

NANOMATÉRIAUX :

GUIDE DE BONNES PRATIQUES FAVORISANT LA GESTION DES RISQUES EN MILIEU DE TRAVAIL 2^e ÉDITION

RVS Avril 2016

Claude Ostiguy
Maximilien Debia
Brigitte Roberge
André Dufresne

- **2006 – Les nanoparticules : connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail**
Claude Ostiguy, Gilles Lapointe, Luc Ménard, Yves Cloutier, Mylène Trottier, Michel Boutin, Monty Antoun, Christian Normand. R-455
- **2008 – Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse**
Claude Ostiguy, Brigitte Roberge, Luc Ménard, Charles-Anica Endo. R-586
- **2014 – Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques en milieu de travail – 2^e édition**
Claude Ostiguy, Maximilien Debia, Brigitte Roberge, André Dufresne.
R-840

PLAN DU NOUVEAU GUIDE

- CONTEXTE, OBJECTIFS ET CLIENTÈLES CIBLES
- DIVERSITÉ DES NANOMATÉRIAUX
- SYNTHÈSE DES NANOMATÉRIAUX
- COMPORTEMENT DES NANOMATÉRIAUX ET IDENTIFICATION DES DANGERS
- CARACTÉRISATION DE L'EXPOSITION
- ÉVALUATION DES RISQUES
- LOIS, RÈGLEMENTS ET OBLIGATIONS DES PARTIES
- PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE DE GESTION DES RISQUES
- CONCLUSION
- ANNEXE : INTERVENTIONS VISANT L'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE NANOMATÉRIAUX MANUFACTURÉS DANS L'AIR DE DIFFÉRENTS MILIEUX DE TRAVAIL QUÉBÉCOIS ET L'ÉVALUATION DES MOYENS DE PRÉVENTION MIS EN OEUVRE

- Mise à jour de la littérature
- Nouvelles sections

NANOPARTICULES OU PARTICULES ULTRAFINES ?

- Nanoparticule ou Nano-objet (NO) (ISO) : **particule synthétisée volontairement** et dont au moins une des trois dimensions est de moins de 100 nanomètres (nm)
- Particule ultrafine : **produit « indésirable »**, produit secondaire d'origine naturelle, anthropique ou industrielle dont le diamètre aérodynamique est de moins de 100 nanomètres
 - Polluants atmosphériques
 - Fumées volcaniques, feux de forêt
 - Aérosols de diverses origines en milieu de travail
 - Fumées de soudage, émissions de moteur diesel

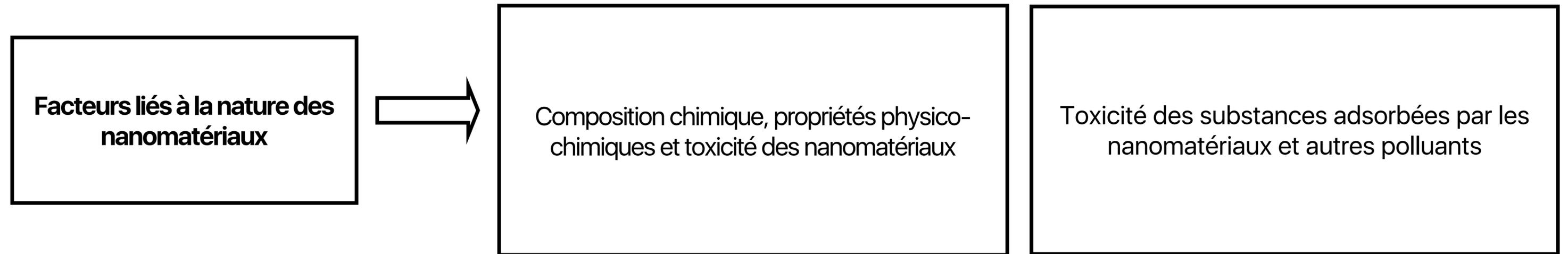
- Nouvelle révolution industrielle
- Tous les pays industrialisés investissent massivement en RD
 - Plans stratégiques nationaux en Asie, en Europe et aux États-Unis
 - Au Canada, le CNRC, Environnement Canada, Santé Canada et les IRSC élaborent actuellement des programmes et ont amorcé ou subventionné des recherches
 - Laboratoire CNRC nano en Alberta (NINT et Université d'Alberta)

- Toutes les grandes universités québécoises ont des groupes nanos
- Les fonds subventionnaires québécois, NanoQuébec et l'IRSST impliqués en SST
- Participation à des comités canadiens et internationaux
 - **Le Québec assume un fort leadership canadien en SST relié aux NT**

LES NANOPARTICULES REPRÉSENTENT-ELLES UN RISQUE POUR LA SANTÉ DU TRAVAILLEUR EXPOSÉ ?

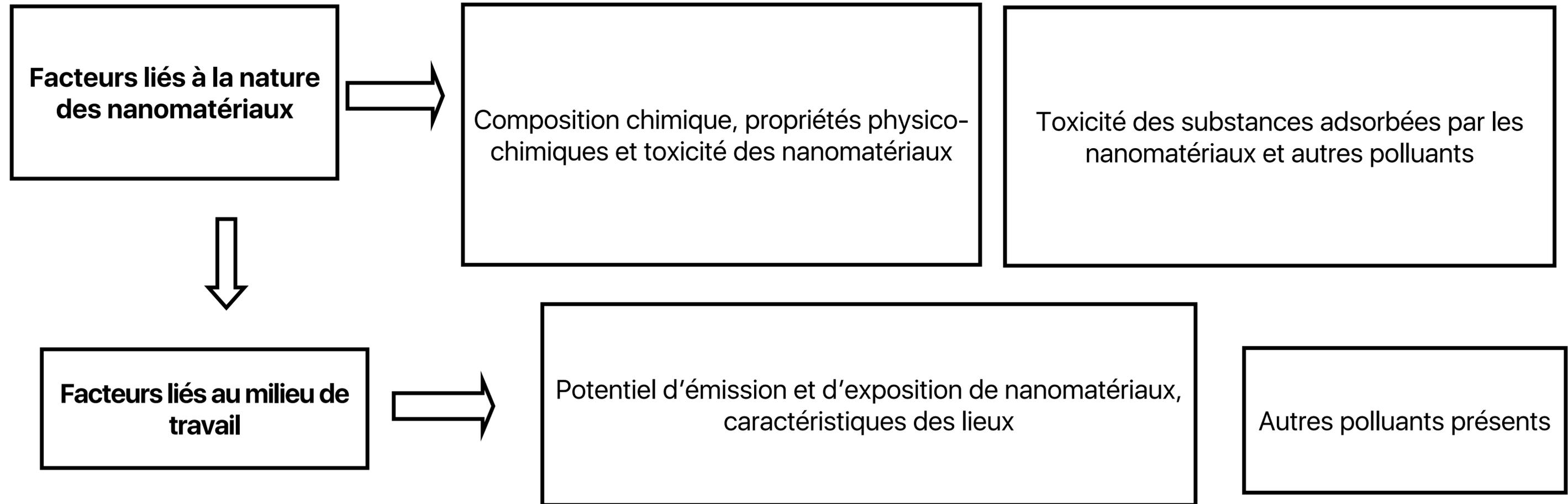
⇒ **Risque_t : f {toxicité x exposition}**

Facteurs contribuant aux effets potentiels sur la santé du travailleur

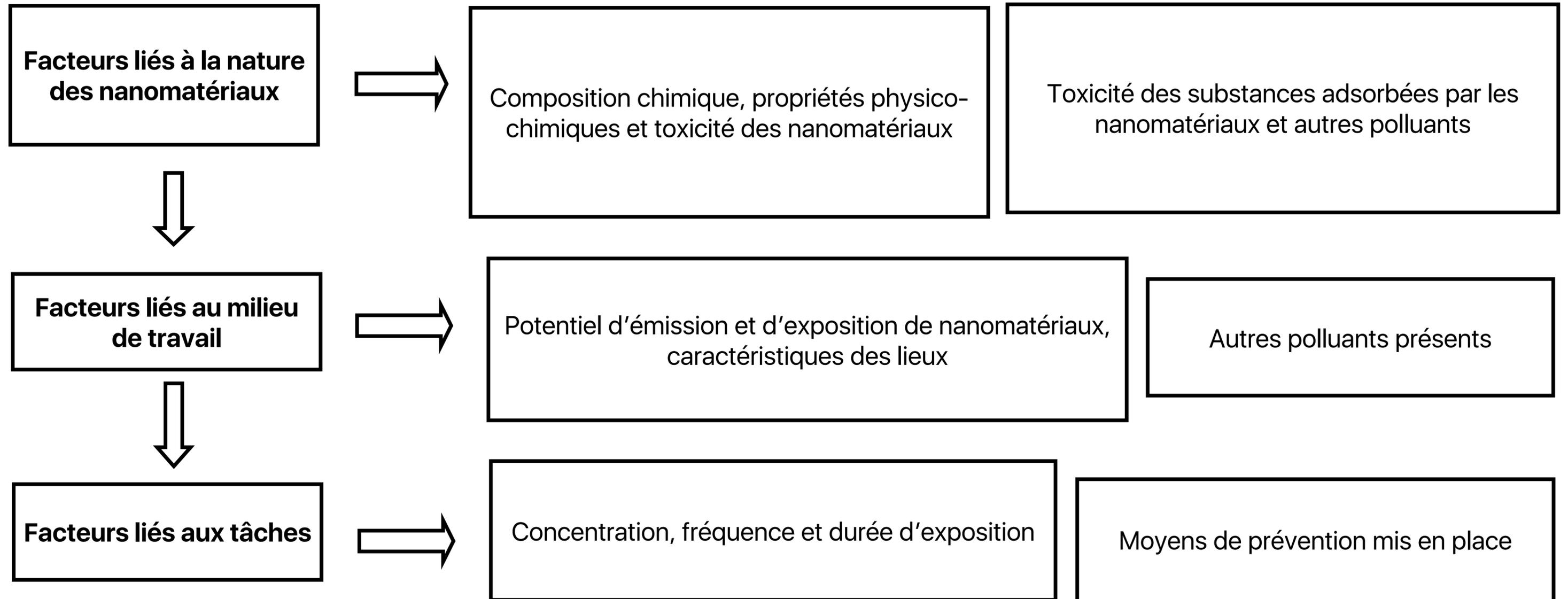


RVS Avril 2016

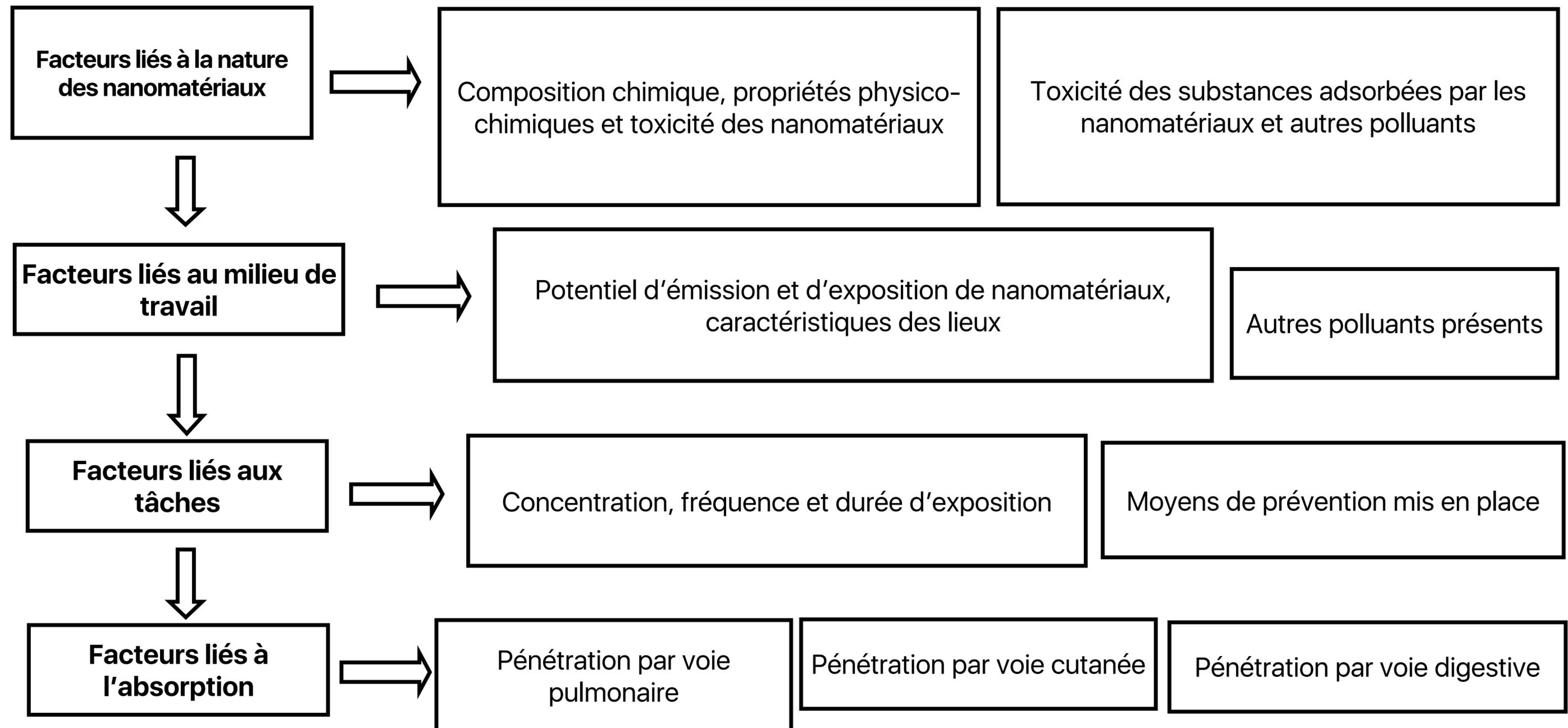
Facteurs contribuant aux effets potentiels sur la santé du travailleur



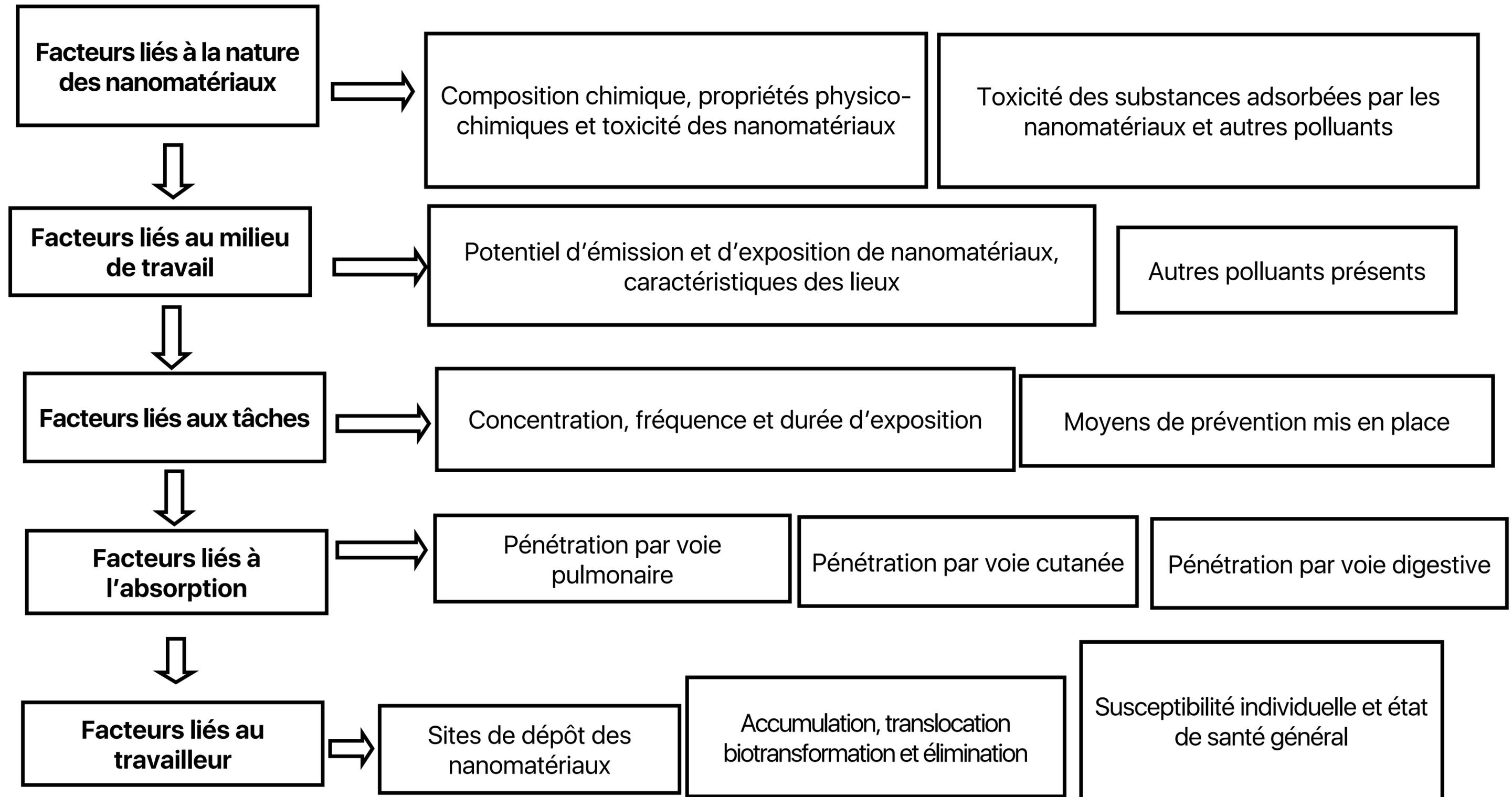
Facteurs contribuant aux effets potentiels sur la santé du travailleur



Facteurs contribuant aux effets potentiels sur la santé du travailleur



Facteurs contribuant aux effets potentiels sur la santé du travailleur



QUESTION DE SOLUBILITÉ

- **Deux situations possibles :**
 - Nanoparticule soluble dans les fluides biologiques
 - Toxicité reliée à la composition chimique
 - Toxicité normalement bien documentée
 - Faible différence avec une particule plus grosse au même site d'action
 - Nanoparticule insoluble ou partiellement soluble dans les fluides biologiques

❖ *Effets spécifiques ?*

RÉTENTION MWCNT

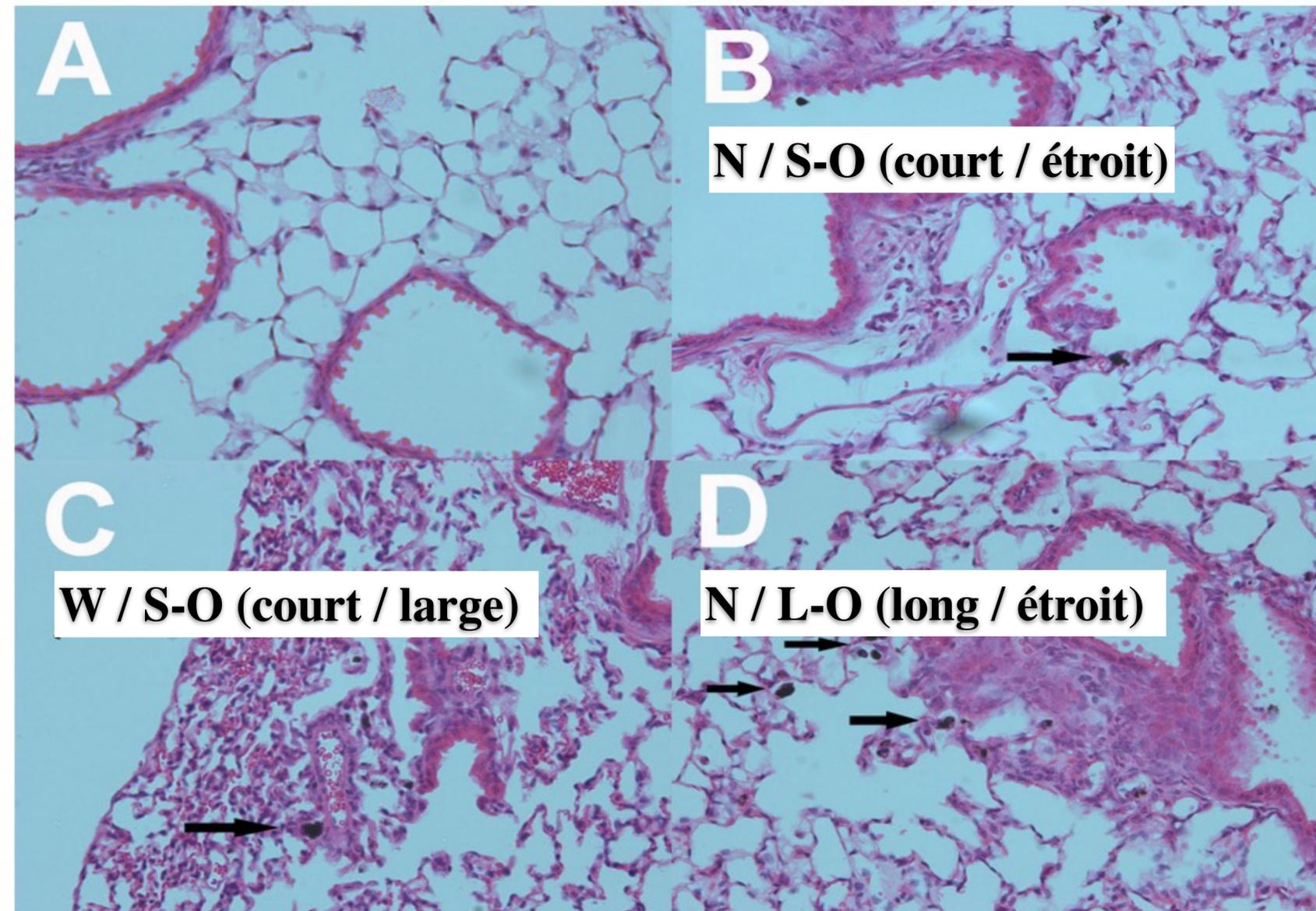


Figure 8
Representative photomicrographs in bright-field microscopy of the four in vivo MWCNT instillation conditions at day 7. A) vehicle-exposed. B) narrow/short-original MWCNT-exposed. C) wide/short-original MWCNT-exposed. D) narrow/long-original MWCNT-exposed. Black arrows indicate areas of particle retention. All images at 200x.

Effect of MWCNT size, carboxylation, and purification on in vitro and in vivo toxicity, inflammation and lung pathology
Raymond F Hamilton, Jr, Zheqiong Wu, Somenath Mitra, Pamela K Shaw, Andrij Holian
Part Fibre Toxicol. 2013; 10: 57.

'THE FIBRE PATHOGENICITY PARADIGM'

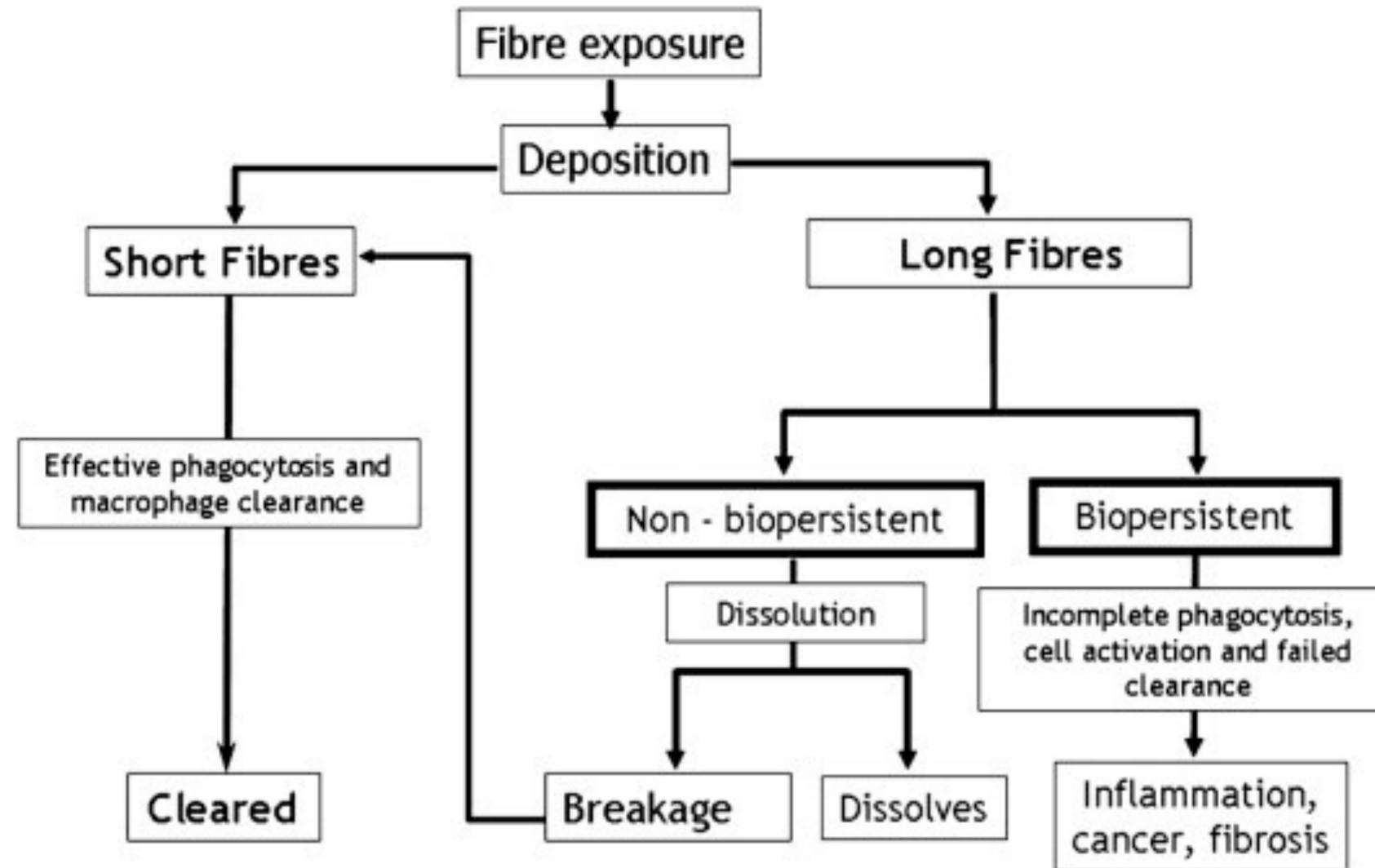


Fig. 3. Summary of how length and biopersistence interact to lead to the accumulation of long biopersistent fibres as the effective dose for inflammation, cancer and fibrosis.

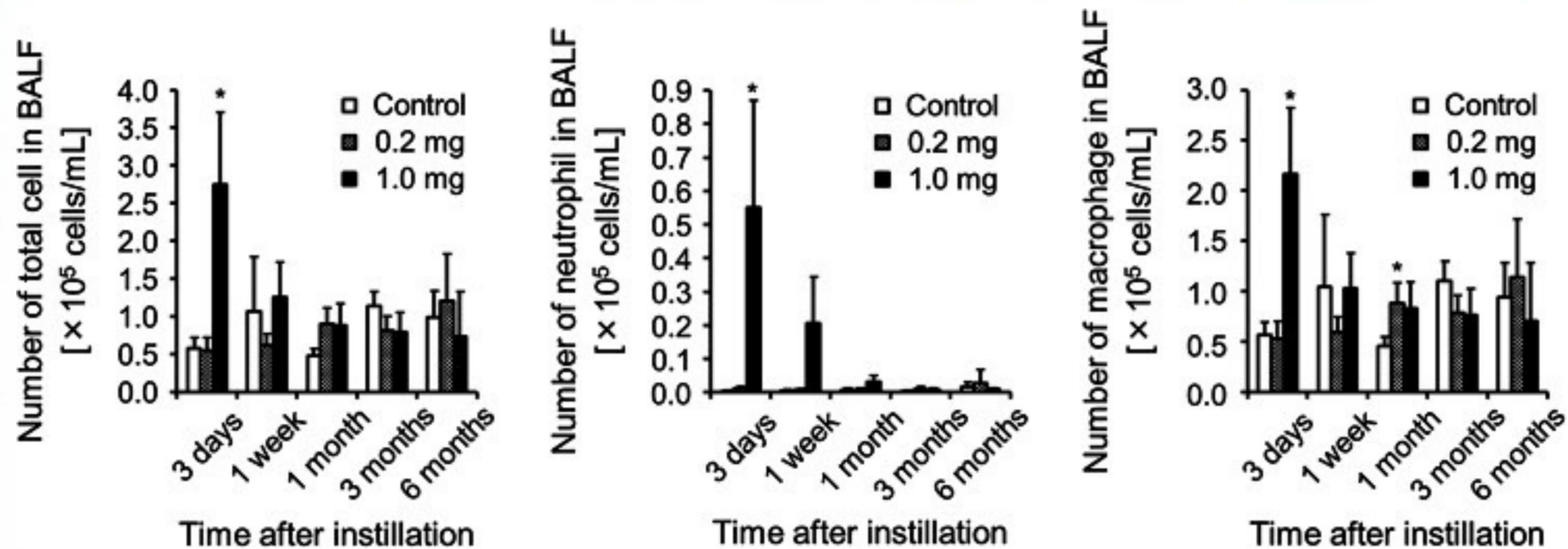
Ken Donaldson, Craig A. Poland, Fiona A. Murphy, Marion MacFarlane, Tatyana Chernova, Anja Schinwald

Pulmonary toxicity of carbon nanotubes and asbestos — Similarities and differences

Advanced Drug Delivery Reviews, Volume 65, Issue 15, 2013, 2078–20861

“The Working Group acknowledged that the above mechanisms are all relevant to humans. However, a majority did not consider the mechanistic evidence for carcinogenicity—especially concerning chronic endpoints—to be strong for any specific CNT. Furthermore, the lack of coherent evidence across the various distinct CNTs precluded generalisation to other types of CNTs. Thus, MWCNT-7 was classified as possibly carcinogenic to humans (Group 2B); and SWCNTs and MWCNTs excluding MWCNT-7 were categorised as not classifiable as to their carcinogenicity to humans (Group 3).”

TiO₂ INFLAMMATION



Analysis of BALF after intratracheal instillation of TiO₂ nanoparticles. Number of total cell, neutrophils, and macrophages in BALF were counted. *Each column and bar* represent the mean \pm standard deviation of five rats. *Asterisk* indicates significant differences compared with each control (ANOVA, Dunnett T3) ($*p < 0.05$)

« Les résultats disponibles font clairement ressortir que les nanomatériaux sont souvent plus toxiques et possèdent, à masse égale, un potentiel inflammatoire plus important, que les produits de même composition chimique, mais de taille micrométrique. »

Tiré du Guide IRSST

PRINCIPAUX PARAMÈTRES POUVANT INFLUENCER LA TOXICITÉ DES NANOPARTICULES

Paramètres les plus souvent corrélés aux effets

- Surface spécifique
- Nombre de particules
- Taille et distribution granulométrique
- Concentration
- Composition chimique (impuretés)
- Propriétés de surface
- Charge / Réactivité
- Recouvrement de surface
- Groupements fonctionnels
- Présence de métaux
- Potentiel à générer des radicaux libres (ROS)

Autres paramètres rapportés

- Solubilité
- Forme, porosité
- Degré d'agglomération / agrégation
- Biopersistance
- Structure cristalline
- Hydrophilicité / hydrophobicité
- Site de déposition pulmonaire
- Âge des particules
- Producteur, procédé et source de matériel utilisé

*Lesquels sont les plus importants ?
Lesquels mesurer ?*

■ **Lors de la production**

- Fuite du réacteur
- Récupération du produit
- Traitement postproduction
- Emballage, entreposage, expédition
- Entretien des équipements et des systèmes de ventilation

■ **Utilisation et transformation subséquente**

- Diversité de risques reliés aux applications spécifiques

Presque tous les procédés de production et de transformation offrent un potentiel d'exposition des travailleurs

POURQUOI ÉCHANTILLONNER ?

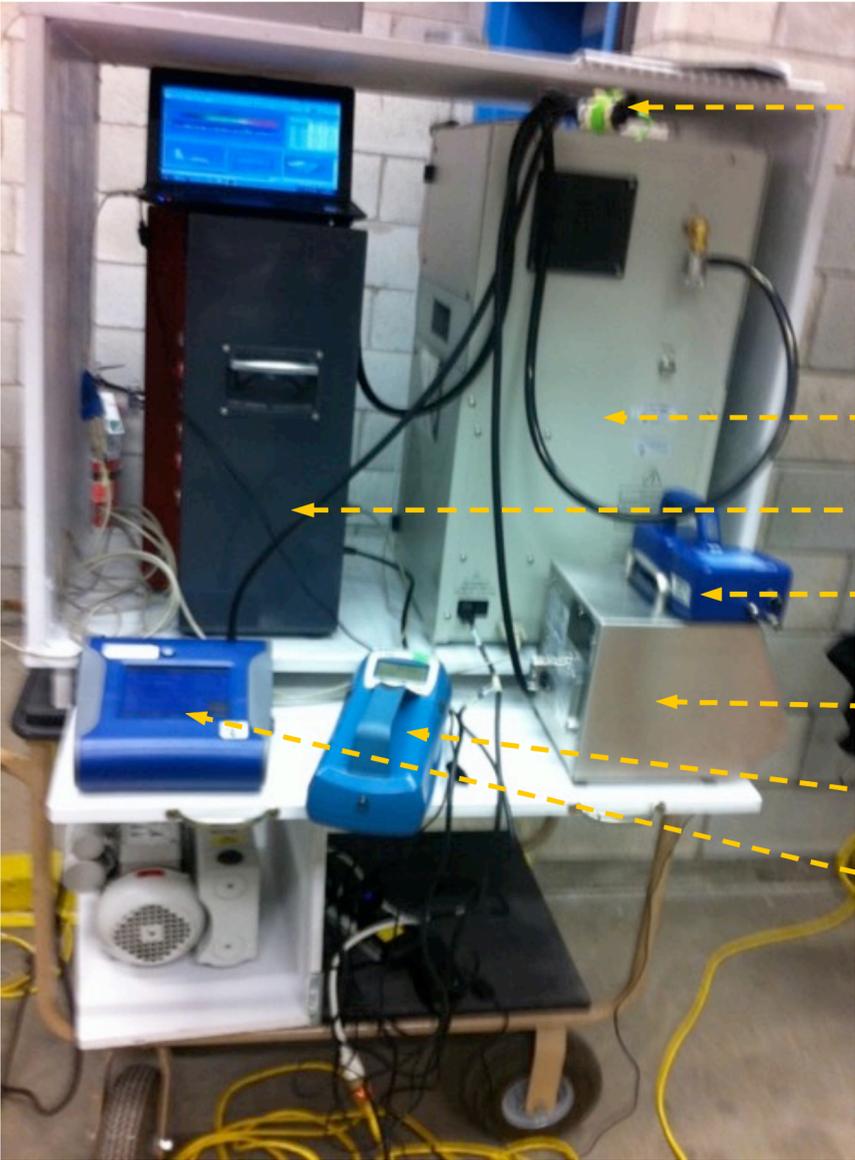
- Pour déterminer les **sources d'émission** afin de pouvoir établir un plan de contrôle des émissions
- Pour évaluer l'exposition personnelle en regard du **respect** de seuils spécifiques d'action visant l'implantation de mesures de maîtrise
- Pour évaluer **l'efficacité de mesures de maîtrise** mises en place

DÉTECTION SPÉCIFIQUE DES NANOPARTICULES

Faisable, mais encore un défi actuellement

- Beaucoup de particules déjà en suspension dans l'air
- Discrimination souhaitable entre nanoparticules et autres poussières
- Discrimination souhaitable entre agglomérat et particule individuelle – toxicité différente
- Mesure usuelle en mode gravimétrique et non en surface, nombre et granulométrie
- Appareils existants encombrants, peu propices à l'utilisation en milieu de travail et dispendieux
- Aucun appareil adapté à leur mesure en zone respiratoire et permettant la mesure simultanée de différents paramètres

ÉQUIPEMENTS UTILISÉS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE



Entrée d'air

EEPS 3090

ELPI

AeroTrak 9306

AeroTrak 9000

P-Trak 8525

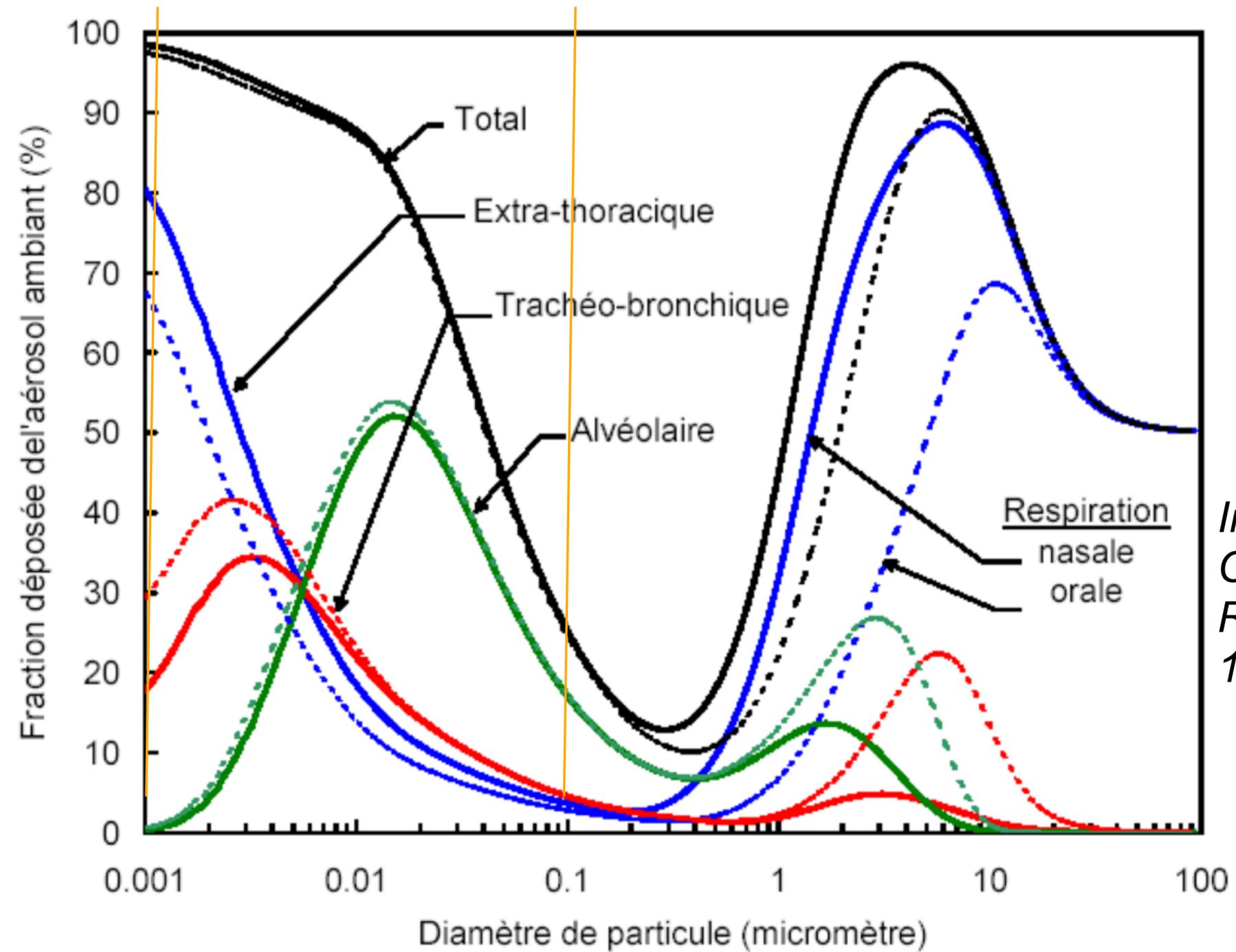
DustTrak 8533

VARIATION DANS LE TAUX DE DÉPOSITION PULMONAIRE

■ **En fonction :**

- de la dimension de la particule
- du degré d'agrégation / agglomération
- de la charge de travail
- de conditions personnelles et de maladies pulmonaires préexistantes

DÉPOSITION PULMONAIRE



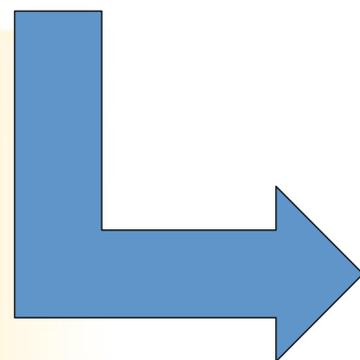
*International
Commission on
Radiological Protection,
1994*

- **Niveau extrathoracique**
 - Mécanismes normaux
 - Passage du nerf sensitif vers le cerveau
- **Niveau trachéobronchique**
 - Ascenseur muco-ciliaire
- **Niveau alvéolaire**
 - Efficacité des macrophages limitée si < 100 nm
 - Macrophages : problèmes avec nanotubes > 20 μm
 - *Transcytose* \rightarrow *circulation vers le sang*

ÉVALUATION DES RISQUES

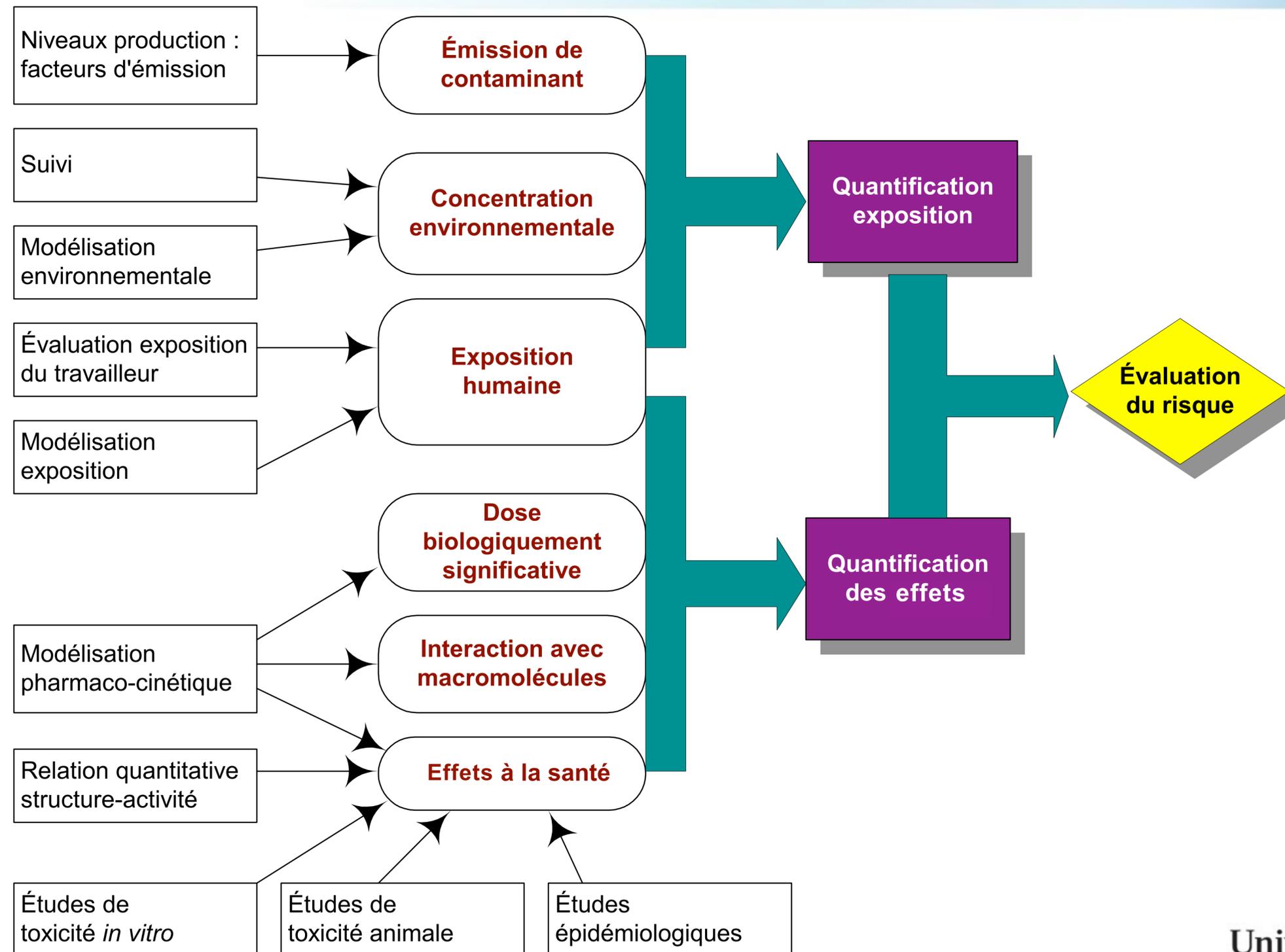
Le danger est une propriété inhérente d'une substance ou d'une situation ayant le potentiel de causer des effets lorsqu'un organisme, un système ou une population est exposé à cet agent.

Le risque est la probabilité que se produisent des effets sur un organisme, un système ou une population, dans des circonstances spécifiques d'exposition à un agent dangereux.

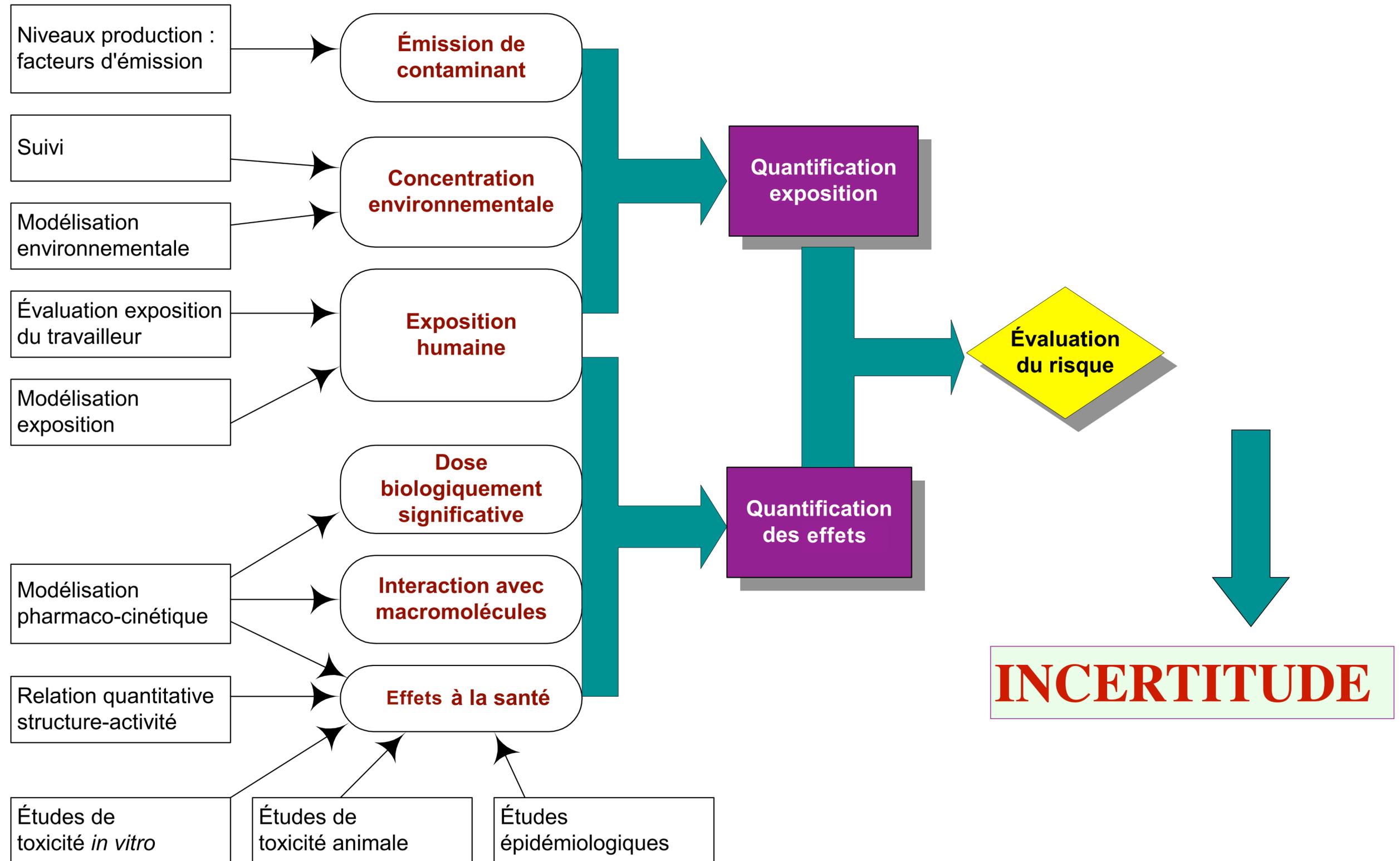


En présence d'un agent dangereux, le risque est nul s'il n'y a pas d'exposition.

DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU RISQUE



GESTION DE L'INCERTITUDE



APPROCHE PRÉVENTIVE

- Dans un contexte d'incertitudes, **la plus grande prudence est recommandée** de même que l'application d'une approche préventive basée sur le **principe de précaution**.
- Ce **principe de précaution** stipule que, confronté à un haut niveau d'incertitude scientifique, on devrait adopter une approche de précaution et réduire les impacts négatifs possibles en minimisant, entre autres, l'exposition professionnelle.

Ceci s'applique aux postes de travail où des nano-objets sont manipulés ou sont susceptibles d'être présents.

Une attention particulière doit être portée aux nano-objets pour lesquels :

- **les risques pour la santé ou la sécurité sont importants ou peu connus**
 - les caractéristiques physico-chimiques
 - les effets toxiques
 - le niveau d'exposition professionnelle
- **la solubilité est faible ou nulle**

En effet, le niveau de maîtrise doit être fonction de l'importance des risques documentés, estimés ou potentiels de même que des incertitudes relatives à ceux-ci.

Lorsque les informations disponibles requises pour réaliser une évaluation quantitative du risque sont insuffisantes, l'utilisation de l'approche de « control banding » (CB) est recommandée.

*Le CB permettra de déterminer les moyens de maîtrise **sécuritaires, mais réalistes**, à mettre en place.*

DÉTERMINATION BANDE DE MAÎTRISE

Probabilité d'exposition

Sévérité

	Très faible	Faible	Forte	Très forte
Très élevé	BC 3	BC 3	BC 4	BC 4
Élevé	BC 2	BC 2	BC 3	BC 4
Moyen	BC 1	BC 1	BC 2	BC 3
Bas	BC 1	BC 1	BC 1	BC 2

Bandes de contrôle

- **BC 1 : Ventilation générale**
- **BC 2 : Hottes et systèmes de ventilation à la source**
- **BC 3 : Circuit fermé**
- **BC 4 : Consulter un expert**

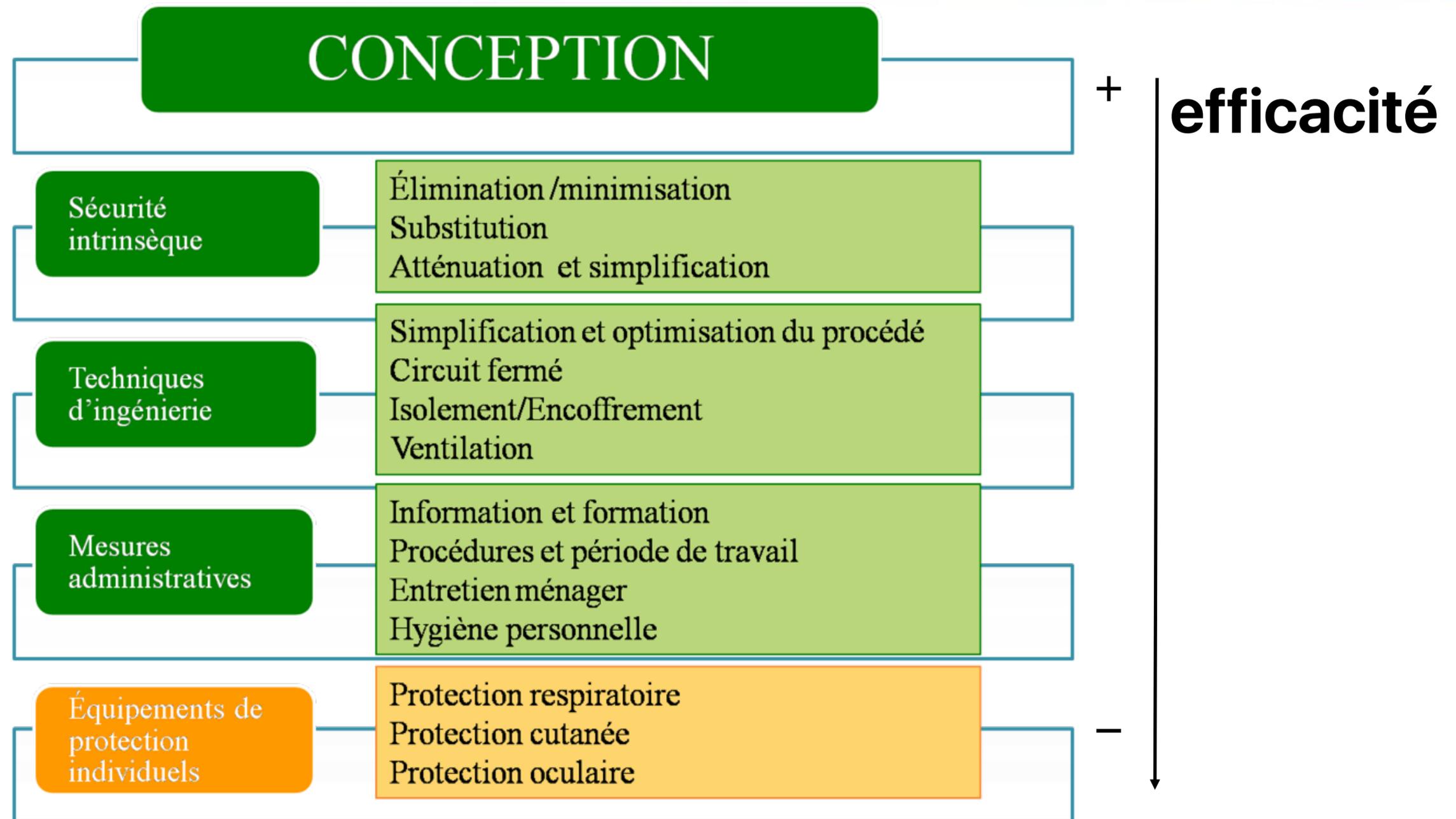
QUE PENSER DES NORMES ? / RECOMMANDATIONS ACTUELLES ?

- Constamment de nouvelles nanoparticules – nouveaux nano-objets
- Risques liés à la surface et à ses propriétés
- Plusieurs sont plus toxiques que les particules de même composition, mais de plus grande dimension
- Effets toxiques seulement partiellement connus
- Données insuffisantes pour établir une norme

- ***En conclusion :***
 - Normes actuelles absentes ou inadéquates

 - ***Difficile de faire des recommandations spécifiques avec les connaissances actuelles***

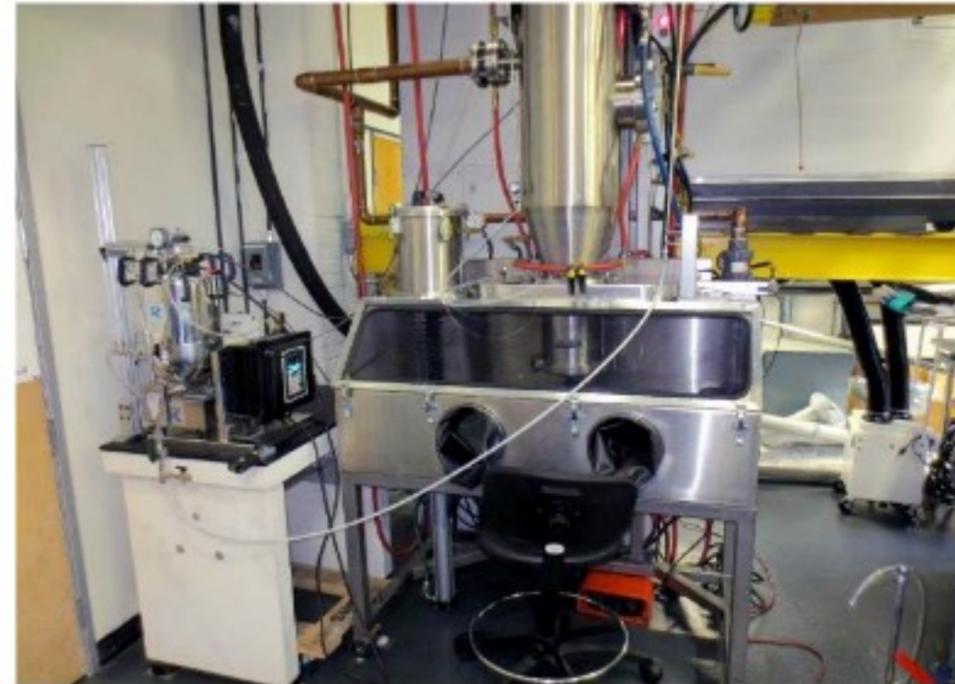
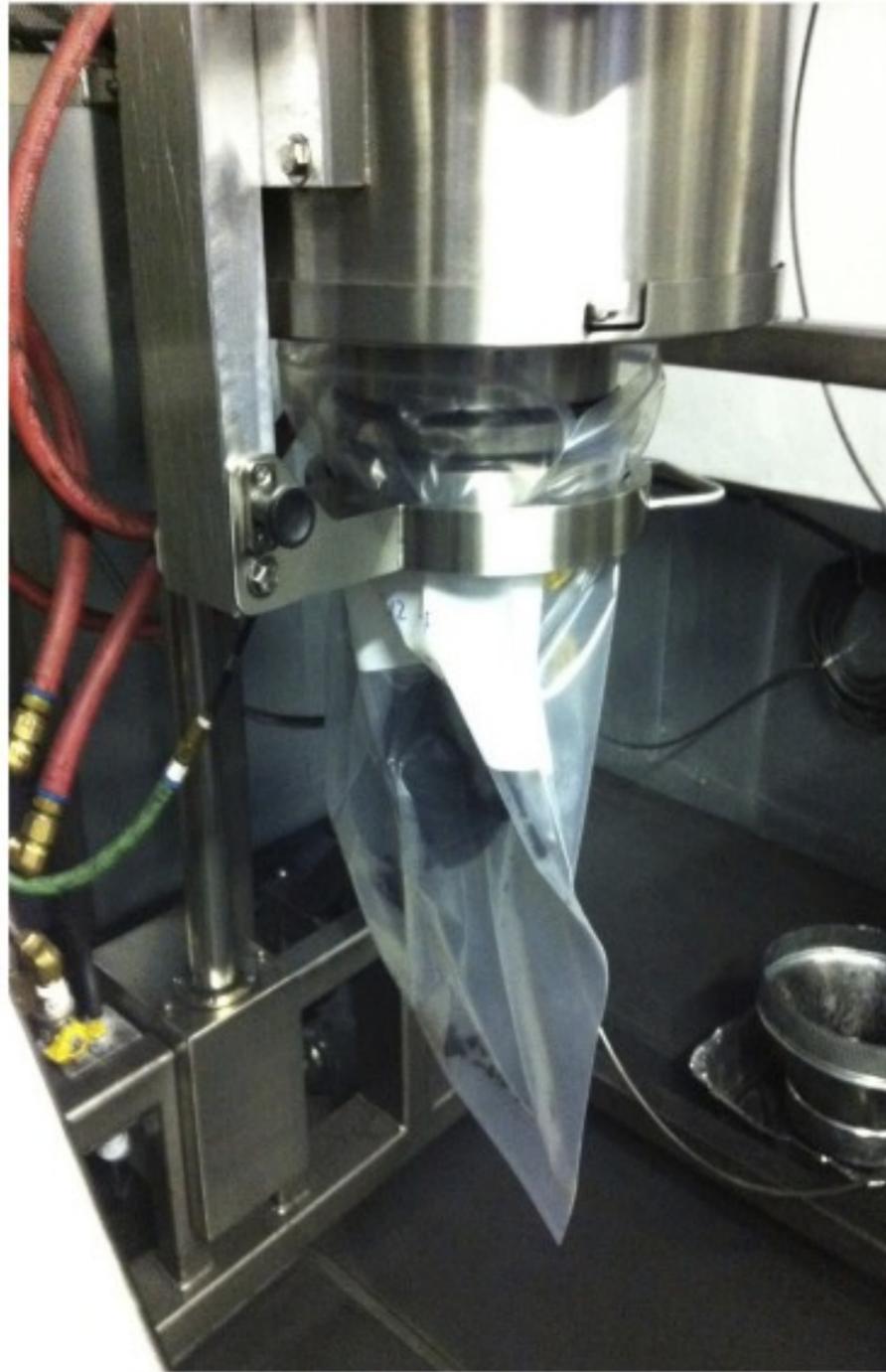
MOYENS DE MAÎTRISE



CAPTATION À LA SOURCE ET HOTTE DE LABORATOIRE



SYSTÈMES DE CAPTATION À LA SOURCE



BOÎTE À GANTS « MAISON »



CONFINEMENT DES ZONES DE TRAVAIL



ÉQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUEL



REMERCIEMENTS

- Étudiants du DSEST
- Marie-France d'Amours et membres du comité de suivi
- NanoQuébec
- Entreprises participantes
- Gilles L'Espérance et Philippe Plamondon (CM2, Polytechnique)

Merci !

