



# Ecotoxicité des nanomatériaux

## risques pour l'environnement

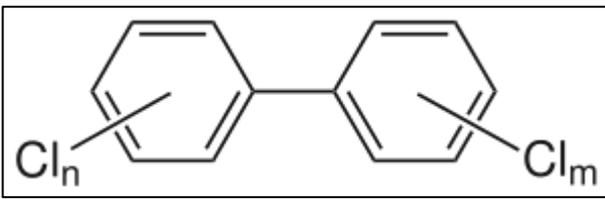
Christophe PAGNOUT  
*christophe.pagnout@univ-lorraine.fr*

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux  
**LIEC**  
UMR CNRS 7360

# Les polychlorobiphényles (PCB)

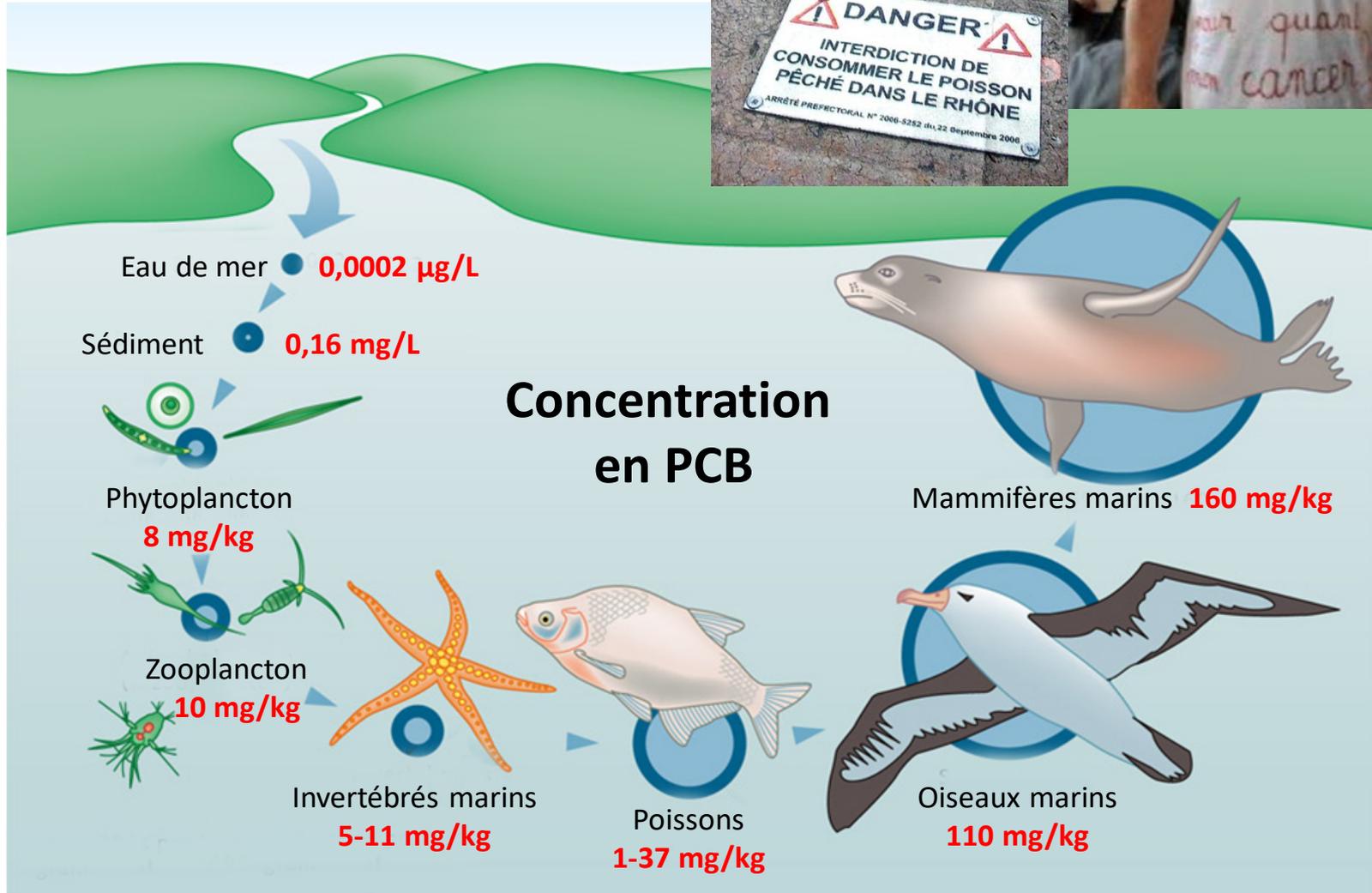
1930-1987 (France)

Isolants électriques ininflammables, excellentes caractéristiques diélectriques et de conduction thermique



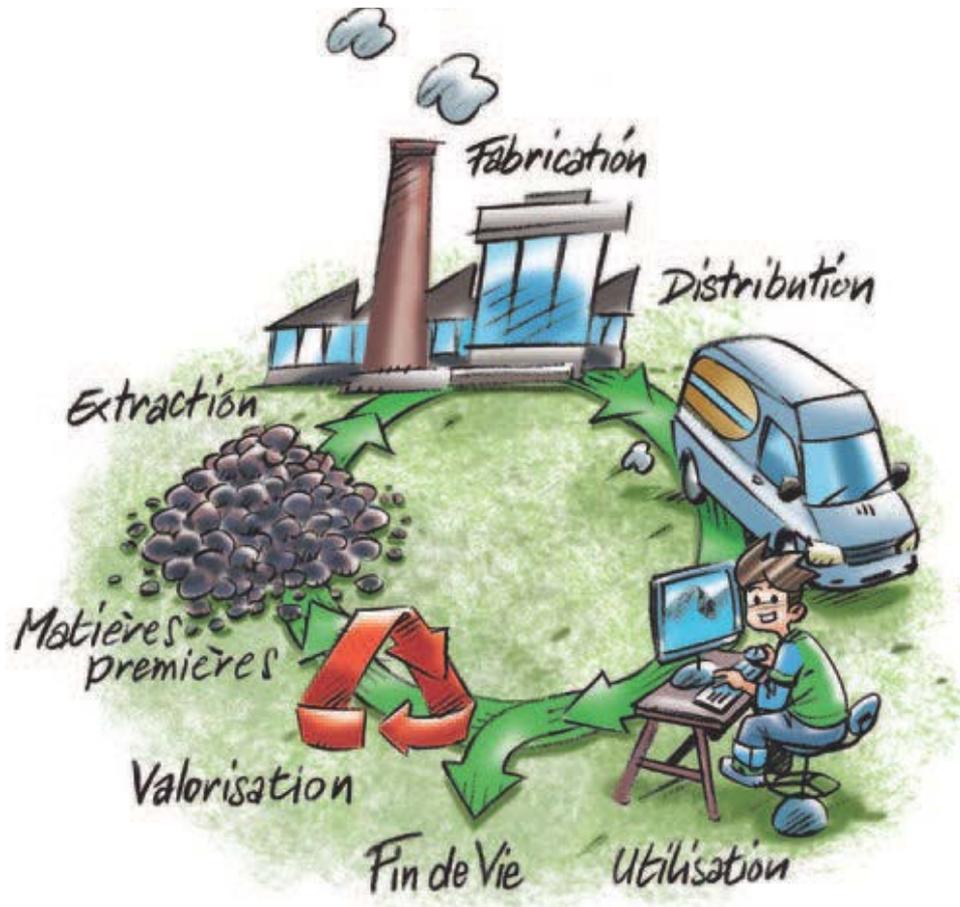
Les PCB sont **cancérogènes** probables, **perturbateurs endocriniens** et/ou **inducteurs enzymatiques** susceptibles de perturber le métabolisme

**Ils sont bioaccumulables et biomagnifiables**



# Écotoxicologie (Ecologie + Toxicologie)

Etude du devenir des substances polluantes dans l'environnement (cycle de vie) et de leurs effets sur les écosystèmes.



## Rejets dans l'Environnement

Eaux usées (STEP)  
Elimination des déchets  
Lessivage des surfaces  
Ruissellement  
Fuites accidentelles  
...

## EVALUATION DU RISQUE

**1. Exposition** (dose × fréquence × durée) × **2. Toxicité** d'une substance

# Écotoxicologie (Ecologie + Toxicologie)

## Science pluridisciplinaire :

**Physique-chimie** : chimie organique, chimie minérale, géologie, hydrologie...

**Biologie** : écologie, microbiologie, physiologie, génétique, biologie moléculaire, biologie cellulaire, zoologie, botanique...

**Mathématiques** : Biostatistiques, modélisation...

...



# Amélioration de propriétés

Electriques

Mécaniques

Optiques

Catalytiques

Magnétiques

Bactéricides

etc...



**Environnement !?**

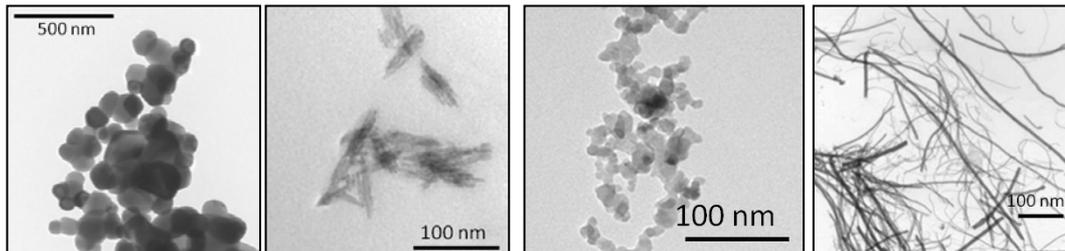
# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Estimations vs. Dosages

**Production mondiale de nanoparticules : 11,5 million de tonnes/an**

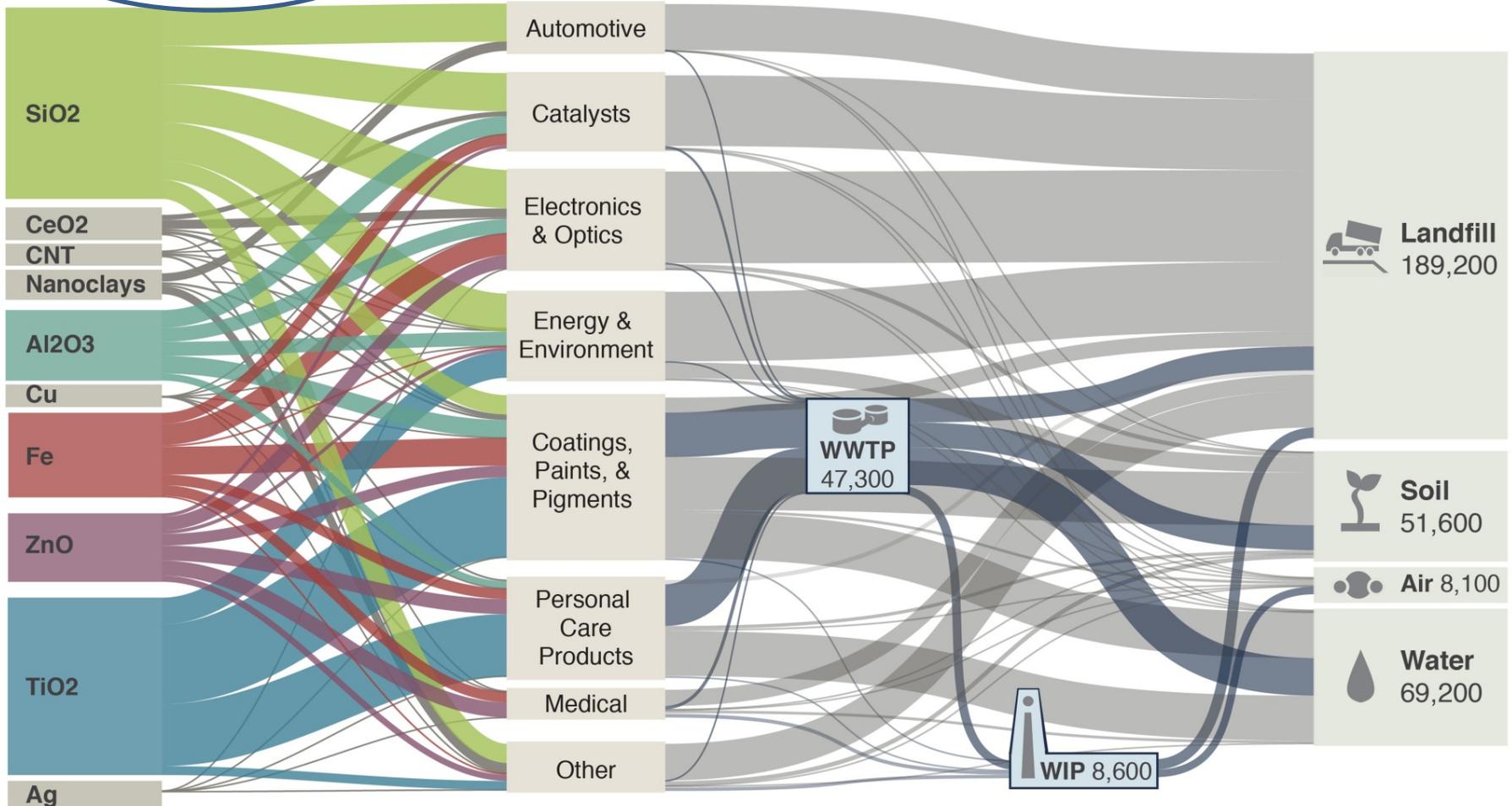
Noir de carbone :	9 600 000 t
Silice amorphe :	1 500 000 t
Oxyde d'aluminium :	200 000 t
Dioxyde de titane :	10 000 t
Oxyde de Cérium :	10 000 t
Oxyde de zinc :	8 000 t
Nanotubes de carbone	700 t
Argent	20 t



# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

## Estimations vs. Dosages

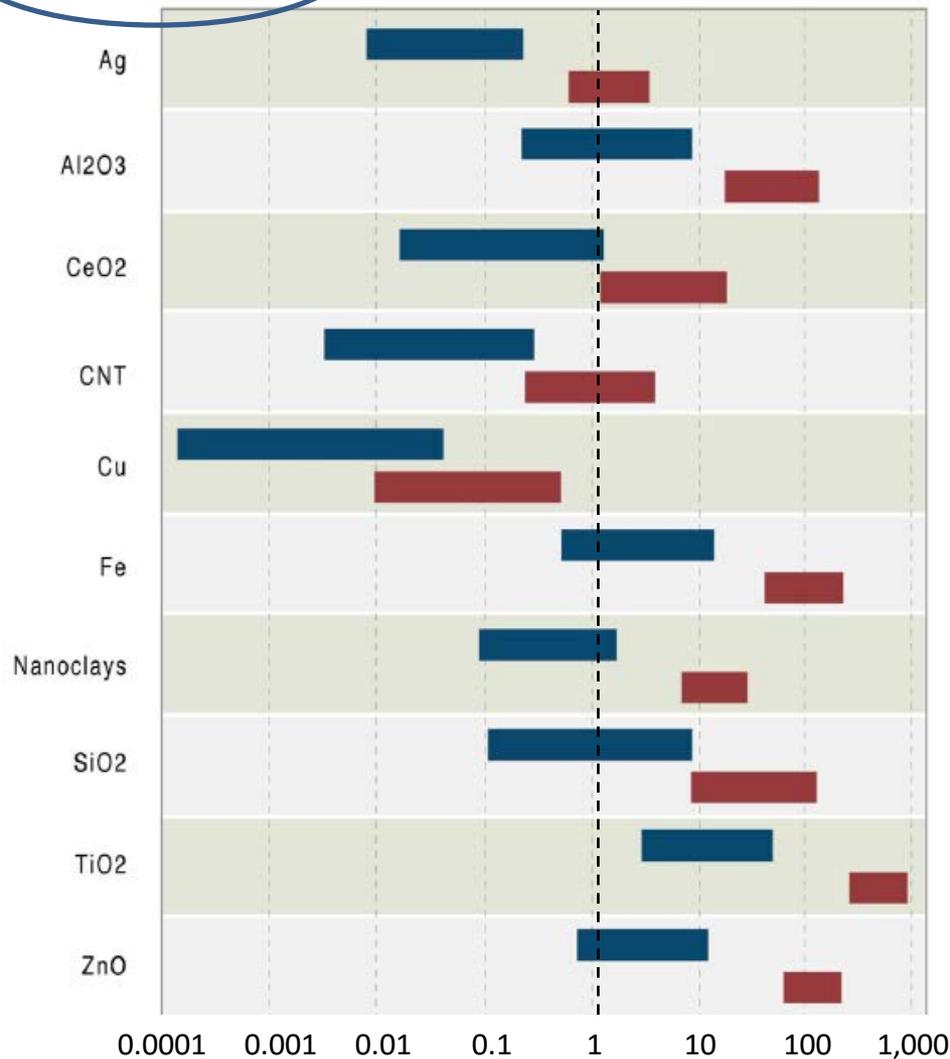


Global Life Cycle Flows of Engineered Nanomaterials (Keller and Lazareva, 2014)

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

## Estimations vs. Dosages



■ Effluent Concentrations (ug/L)  
■ Biosolids Concentrations (mg/kg)

Estimation dans la Baie de San Francisco  
(Keller and Lazareva, 2014)

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Estimations vs. Dosages

Concentrations en NP prédites en Suisse.

	unit	nano-Ag		nano-TiO <sub>2</sub>		CNT	
		RE	HE	RE	HE	RE	HE
air	$\mu\text{g m}^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$4.2 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^{-3}$
water	$\mu\text{g L}^{-1}$	0.03	0.08	0.7	16	0.0005	0.0008
soil	$\mu\text{g kg}^{-1}$	0.02	0.1	0.4	4.8	0.01	0.02

<sup>a</sup> RE: realistic scenario; HE: high emission scenario.

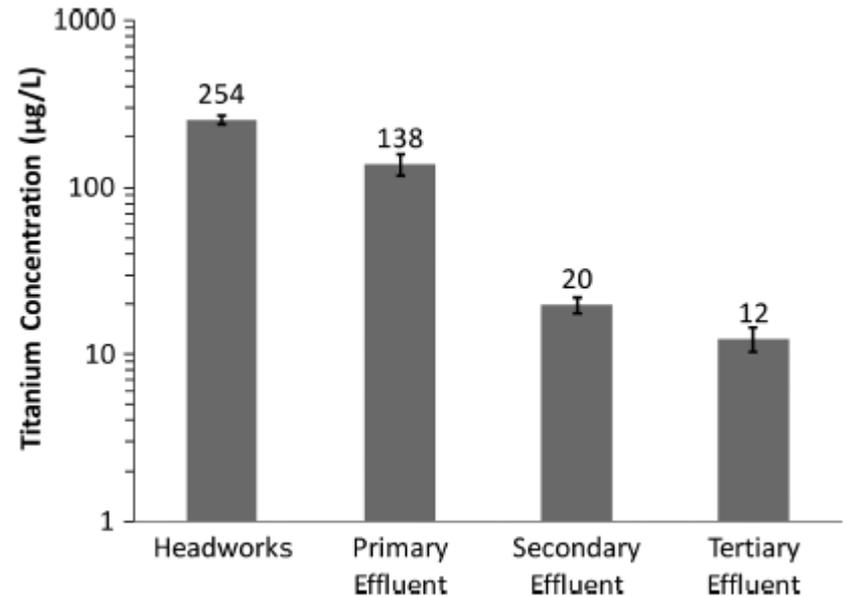
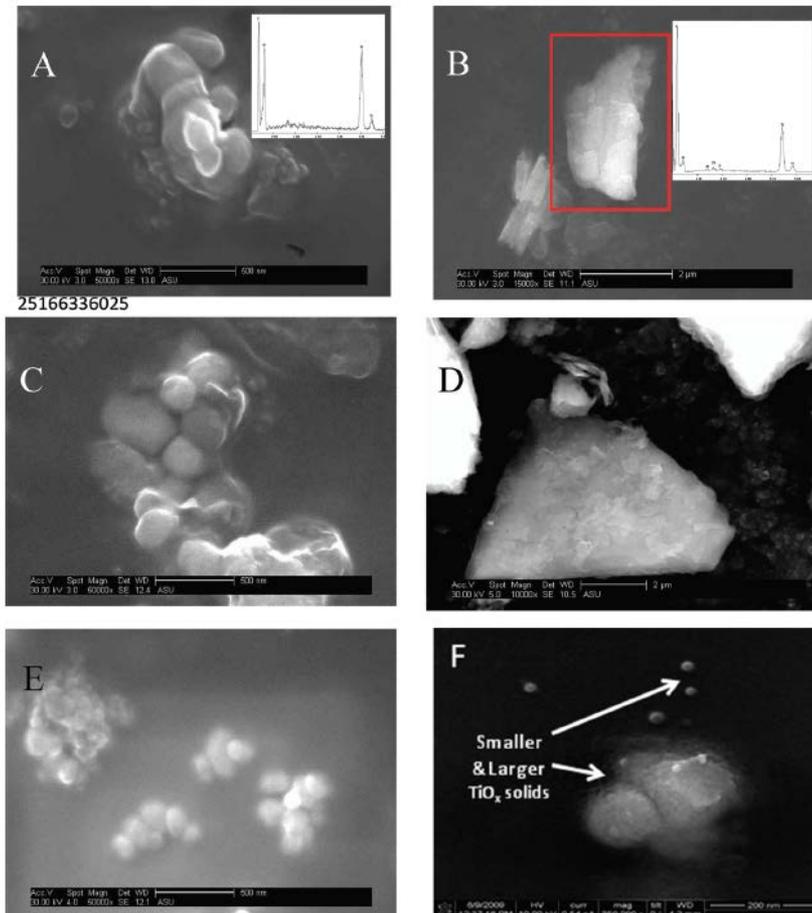
Mueller et Nowack, 2008

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

## Estimations vs. Dosages

Observation et dosage des NP TiO<sub>2</sub> dans les boues de STEP (Arizona)



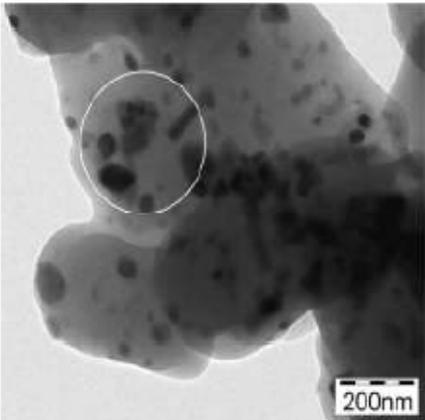
Kiser et al., 2009

# EVALUATION DU RISQUE

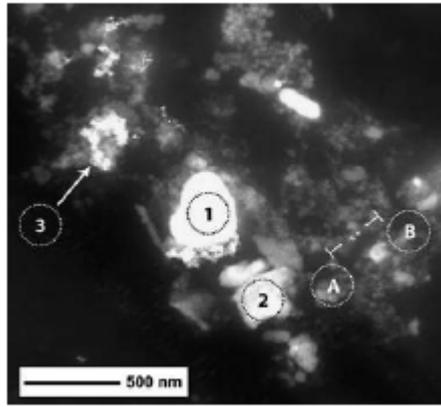
1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Estimations vs. Dosages

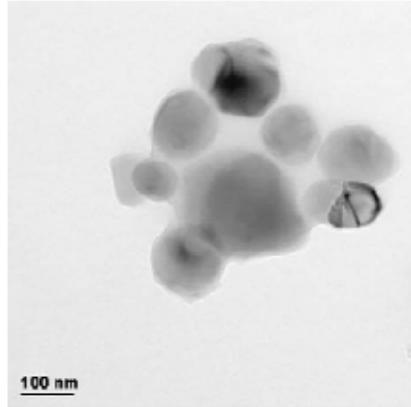
Lessivage des surfaces



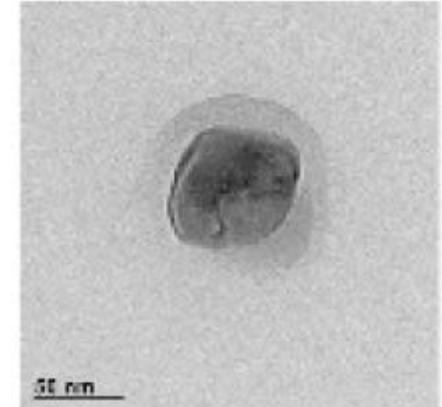
ZnO - panneau d'acier  
(Vorbeau 2009)



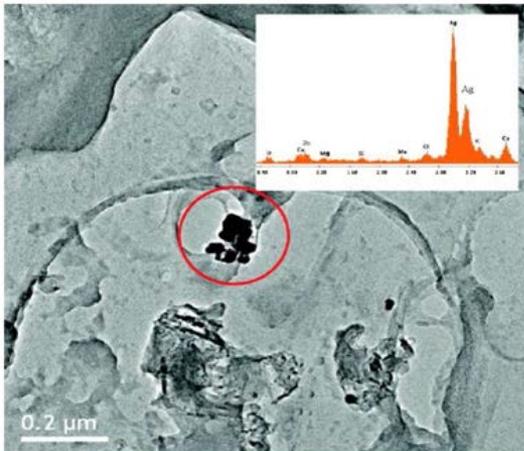
Ag - peinture  
(Kaegi 2010)



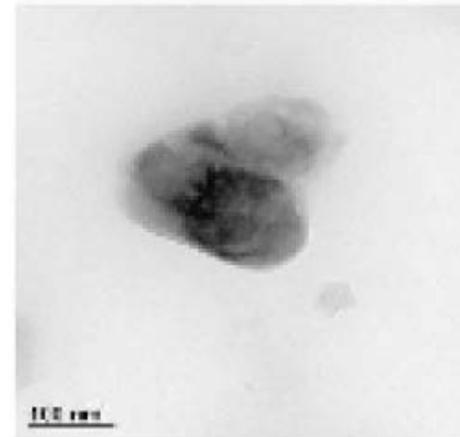
TiO<sub>2</sub> - peinture  
(Kaegi 2008)



TiO<sub>2</sub> - façade  
(Kaegi 2008)



Ag - chaussettes  
(Benn 2008)



TiO<sub>2</sub> - eau de rivière  
(Kaegi 2008)

# EVALUATION DU RISQUE

**1. Exposition** (dose × fréquence × durée) × **2. Toxicité** d'une substance

## Bilan

**Les nanoparticules manufacturées sont présentes dans de nombreux écosystèmes**

*Dosages complexes = Limite de détection des instruments*

*Discrimination ionique vs. nano*

*Discrimination anthropique vs. naturel*

**Concentrations dans l'environnement allant du ng au µg/L (ou kg)**

*>> µg/L sur les « hot spots »*

**Ecosystèmes contaminés par plusieurs types de NP et par d'autres contaminants**

*Effets toxiques cumulés, effet « Cheval de Troie »...*

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Gène/protéine

Cellule/organe

Niveau physiologique

organisme

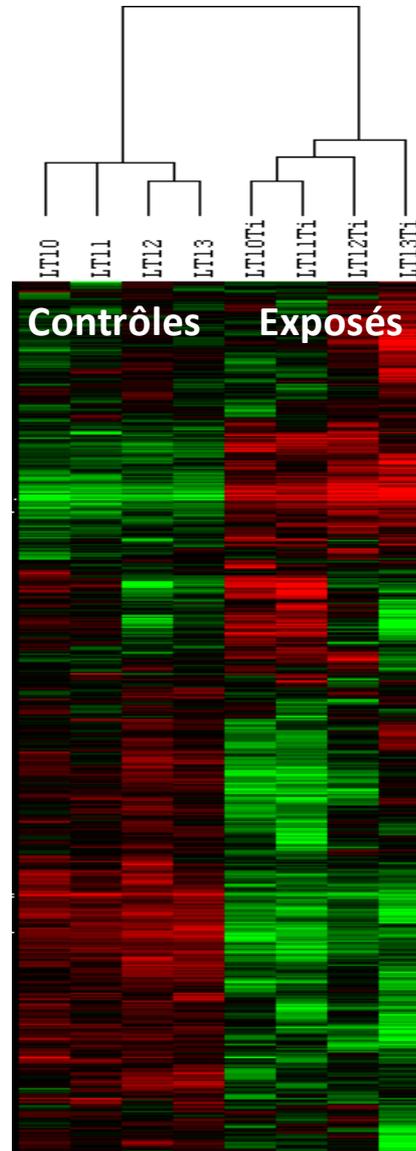
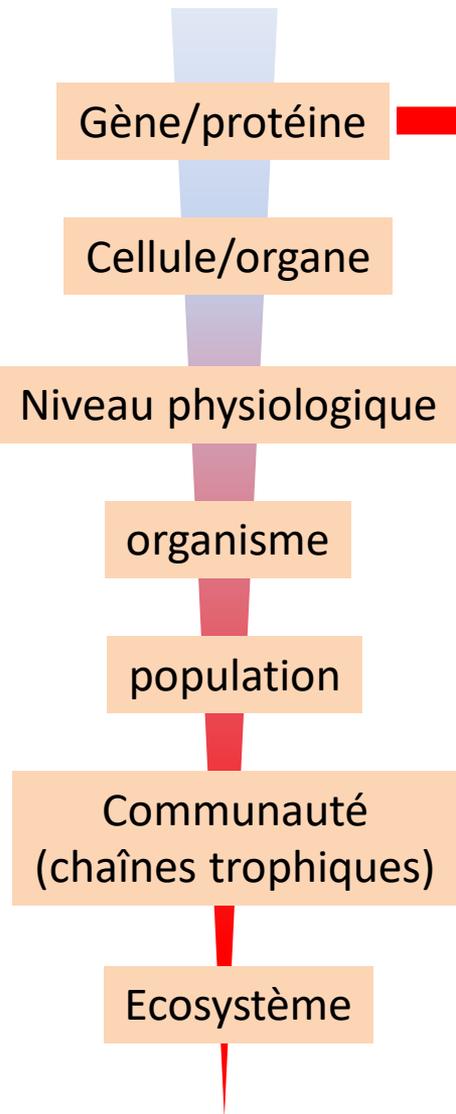
population

Communauté  
(chaînes trophiques)

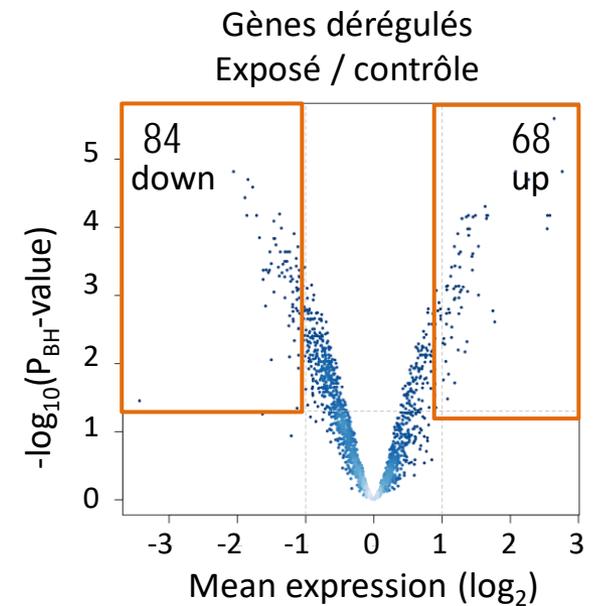
Ecosystème

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance



Analyses transcriptomiques  
(puces ADN)



# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Gène/protéine



Cellule/organe

Niveau physiologique

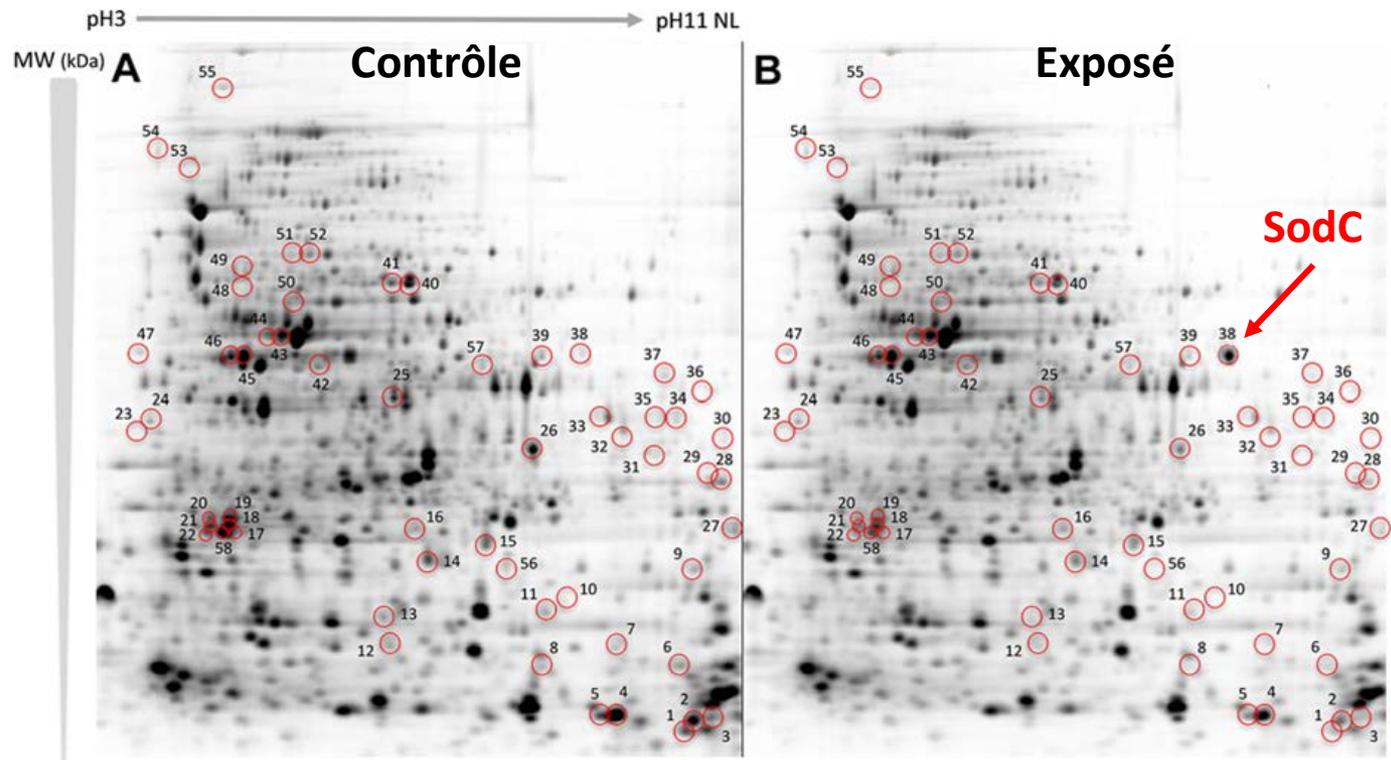
organisme

population

Communauté  
(chaînes trophiques)

Ecosystème

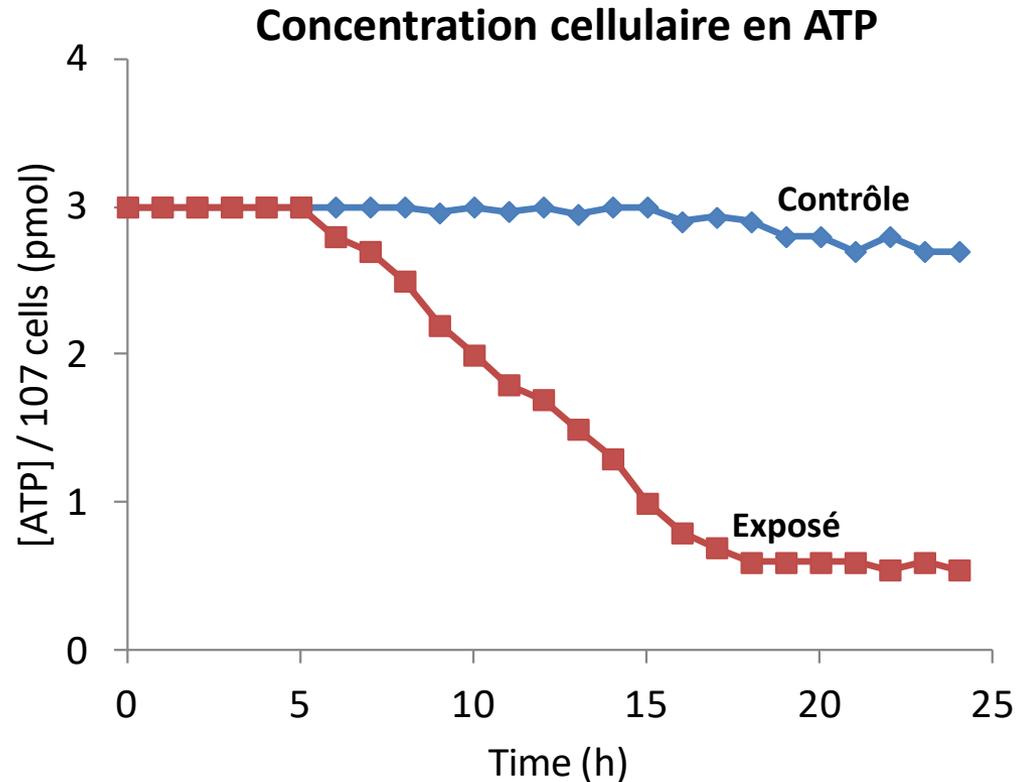
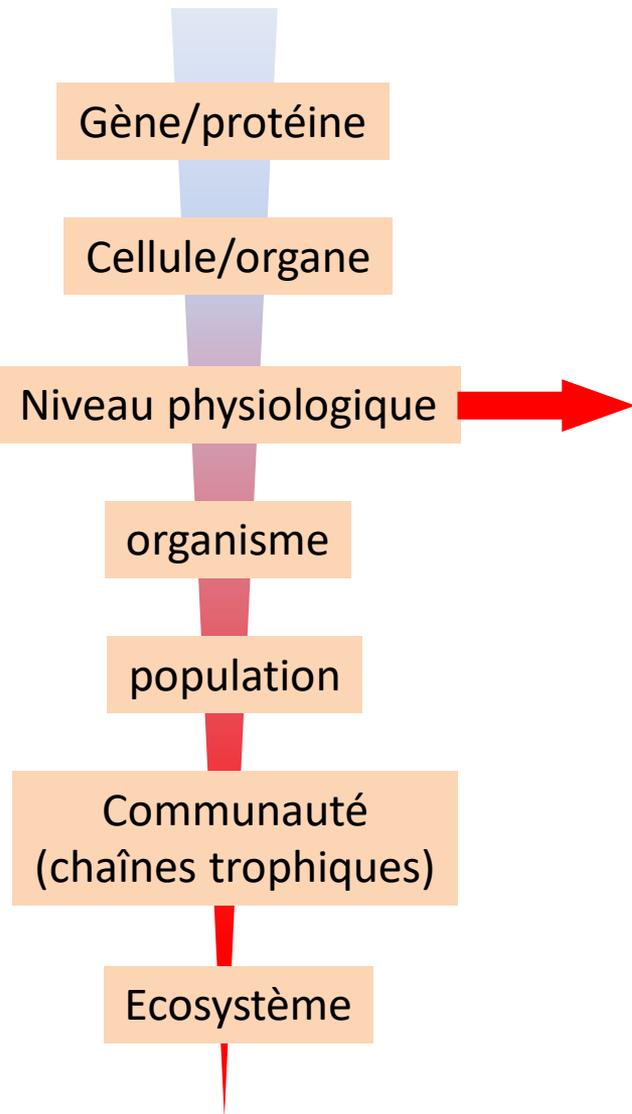
Analyses protéomique  
(2D DIGE)



SodC : Superoxyde dismutase = stress oxydatif

# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance



# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Gène/protéine

Cellule/organe

Niveau physiologique

organisme

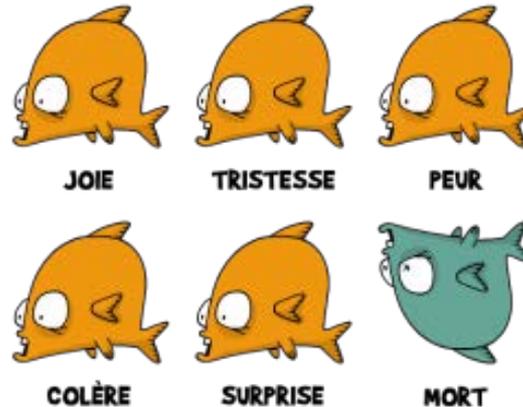


population

Communauté  
(chaînes trophiques)

Ecosystème

**MIEUX COMPRENDRE  
VOTRE POISSON BUBULE**



# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose  $\times$  fréquence  $\times$  durée)  $\times$  2. Toxicité d'une substance

Gène/protéine

Cellule/organe

Niveau physiologique

organisme

population



Communauté  
(chaînes trophiques)

Ecosystème



# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance

Gène/protéine

Cellule/organe

Niveau physiologique

organisme

population

Communauté  
(chaînes trophiques)

Ecosystème



## Milieux oligosaprobies



Plécoptères



Ephémères



Trichoptères



Odonates



## Milieux polysaprobies

Protozoaires



Amibe nue



Ciliés



Vorticella

Vers



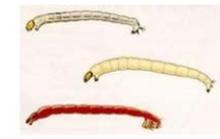
Nématodes



Oligochètes

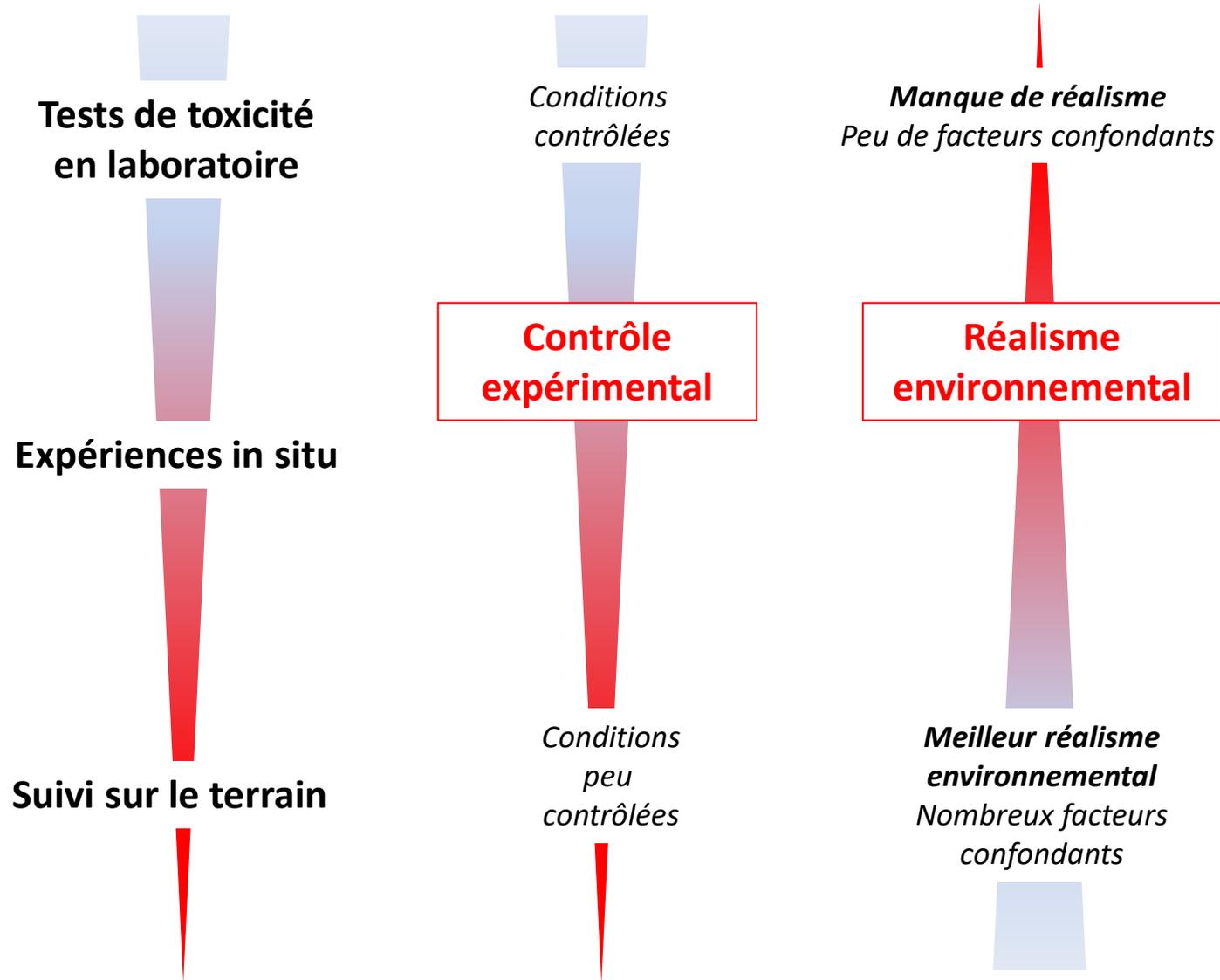


Cyanobactéries toxiques

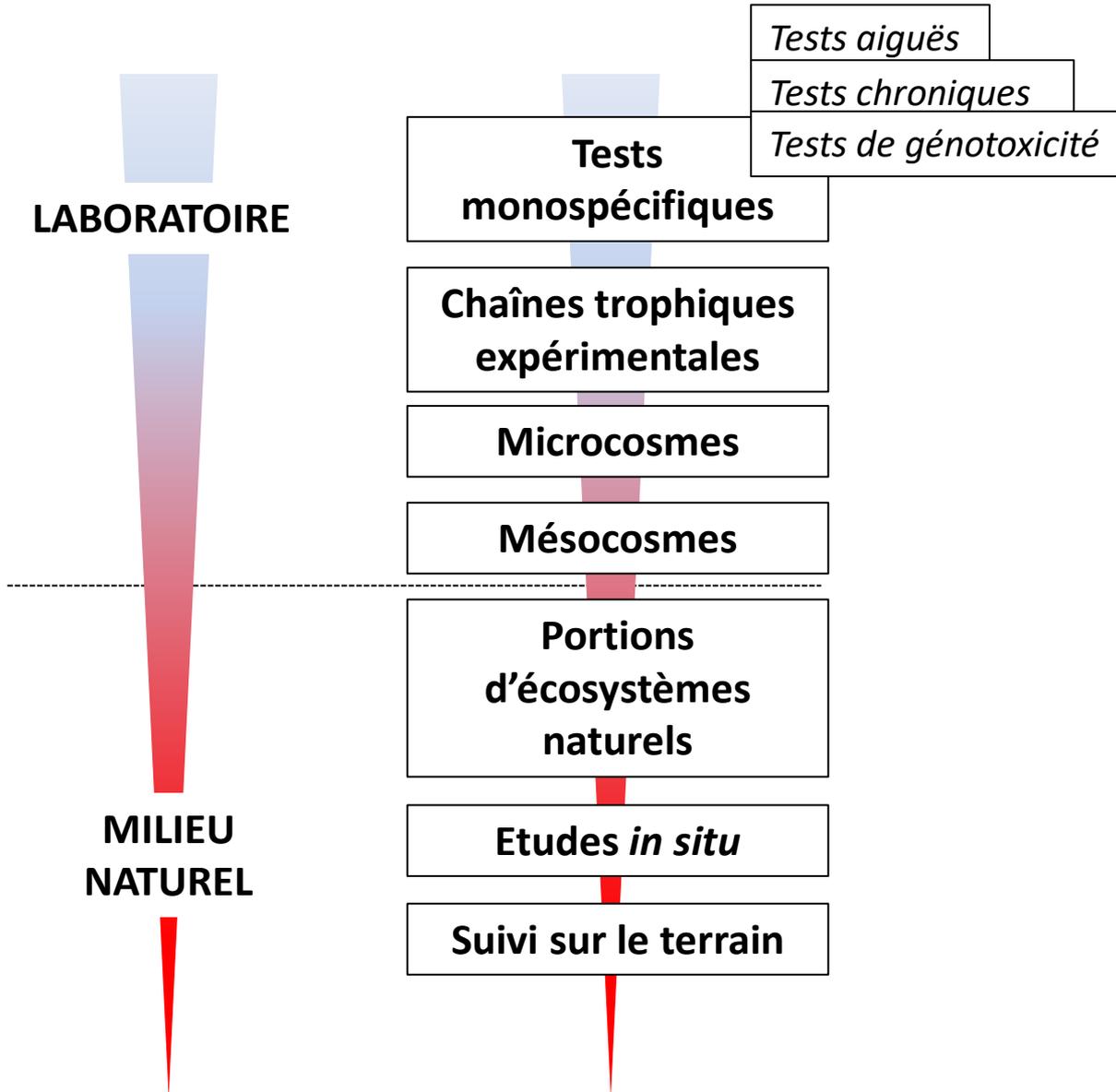


Diptères Chironomides

# Mise en évidence d'un effet toxique :



# Mise en évidence d'un effet toxique :



# Mise en évidence d'un effet toxique :

LABORATOIRE

Tests monospécifiques

Chaînes trophiques expérimentales

Microcosmes

Mésocosmes

Portions d'écosystèmes naturels

Etudes *in situ*

Suivi sur le terrain

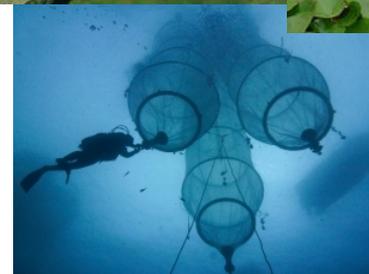
MILIEU NATUREL



Micro/mesocosmes

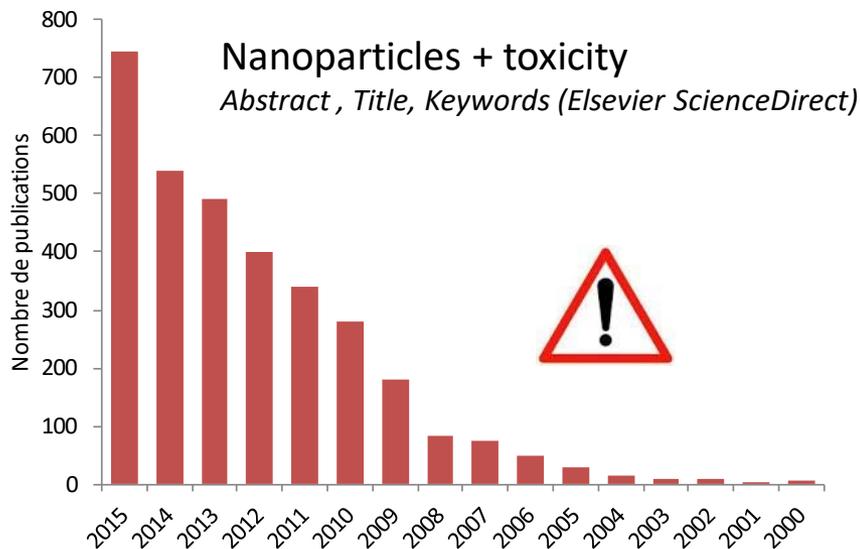


Expériences *in situ*

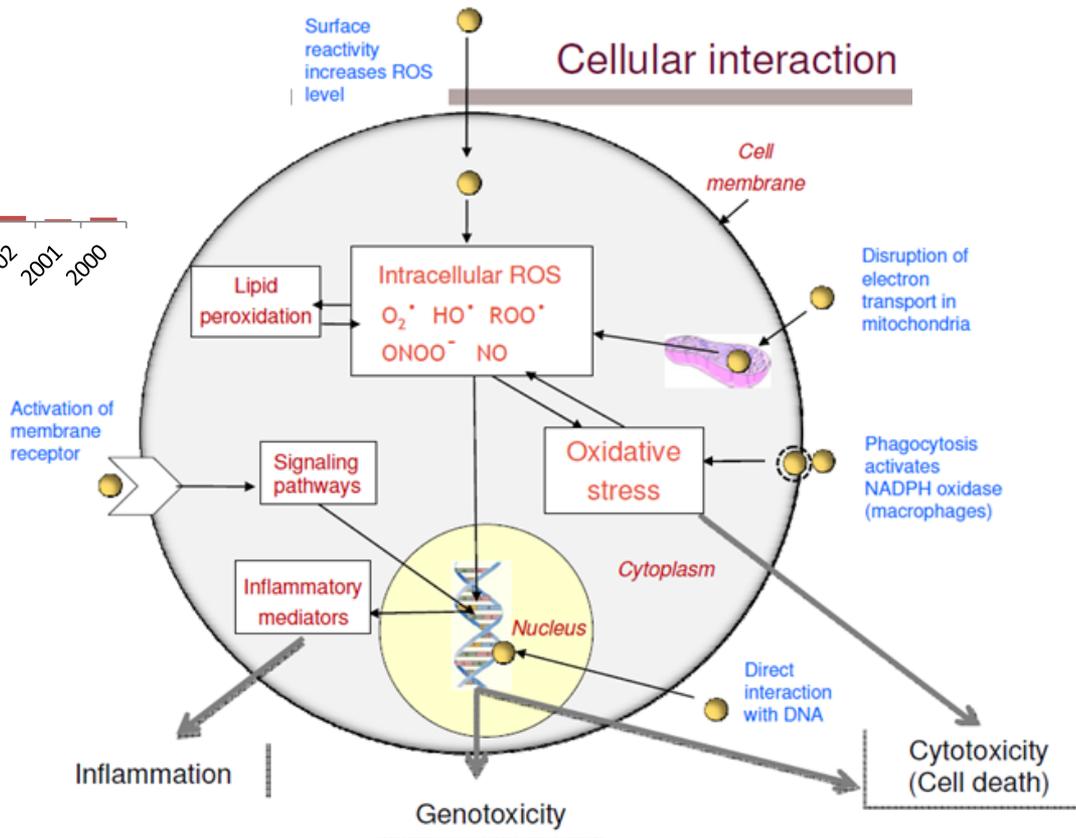


# EVALUATION DU RISQUE

1. Exposition (dose × fréquence × durée) × 2. Toxicité d'une substance



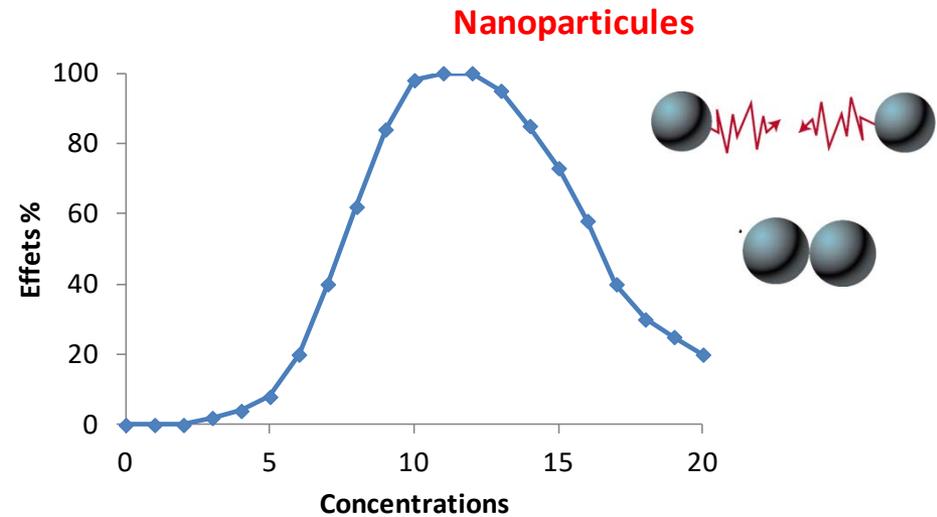
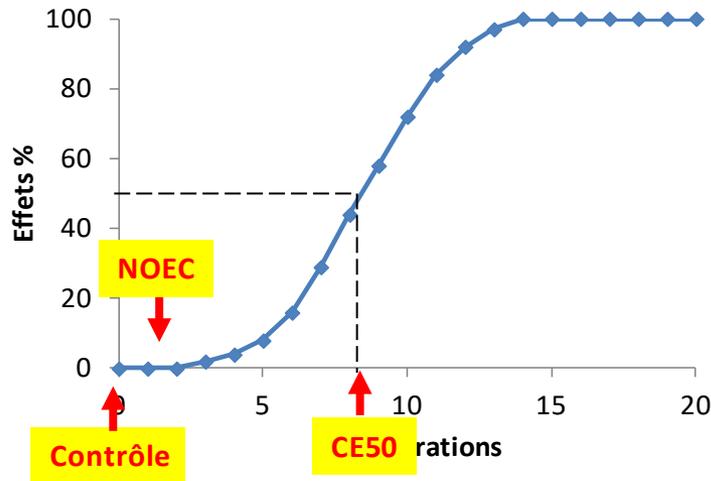
Effets délétères observés sur de nombreux organismes



# Les nanomatériaux : risque ou pas pour l'environnement ???

> De nombreuses études contradictoires

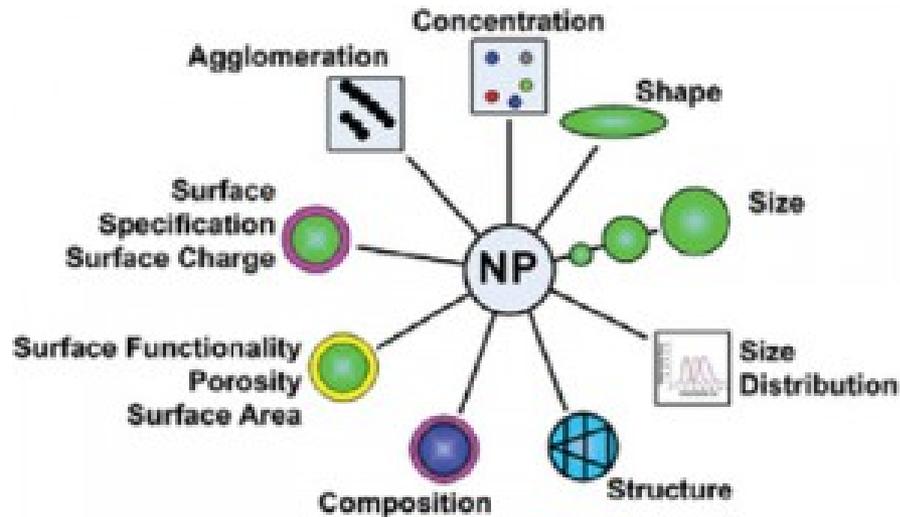
*Ce n'est pas la dose qui fait le poison !  
Peu ou pas d'effet dose-réponse*



# Les nanomatériaux : risque ou pas pour l'environnement ???

> De nombreuses études contradictoires

*Ce n'est pas seulement l'élément qui fait le poison !*



*Facteurs affectant la toxicité des NP*

# Les nanomatériaux : risque ou pas pour l'environnement ???

- > De nombreuses études contradictoires
- > Peu de réalisme environnemental

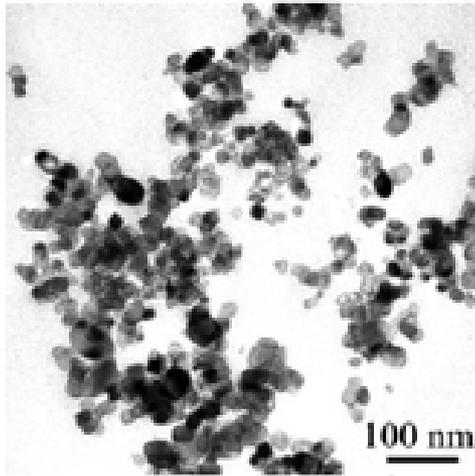
NANOPARTICULES



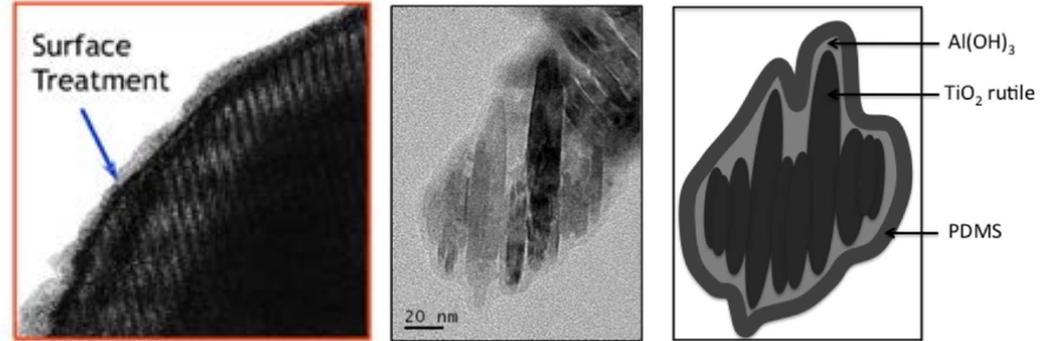
# Les nanomatériaux : risque ou pas pour l'environnement ???

- > De nombreuses études contradictoires
- > Peu de réalisme environnemental

## NP-TiO<sub>2</sub> de synthèse

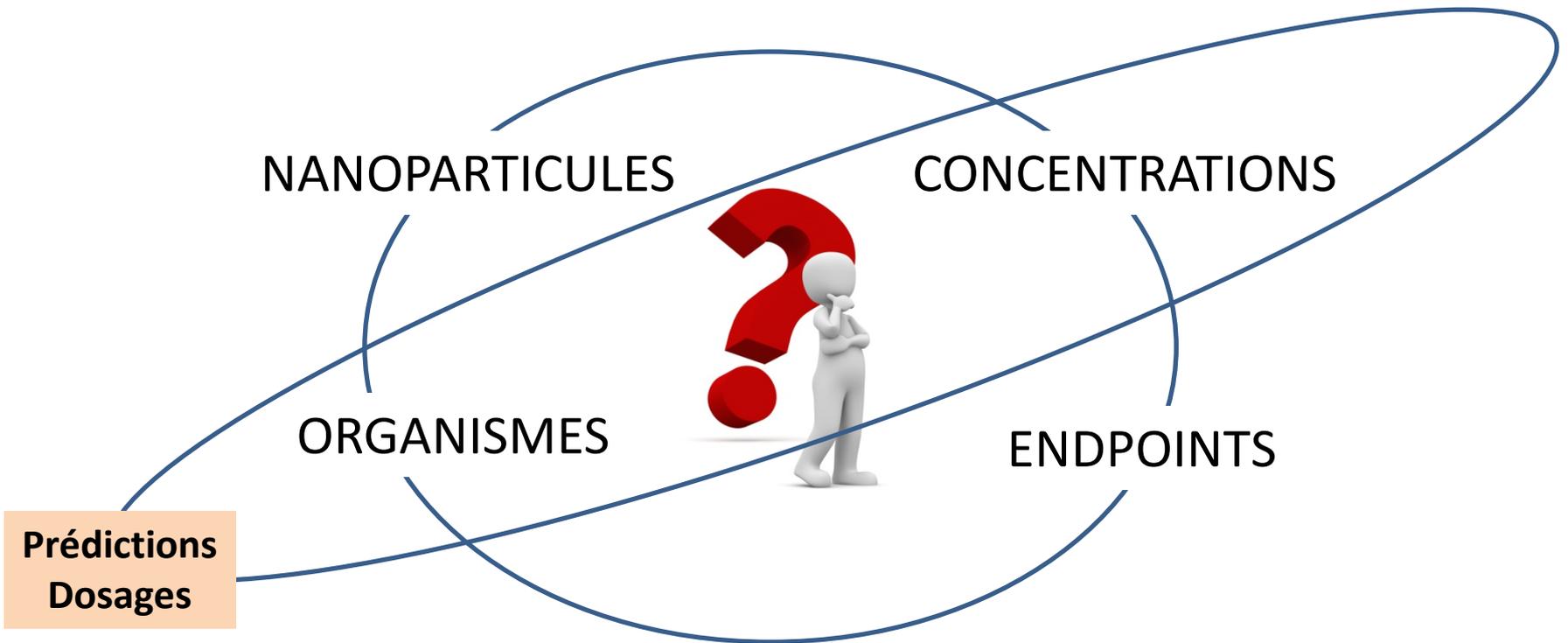


## TLite - BASF



# Les nanomatériaux : risque ou pas pour l'environnement ???

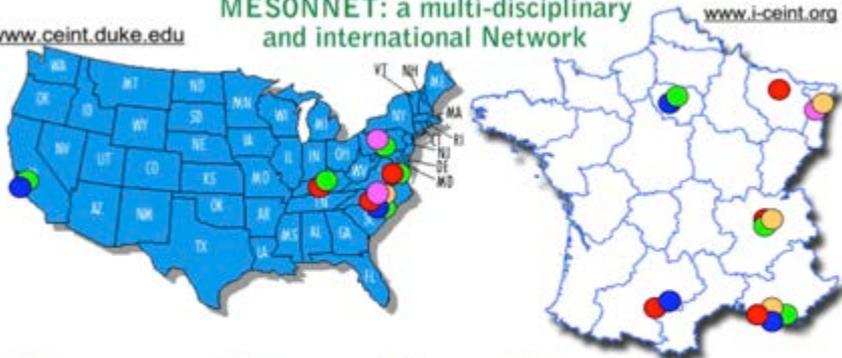
- > De nombreuses études contradictoires
- > Peu de réalisme environnemental



MESONNET: a multi-disciplinary and international Network

[www.ceint.duke.edu](http://www.ceint.duke.edu)

[www.i-ceint.org](http://www.i-ceint.org)



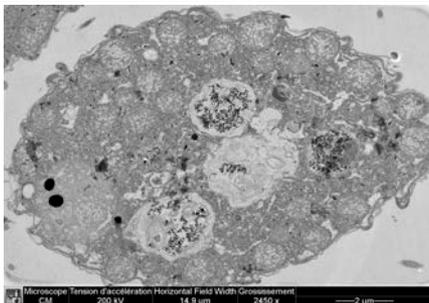
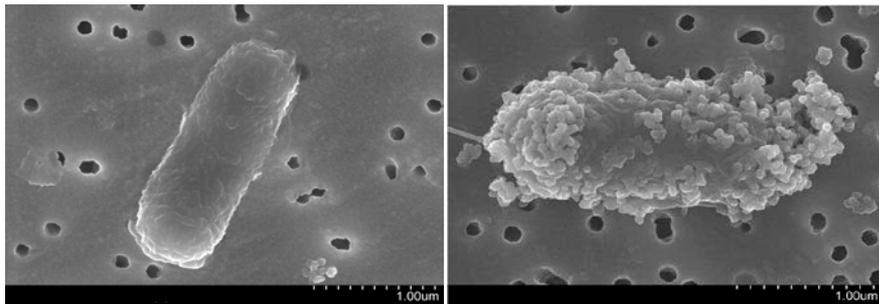
● Physico-chemistry ● Ecotoxicity ● Synthesis ● Transport ● Life Cycle / Risk

2010-2014 – ANR P2N MESONNET  
2013 -2014 – ANR NanoSalt

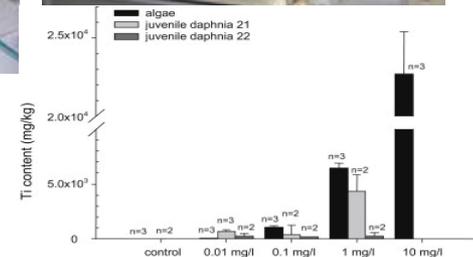


Durée d'exposition 20j à 2 mois

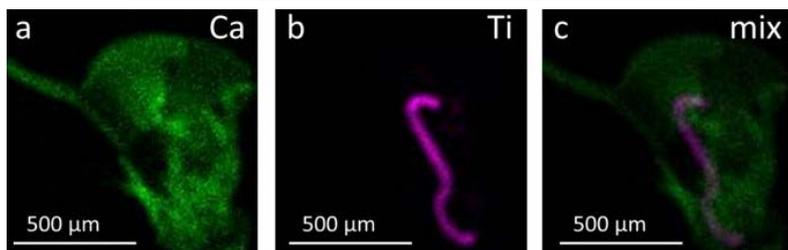
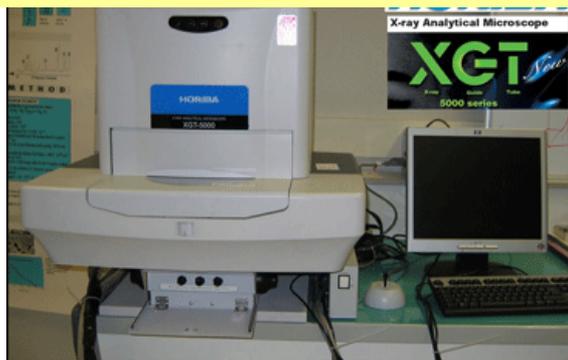
## MEB / TEM



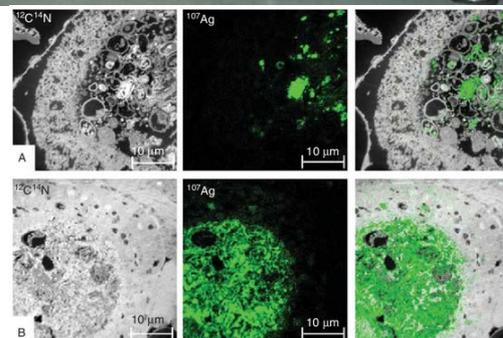
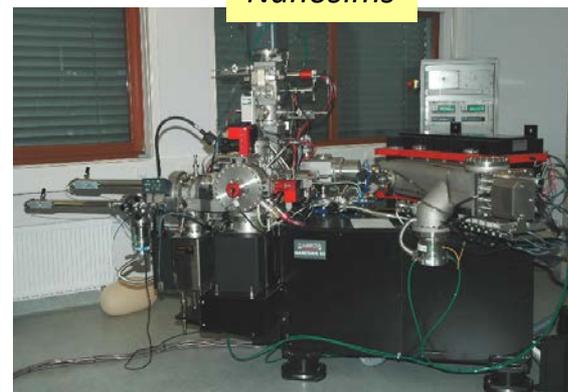
## ICP EOS et MS



## Microscope analytique aux rayons X



## Nanosims



# Bioaccumulation des nanoparticules manufacturées (TiO<sub>2</sub>, CeO, Ag, NTC)



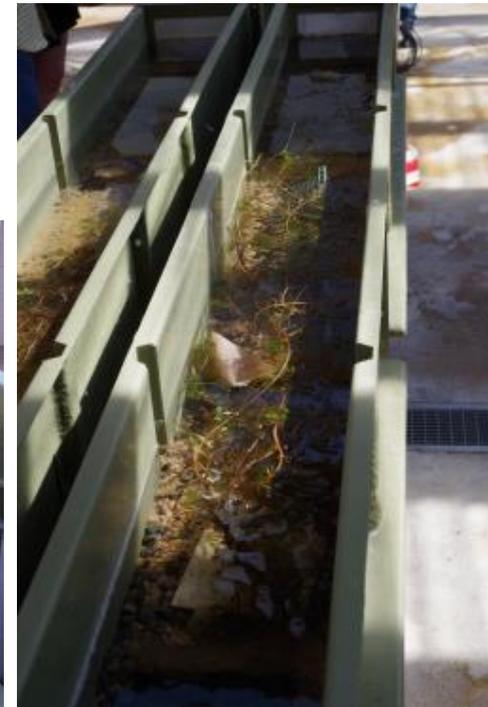
**Voie trophique comme source de contamination majoritaire**



**ECOSCOPE**



**Dispositif expérimental de 18 rivières artificielles  
unique en France**





# Ecotoxicité des nanomatériaux

## risques pour l'environnement

Christophe PAGNOUT  
*christophe.pagnout@univ-lorraine.fr*

Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux  
**LIEC**  
UMR CNRS 7360