...**

Expériences de nanoparticules d'or fixées sur ADN.

- 2006 CIRC (d'après études in-vivo).

TiO₂ pigmentaire (200-300 nm) et TiO₂ ultrafin (10-15 nm).

Groupe 2B : Cancérogène possible pour l'Homme par inhalation.

- 2011 NIOSH Current Intelligence Bulletin 63.

Nano dioxyde de titane TiO₂ : **potentiellement cancérogène sur le lieu de travail (exposition par inhalation). Pas cancérogène direct.**

Mécanisme du à la taille et à surface des particules, pas spécifique de TiO₂.
On pourrait s'attendre à un mécanisme identique pour autres nanoparticules de matériaux pas ou peu soluble.

Toxicité TiO₂ non atténuée par enrobage. Toxicité semble augmentée par enrobage.

CIRC Centre International de Recherches sur le Cancer. Lyon, France.

NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health USA.

5- Nanoargent et son histoire.

Avant JC.

- **Chinois** : acupuncture aiguilles argent.
- **Perses** : boissons (eau, vin) se conservent mieux dans récipient dont intérieur est recouvert de Ag => **Alexandre le Grand** (roi de Macédoine)
Argent soigne plaies qui peuvent s'infecter.
- **Grèce** : **Hippocrate** (père de la médecine occidentale).
Poudre fine Argent pour cicatriser blessures infectées.

Après JC

- **France** : **en 1869 Ravelin** (savant méconnu).

l'Argent métal, surtout à l'état très divisé, agit à dose très faible, comme un puissant bactéricide.

- **Allemagne** : **Dr Brenno CREDE 1897.**

Argent colloïdal tue facilement, à faible dose de très nombreuses bactéries, virus... Serait peu toxique pour l'Homme et les animaux à sang chaud.

Fortes doses => atteintes inflammatoires poumons, foie, peau (dépôt gris bleu), muqueuses (conjonctive bleutée).





Solution colloïdale d'argent

C'est une suspension dans l'eau distillée de

- **particules très petites** (entre 1 et 100 nm) donc nanoargent Ag° (80%)
et cation Ag^+ (20%) (effet bactéricide).

Technique de préparation : électrolyse dans l'eau pure avec électrodes en Ag pur.

Tue beaucoup de bactéries, quelques virus... le staphylocoque doré...

Remplacé à partir de 1940 par la **pénicilline, le 1er antibiotique.**

Nano argent : propriétés, utilisations.



- additifs textiles,
chaussettes, culottes, vêtements,
tissus...
textiles hospitaliers.

- pansements,
- cosmétiques, déodorants,
- pâte dentifrice,
- parois des frigidaires,
- claviers ordinateurs,
- machines à laver le linge,
- éléments de climatiseurs (filtration),
- emballage pour contact alimentaires,
- plastiques (boîtes pour alimentaires...),
- jouets enfants,

- traitement des surfaces,
robinets cuisines salle de bains,
poussette enfants, bijoux, montres,
couverts,
rampes métro...

- produit désinfectant pour hygiène féminine, sur les préservatifs...



Mécanisme toxicité possible du nanargent.

Génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO)

(Exemple : eau oxygénée).

Les nanoparticules d'argent induisent un **stress oxydant *in vitro*** =>

- **modifications morphologie cellules**
- **dysfonctionnement mitochondrie**, augmentation de la génération ERO

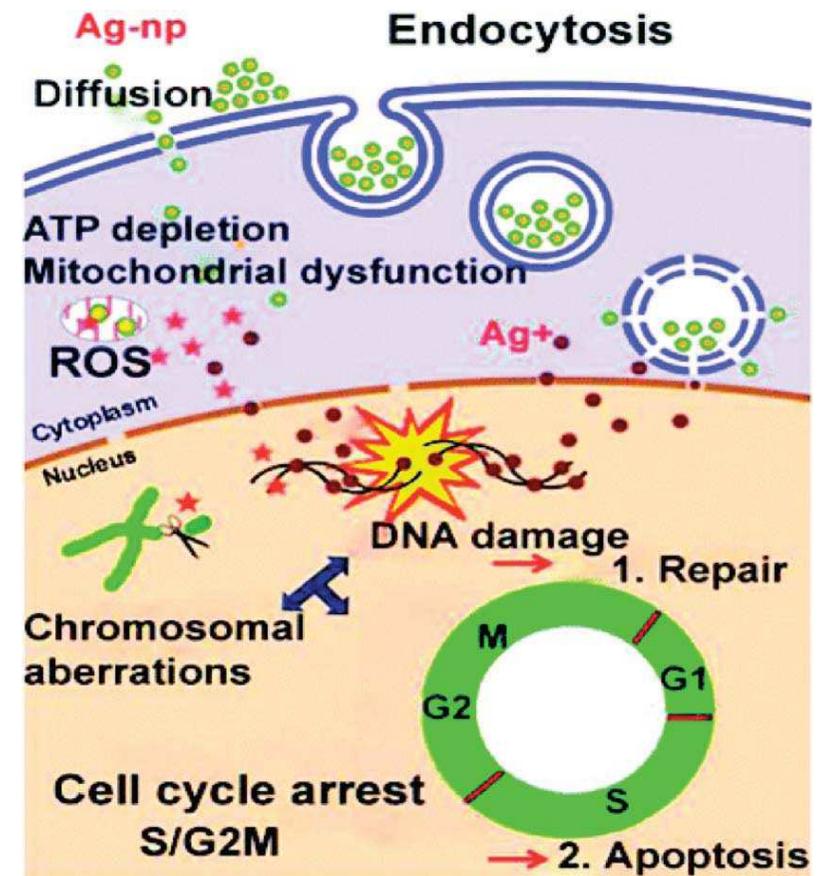
façon dose-dépendante, quelle que soit leur taille (Hussain S.M., 2005; Hsin Y.H., 2008; Carlson C., 2008; Arora S., 2008; Arora S., 2009; Larese F.F., 2009),

- **apoptose et/ou nécrose**, agrégats à l'intérieur des mitochondries,

- **lésions de l'ADN** (Arora S., 2008 ; AshaRani P.V., 2009).

Nanoparticules d'argent => lésions oxydatives dans la cellule par formation ERO (Carlson C., 2008).

Mécanisme possible de toxicité des nanoargent (AshaRani P.V., 2009).



Toxicité du nanoargent vis-à-vis des animaux à sang froid.



Pour et contre.

- **Propriétés toxiques bénéfiques vis à vis des bactéries pathogènes.**
- **Très dangereux pour les Animaux à sang froid (Poissons ou Batraciens...).**
- Très néfaste pour l'Environnement aquatique (flore, faune, micro-organismes), très bioaccumulable.
- Tue les bonnes et les mauvaises bactéries, ce qui peut causer éventuellement un problème pour les stations d'épuration d'eau.

Comme le Mercure, le Plomb, le Cadmium, le Thallium, le Bismuth.... l'Argent est un **métal trace toxique.**

Difficile de choisir entre Bénéfice sanitaire et Risques à long terme pour l'Environnement !

6- Conclusion : entre bénéfiques et risques.

Principe de précaution.

Pas suffisamment d'études, mauvaise connaissance de la toxicologie car récente, différente et plus complexe.
Beaucoup de travaux en cours.

Prudence, **se tenir informé.**

Penser aussi **aux déchets générés**

- par la fabrication,

- la manipulation,

- la technologie des nanos,

qui vont se retrouver dans les effluents gazeux, liquides.

Donc éventuellement dans les sols et dans l'environnement et peut être pour finir dans nos assiettes!