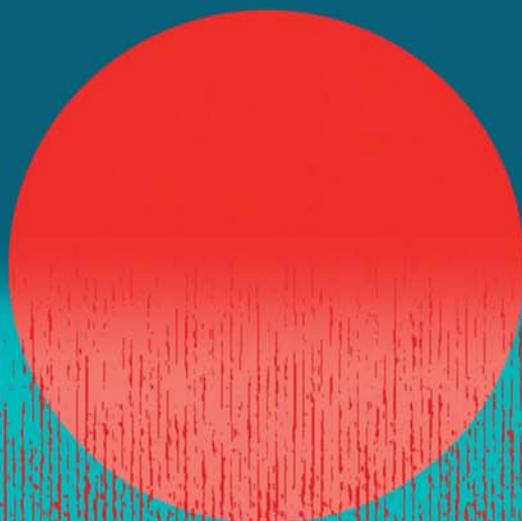


**AVIS D'EXPERTS**

# LES **NANOPARTICULES**

**UN ENJEU MAJEUR POUR LA SANTÉ AU TRAVAIL ?**

**Sous la direction de Benoît Hervé-Bazin**



AVIS D'EXPERTS

# Les nanoparticules

## Un enjeu majeur pour la santé au travail ?

Sous la direction de Benoît HERVÉ-BAZIN

Avec la collaboration de

Denis Ambroise, Denis Bémer, Stéphane Binet, Bruno Courtois,  
Bice Fubini, François Gensdarmes, Benoît Hervé-Bazin,  
Marie-Claude Jaurand, Ghislaine Lacroix, Dominique Lafon,  
Annie Laudet, Dominique Lison, Nicole Massin,  
Frédérique Roos, Dominique Thomas, Olivier Witschger



17, avenue du Hoggar  
Parc d'Activités de Courtabœuf, BP 112  
91944 Les Ulis Cedex A, France



Conception de la couverture : Éric Sault

Imprimé en France

ISBN : 978-2-86883-995-4

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2007

# Avant-propos

## Pourquoi un « Avis d'experts » ?

Les médias et le public se sentent directement concernés chaque fois qu'un risque nouveau apparaît ou qu'un risque ancien se révèle avoir été sous-estimé, particulièrement si sa portée est grande et si des connaissances ou des faits semblent avoir été masqués.

Il y a alors besoin, à bref délai, de fournir des informations qui répondent aux attentes et ne soient pas démenties à court terme. Ces informations doivent être compréhensibles par tous et permettre de savoir ce qui est considéré comme acquis par les scientifiques, sans cacher ce qui reste discuté ou peut rendre difficile la définition de mesures de prévention. Le public peut accepter que les scientifiques n'aient pas de réponse à toutes les questions ; il n'apprécie pas qu'on lui tienne un langage égotique ou qu'on lui cache la vérité. Une question peut être complexe ou incertaine au point d'être indécidable du point de vue scientifique, et le public a le droit de le savoir.

Cependant, comme l'exprimait Philippe Roqueplo<sup>1</sup>, « Pour dépasser les problèmes posés par la constitution en catastrophe des collèges d'experts, je crois en outre qu'il faut envisager de les faire fonctionner en continu, et de les encourager à publier comme d'authentiques connaissances les conclusions auxquelles ils parviendront, quand bien

---

<sup>1</sup>. Philippe Roqueplo, « Entre savoir et décision, l'expertise scientifique », INRA Éditions (1997), 147 rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07.

même elles demeureraient incertaines. » Il faut alors, logiquement, que se constituent des collègues capables de se saisir des problèmes « avant même qu’il devienne politiquement urgent d’intervenir », capables de travailler de façon stable et « de façon à la fois pluridisciplinaire et rigoureuse ». C’est dans cet esprit qu’a été conçue la rédaction d’avis d’experts.

## **Le choix d’un sujet**

La première difficulté est celle du choix d’un sujet. Il est rare de pouvoir mettre en évidence et étudier un risque, nouveau ou nécessitant une mise au point réactualisée, dans de bonnes conditions. Si c’est fait trop tôt, personne n’en saisit l’intérêt ; si c’est fait trop tard, ne serait-ce qu’en raison des délais nécessaires à l’élaboration d’une réponse documentée et réfléchie – seule réponse réellement constructive – voilà les experts critiqués de toutes parts. Par ailleurs, on peut toujours craindre qu’un sujet qui devient « brûlant » soit oublié quelques jours ou quelques semaines plus tard.

En essayant de dégager des critères généraux, on peut dire que les sujets à traiter devraient *a priori* :

- répondre à des questions en émergence, ou susceptibles de devenir pressantes ;
- bénéficier de données en quantité suffisante, mais sans conclusions scientifiques entièrement stabilisées sur des points importants ;
- correspondre à de forts enjeux de prévention.

## **Modalités d’élaboration de l’avis d’experts**

Le présent avis d’experts a été préparé, à l’initiative de l’INRS, dans le cadre d’une méthodologie validée par sa Commission scientifique. Le sujet a été approuvé par le Conseil d’administration, sur proposition motivée de la Direction scientifique.

Après constitution d’un groupe d’experts selon des critères de compétence (tels que connaissance du sujet, formation scientifique, technique ou médicale, expérience de terrain), de langue (facilités d’échanges et de déplacements) et de disponibilité concrète (permettant une participation effective à la définition et à la réalisation du projet), un avant-plan détaillé du projet a été établi, et les tâches rédactionnelles réparties en fonction des compétences, délais et disponibilités. A suivi la rédaction des parties convenues par chacun des experts ayant accepté cette responsabilité.

Les experts ne parlent qu’en leur nom propre, et non en celui de leur employeur ; ils ont la possibilité de travailler en collaboration avec d’autres experts de leur choix, mais gardent la responsabilité personnelle de leur rédaction.

La notion d'*expert indépendant* étant partiellement utopique, il a semblé utile de privilégier la transparence par les dispositions suivantes :

- chaque expert présente personnellement ses titres de compétence (par exemple : formation, parcours professionnel, expérience personnelle du sujet traité) ;
- il explicite obligatoirement ses liens avec le sujet qui ont donné, ou donnent encore, lieu à rémunération directe ou indirecte ;
- il ne s'exprime qu'à titre personnel et ne représente que lui-même ; cela lui confère à la fois responsabilité et liberté d'expression ;
- les experts participant au projet peuvent, en cas de divergence avec un point de vue présenté par l'un d'eux, rechercher si un point de vue commun peut être dégagé. Dans la négative, les points de vue différents seront présentés dans des conditions analogues (écrits et accompagnés d'une bibliographie), intégrés au projet final et clairement identifiés.

Pourquoi prévoir de telles dispositions ? Il faut prendre conscience que « L'expertise exige des scientifiques qu'ils expriment des convictions qui vont bien au-delà de leur savoir »<sup>2</sup>, et que c'est cette distance entre expertise et science qui leur permet de s'engager dans une aventure collective sans risquer une mise en cause de leur compétence ou de leur probité personnelles. De plus, la confrontation d'experts de cultures différentes apporte à l'administration qui peut avoir à prendre des décisions, des éclairages différents, « susceptibles de justifier des orientations politiques elles-mêmes différentes »<sup>3</sup> et peut l'amener à nuancer ou à réviser des orientations décisionnelles déjà quasi élaborées.

La réalisation de cet avis a montré que ces dispositions sont sans doute trop théoriques. Il conviendra donc de les affiner ou de les modifier en privilégiant la clarté des choix effectués.

## Statut et diffusion du document

Ce document, préparé par l'INRS, présente donc un « Avis d'experts » qui n'est pas nécessairement son point de vue officiel, mais une mise au point dont il a pris l'initiative, à laquelle il a participé, et à laquelle il a apporté son soutien logistique. Il s'agit, en définitive, d'un document d'information qui peut servir de base de travail et/ou de décision à tous ceux qui désirent l'utiliser à leurs fins propres, à seule charge pour ces derniers de citer leurs sources.

---

<sup>2</sup>. *Ibid.*

<sup>3</sup>. *Ibid.*

Des diffusions spécifiques, adaptées aux milieux intéressés, pourront être préparées par l'INRS ou par d'autres, en fonction des besoins. Elles feront obligatoirement référence au document final intégral.

Après adoption formelle du document final, l'INRS organise si nécessaire une conférence de presse, à laquelle tous les experts ayant participé au projet sont invités.

B. HERVÉ-BAZIN

Si, après lecture attentive de cet « Avis d'experts », vous avez des remarques ou suggestions à faire, merci de les faire parvenir à :

Benoît Hervé-Bazin  
Direction scientifique, chargé de mission  
Avenue de Bourgogne  
54501 VANDŒUVRE Cedex

# Préambule

Issues des microtechnologies, les nanotechnologies représentent aujourd'hui un enjeu économique majeur pour les sociétés développées. Elles permettent des innovations de rupture dans différents domaines : santé, énergie, information, transports...

Ce constat explique sans doute pourquoi l'Europe, les États-Unis et le Japon consacrent chacun environ un milliard d'euros par an à la recherche et au développement dans ce domaine porteur. C'est devenu un élément de performance et de compétitivité.

Emportés par l'élan, par la faible culture de nombre de milieux de la recherche pour la sécurité, et par la compétition, des financements ont surtout été orientés vers l'application. Retour classique de balancier, l'irrationnel et la peur viennent ternir le bel enthousiasme pour un futur enfin radieux ! Il est vrai que, sur un tel sujet, les connaissances des dangers pour l'homme sont très lacunaires, et donc qu'il est possible de perturber l'opinion du public ! C'est dans ce contexte que l'on a pu observer des médiatisations dont les fondements scientifiques faisaient plutôt défaut.

L'INRS, chargé d'agir pour l'amélioration des conditions de travail et la prévention des risques professionnels, a fondé sa légitimité sur la qualité de ses recherches et de ses expertises scientifiques. Il est en effet important d'asseoir ses avis sur l'existant validé : c'est la raison qui nous a amenés à demander à Benoît Hervé-Bazin, chargé de mission à la Direction scientifique de l'INRS, un récidiviste (*cf.* « Le risque cancérigène du plomb – Évaluation en milieux professionnels » – EDP Sciences, 2004), d'animer une réflexion scientifique sur les nanomatériaux, ou plutôt sur les particules ultra-fines, en termes de risques pour les opérateurs.

Ce travail d'expertise scientifique vraie ne définit pas la position de l'INRS, mais constitue un document de référence qui, compte tenu des évolutions, va vieillir vite ; en tout cas, c'est un souhait, parce que l'on aura pris en considération une nécessaire recherche permettant de combler les lacunes les plus criantes...

Pour le réaliser, Benoît Hervé-Bazin s'est entouré d'experts scientifiques d'horizons différents, permettant la couverture optimale du sujet. Cette référence n'est pas un but en soi mais oblige à se poser les bonnes questions au moment où certains souhaitent définir des bonnes pratiques sans support scientifique, proposer des normes « acceptables » ne s'appuyant pas sur du solide....

Merci donc à toute l'équipe qui nous fait rentrer dans le nanomonde en examinant les dangers qu'il est susceptible de créer si l'on n'y prend garde.

J.-C. ANDRÉ  
Directeur scientifique de l'INRS

# Table des matières

<b>Avant-propos</b>	3
<b>Préambule</b>	7
<b>Les auteurs</b>	16
<b>Introduction</b>	19
1. Pourquoi choisir « les particules ultra-fines » ?	19
1.1. Une question en émergence	20
1.2. Des données nombreuses, mais de grandes zones d'ombre...	23
1.3. Des enjeux très importants pour la prévention	27
2. Pourquoi un tel intérêt pour les particules ultra-fines ?	29
3. Portée, limites et organisation de l'ouvrage	32
3.1. Définition des particules ultra-fines (PUF)	32
3.2. Sélection et analyse des références	33
3.3. Plan de l'ouvrage	34
3.4. Conseils et avertissements finaux	35
Bibliographie	36
<b>Chapitre 1. Généralités sur les particules ultra-fines</b>	<b>45</b>
1. Définition d'un aérosol ultra-fin	45
Bibliographie	48
2. Comportement physique des particules ultra-fines (PUF)	49
Introduction	49
2.1. Domaine moléculaire	49

2.2. Mouvement des particules	52
2.3. Coagulation des particules	60
2.4. Les phénomènes de nucléation, d'évaporation et de condensation	63
2.5. Dépôt des particules	65
Conclusion	69
Bibliographie	70
3. Filtration des aérosols	72
Introduction	72
3.1. Efficacité d'un filtre et de ses facteurs	73
3.2. Évolution des performances du filtre au cours du colmatage	82
3.3. Équipements de protection respiratoire	84
Conclusion	86
Bibliographie	87
4. Généralités sur les propriétés de surface	89
4.1. Rôle de la surface dans les interactions particules/matière vivante	89
4.2. Évaluation de la surface	91
4.3. Propriétés de surface impliquées dans la réponse biologique	92
4.4. Particularités des PUF par rapport aux particules micrométriques	93
4.5. Agglomération des particules	93
Bibliographie	94
5. Aperçus pour quelques autres propriétés	95
5.1. Solubilité	95
5.2. Agrégation/désagrégation	97
5.3. Translocation et taille	101
<b>Chapitre 2. Caractérisation et sources des aérosols ultra-fins</b>	<b>105</b>
1. Caractérisation physique des particules ultra-fines	105
1.1. Paramètres pour la caractérisation physique des particules (taille, forme, quantité)	106
1.2. Méthodes de caractérisation des particules ultra-fines dispersées dans l'air	118
1.3. Éléments pour la caractérisation de l'exposition professionnelle	135
Conclusion	139
Bibliographie	139
2. Aérosols ultra-fins dans l'environnement	143
Introduction	143
2.1. Sources de particules dans l'atmosphère	143
2.2. Granulométrie de l'aérosol atmosphérique	146
2.3. Évolution de l'aérosol atmosphérique	149
2.4. Cas particuliers d'aérosols ultra-fins dans l'atmosphère	151
Conclusion	154
Bibliographie	154
3. Aérosols ultra-fins en milieux professionnels	157
Introduction	157

3.1. Catégories et terminologie	161
3.2. Émissions secondaires liées à certains procédés industriels	162
3.3. Fabrication et manipulation de matériaux connus à structure nanométrique	176
3.4. Fabrication et manipulation de nouveaux matériaux (nanomatériaux)	181
Conclusion	185
Bibliographie	186
<b>Chapitre 3. Voies de pénétration dans l'organisme</b>	<b>191</b>
1. Inhalation et dépôt dans les voies respiratoires	191
1.1. Voies respiratoires	192
1.2. Inhalation des particules	195
1.3. Dépôt des particules inhalées	196
Conclusion	215
Bibliographie	215
2. Clairance pulmonaire. Distribution et devenir dans l'organisme	217
2.1. Tractus respiratoire supérieur	218
2.2. Arbre trachéobronchique	218
2.3. Région alvéolaire	218
2.4. Distribution et translocation	221
Bibliographie	225
3. Particules ultra-fines et pénétration par la voie cutanée	229
3.1. Dioxyde de titane TiO <sub>2</sub>	231
3.2. Oxyde de zinc ZnO	235
3.3. Données de pénétration cutanée relatives à d'autres PUF	237
3.4. Aperçu synthétique des publications	240
3.5. Discussion	243
Conclusion	247
Bibliographie	249
4. Pénétration au cerveau par la voie nasale	257
Introduction – Le passage d'espèces chimiques vers le cerveau	257
4.1. Passage d'éléments métalliques dans l'encéphale – Cas du manganèse (résumé)	261
4.2. Passage d'autres espèces chimiques au cerveau <i>via</i> les fosses nasales	267
4.3. Discussion	273
Conclusion	277
Bibliographie	277
<b>Chapitre 4. Données de toxicologie issues de l'environnement</b>	<b>283</b>
1. Études expérimentales (domaine de l'environnement)	283
Introduction	283
1.1. Toxicologie de la pollution atmosphérique particulaire globale (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> )	285
1.2. Fraction ultra-fine de la pollution particulaire	296

Conclusion générale	299
Bibliographie	300
2. Études épidémiologiques des effets sur la santé des particules ultra-fines environnementales	306
Introduction	306
2.1. Types d'études	306
2.2. Principaux résultats des études portant sur les fractions particulières PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub>	307
2.3. PUF et études épidémiologiques	309
Synthèse	319
Bibliographie	321
Annexe – Tableaux de synthèse	323
3. Données humaines en conditions d'exposition contrôlée	325
3.1. Contexte	325
3.2. Études de dosimétrie	327
3.3. Essais cliniques (effets inflammatoires dus à l'inhalation de PUF)	332
3.4. Discussion et conclusion	337
Bibliographie	340
4. Pollution particulaire environnementale, particules ultra-fines et cancer	342
Bibliographie	345
<b>Chapitre 5. Quelques cas concrets (1) : oxydes simples ou complexes</b>	<b>349</b>
1. Oxyde de zinc	350
Bibliographie	354
2. Dioxyde de titane	355
2.1. TiO <sub>2</sub> non ultra-fin (rappels résumés)	356
2.2. TiO <sub>2</sub> ultra-fin (seul ou en comparaison)	359
Conclusion	373
Bibliographie	375
3. Silices amorphes	379
Introduction	379
3.1. Silices amorphes synthétiques	380
3.2. Silices amorphes sous-produits de la métallurgie (fumées de silice)	383
3.3. Propriétés toxicologiques expérimentales des silices amorphes	385
3.4. Données toxicologiques rapportées chez l'homme	397
Conclusion	402
Bibliographie	403
4. Fumées de soudage	407
Introduction	407
4.1. Effets sur la santé humaine	410
4.2. Données expérimentales	415
Discussion	418
Conclusion	420
Bibliographie	421

<b>Chapitre 6. Quelques cas concrets (2) : particules à base de carbone</b>	<b>423</b>
1. Toxicité des particules ultra-fines de noirs de carbone (Cas n° 1333-86-4)	423
1.1. Définition et structure physicochimique	423
1.2. Production	424
1.3. Propriétés chimiques et physiques	425
1.4. Niveaux d'exposition atmosphérique en milieux de travail	427
1.5. Propriétés toxicologiques des noirs de carbone	428
1.6. Toxicité du noir de carbone ultra-fin	432
1.7. Toxicocinétique et biodisponibilité	444
Conclusion	444
Bibliographie	446
2. Pollution particulaire diesel et toxicité	449
2.1. Généralités sur les émissions diesels	449
2.2. Toxicologie de la pollution particulaire diesel	452
Conclusion	465
Bibliographie	466
3. Fullérènes	472
3.1. Nature	472
3.2. Production	473
3.3. Propriétés physicochimiques	474
3.4. Utilisations	475
3.5. Propriétés toxicologiques	475
Commentaires	480
Bibliographie	482
4. Nanotubes de carbone	485
4.1. Nature, production, utilisations	486
4.2. Toxicité <i>in vitro</i>	487
4.3. Toxicité cutanée et oculaire	489
4.4. Toxicité pulmonaire	490
Conclusion	494
Bibliographie	495
<b>Chapitre 7. Discussion (1).</b>	
<b>Particules ultra-fines : propriétés physicochimiques et activité biologique</b>	<b>499</b>
1. Propriétés de surface et réactivité des PUF	499
1.1. Rôle de la surface dans la génération des radicaux libres	499
1.2. Rôle des propriétés de surface dans l'interaction avec des macromolécules biologiques	506
1.3. Effet des dimensions des particules dans l'interaction avec les cellules et dans l'adsorption des protéines	514
1.4. Rôle de la surface spécifique des PUF sur l'intensité et la spécificité de la réponse biologique	517
Bibliographie	522

2. Étude critique du rôle des paramètres physiques dans l'activité biologique	530
Introduction	530
2.1. Contexte des études toxicologiques visant à déterminer les paramètres des PUF pertinents pour l'évaluation de leurs effets physiopathologiques	531
2.2. Bilan des données expérimentales sur le(s) paramètre(s) les plus représentatifs de l'effet observé (rôle de la surface, de la masse, du nombre)	534
2.3. Données expérimentales sur le rôle des radicaux libres	548
2.4. Commentaires sur les critères d'évaluation des dommages biologiques potentiels utilisés dans les différentes études	551
Bibliographie	555
<b>Chapitre 8. Discussion (2).</b>	
<b>Paramètres chimiques de la toxicité des particules ultra-fines</b>	<b>561</b>
1. Rôle des substances adsorbées	561
Introduction générale sur les propriétés physicochimiques des particules	561
1.1. Rôle des constituants chimiques adsorbés dans la toxicité des particules	563
1.2. Rôle du corps de la particule <i>versus</i> les composés chimiques adsorbés	567
Conclusion	568
Bibliographie	569
2. Hydrocarbures aromatiques polycycliques adsorbés	572
2.1. Contexte	572
2.2. Caractérisation physicochimique des particules carbonées	574
2.3. Cinétique et métabolisme (homme et animaux)	575
2.4. Études expérimentales sur le rôle des HAP dans les effets physiopathologiques des particules de carbone	581
Conclusion	584
Bibliographie	587
3. Part des métaux dans la toxicité des particules	591
Bibliographie	596
4. Nature de la substance	598
Bibliographie	602
5. Particules microniques et particules ultra-fines du même matériau : quels changements ?	604
5.1. Aspects toxicocinétiques	605
5.2. Aspects toxicodynamiques	607
Bibliographie	609
<b>Chapitre 9. Discussion (3) et conclusions</b>	<b>615</b>
1. Quelle applicabilité de ces connaissances à l'homme ?	615
1.1. Contexte	615
1.2. Éléments du dossier	616
1.3. Applicabilité et prévention	622
Conclusion	626
Bibliographie	627

2. Quelles mesures de prévention définir ou envisager ?	630
Introduction : mesures générales de prévention (VDI, 2004)	630
2.1. Mesures générales de prévention sur les lieux de travail	632
2.2. Risques d'incendie ou d'explosion	634
Bibliographie	634
2.3. Filtration et prévention	635
2.4. Valeurs limites d'exposition professionnelle	635
Bibliographie	651
<b>Conclusions générales</b>	<b>657</b>
1. Dangers et risques présentés par les particules ultra-fines : synthèse et questionnements	657
1.1. Définition des PUF et contexte de cet ouvrage	657
1.2. Pénétration des PUF dans l'organisme	658
1.3. Synthèse et discussion sur les déterminants de la toxicité des PUF	660
1.4. Quelles mesures de prévention, de précaution ?	667
1.5. Quelles pistes de recherche ?	668
1.6. Observations finales	669
Bibliographie	669
2. Conclusions et recommandations du groupe de travail	671
2.1. Contexte d'ensemble	671
2.2. Identification des nanoparticules	672
2.3. Suivi des nanoparticules (« traçabilité »)	672
2.4. Métrologie	672
2.5. Risques toxicologiques	673
2.6. Prévention, précaution	673
2.7. Besoins de recherches	674
3. Pistes de recherches en hygiène et sécurité au travail	674
3.1. Améliorer la connaissance des procédés de fabrication et des produits fabriqués	675
3.2. Améliorer nos capacités métrologiques et nos connaissances techniques	675
3.3. Développer les connaissances toxicologiques	676
3.4. Développer des mesures de prévention adaptées aux PUF	679
3.5. Optimiser nos stratégies de résolution de difficultés	680
Bibliographie	681
<b>Annexe – Quelques rapports sur les nanoparticules</b>	<b>683</b>
<b>Table des abréviations</b>	<b>686</b>
<b>Glossaire</b>	<b>689</b>

# Les auteurs

■ Denis AMBROISE

Épidémiologiste à l'INRS (Vandœuvre).

■ Denis BÉMER

Responsable d'étude à l'INRS.

■ Stéphane BINET

Pharmacien-toxicologue à l'INRS (Vandœuvre), spécialisé en cancérogenèse expérimentale et valeurs limites d'exposition professionnelle.

■ Bruno COURTOIS

Ingénieur chimiste à l'INRS (Paris).

■ Bice FUBINI

Professeur de chimie à la faculté de pharmacie, et directeur du « Centre interdépartemental pour les études sur les amiantes et autres particules toxiques » (G. Scansetti), université de Turin, Italie.

■ François GENSDARMES

Docteur en sciences des aérosols. Ingénieur de recherche à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

■ Benoît HERVÉ-BAZIN

Ingénieur chimiste à l'INRS (Vandœuvre) – Chargé de mission à la Direction scientifique.

■ Marie-Claude JAURAND

Directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM – Créteil).

■ Ghislaine LACROIX

Docteur en toxicologie à l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS – Creil) – Spécialisée dans l'étude des effets des polluants atmosphériques sur la santé.

■ Dominique LAFON

Médecin toxicologue à l'INRS (Paris).

■ Annie LAUDET

Toxicologue à l'INRS (Paris).

■ Dominique LISON

Professeur à l'Université catholique de Louvain (Bruxelles, Belgique). Faculté de médecine, Unité de toxicologie industrielle et de médecine du travail.

■ Nicole MASSIN

Médecin épidémiologiste à l'INRS (Vandœuvre).

■ Frédérique ROOS

Médecin toxicologue à l'INRS (Paris).

■ Dominique THOMAS

Professeur à l'université Henri Poincaré – Nancy I – Spécialisé en filtration des aérosols.

■ Olivier WITSCHGER

Docteur en sciences des aérosols. Ingénieur de recherche au département de Métrologie des polluants de l'INRS (Vandœuvre).

Avec l'assistance de :

■ Claudine CÉRICOLA

Secrétaire à l'INRS, département direction scientifique (Vandœuvre).

## Remerciements aux auteurs

Tout d'abord, je tiens à remercier ceux de mes collègues de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) qui ont accepté de prendre le risque de participer à la rédaction de cet « avis d'experts », d'une part sans trop savoir où nous allions vraiment – car on ne le sait que quand le travail est achevé – et d'autre part malgré leur connaissance de mes défauts, vite repérés chez ceux que l'on côtoie. L'un d'eux est d'être, comme on dit, de « l'ancienne école », c'est-à-dire une école d'exigence, de rigueur, de respect des délais, toutes choses qui ont toujours été difficiles à accepter. Car cela sous-entend relances, relectures, questionnements, justifications, retouches, ajouts de nouvelles publications, etc. Plusieurs ont accepté avant d'avoir eu le temps d'examiner vraiment les données relatives au sujet précis – mais pas nécessairement simple – qui leur était proposé. Les mauvaises langues y verraient de l'inconscience, j'y vois du courage et de la confiance. Un grand merci, donc, ainsi qu'à ma hiérarchie, qui m'a toujours soutenu dans la durée, y compris aux moments un peu plus difficiles.

Mes remerciements sont, pour les experts externes à notre Institut, empreints d'une même reconnaissance. Car comment peut-on accepter de travailler avec et, d'une certaine façon, pour quelqu'un que l'on ne connaît pas vraiment, surtout quand on a déjà du travail et des projets par-dessus la tête, et un savoir et une expérience qui seraient peut-être mieux valorisés ailleurs ? Pourtant, je n'ai reçu, dès le début, que des réponses positives, dans lesquelles je vois une certaine confiance et un grand intérêt pour la thématique proposée. Non seulement ces experts ont largement fait leur part de travail, mais ils l'ont fait avec conscience, compétence et rapidité. Ce livre leur doit une valeur ajoutée inestimable, et je les en remercie chaleureusement.

À tous et à chacun je dédie cet ouvrage.

B. HERVÉ-BAZIN

# Introduction

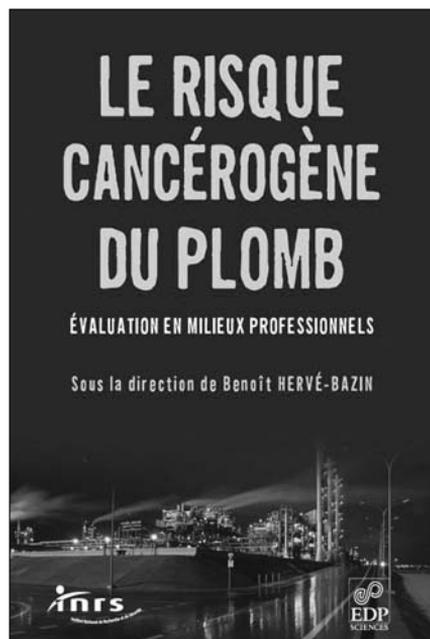
B. Hervé-Bazin

## 1. Pourquoi choisir « les particules ultra-fines » ?

Depuis longtemps, on sait que la pollution atmosphérique peut tuer ; plusieurs épisodes l'ont rappelé au vingtième siècle, par exemple le fameux épisode du « smog » de décembre 1952 à Londres, lequel a provoqué, en quatre jours, de l'ordre de 4 000 décès de plus qu'attendu dans les conditions usuelles. La recherche et l'étude de corrélations entre décès ou morbidité et variations de concentrations de particules (évaluées en fumées noires) ou de dioxyde de soufre ont indiqué la très probable responsabilité de ces agents et constitué un premier lien entre exposition à des particules fines ou ultra-fines et effets sur la santé humaine, à l'origine de la fixation d'une valeur limite environnementale pour les particules fines par l'EPA en 1987 (POST, 1996). Les recherches ont progressé depuis, dans le domaine environnemental, tant en extension (dans de nombreux pays) qu'en performances techniques (nombre et qualité des mesurages, méthodes de dépouillement statistique). Or, bien que des particules fines ou ultra-fines aient été présentes sur les lieux de travail depuis toujours, l'intérêt à leur égard, ainsi que les recherches méthodologiques ou toxicologiques, sont restés limités. Actuellement, la naissance partout saluée des « nanotechnologies » et autres « nanoparticules », et leur développement très rapide, ont provoqué des réactions d'inquiétude devant des risques qui semblaient nouveaux, en tout cas mal connus.



## Dans la même collection



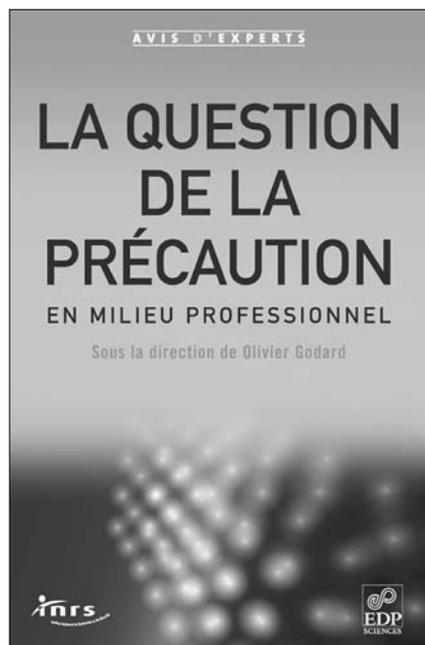
### Le risque cancérogène du plomb Évaluation en milieux professionnels

*Benoît Hervé-Bazin, coord.*

« Le plomb, cancérogène ? » La réponse ne semble pas évidente, tant l'information, sur l'action de ce métal est contradictoire. De nombreuses études épidémiologiques ont pourtant mis en évidence l'action du plomb dans des cancers de l'estomac, du rein, du poumon touchant des populations exposées professionnellement au plomb ou à ses composés minéraux.

Édité en collaboration avec l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), et sous la direction de Benoît Hervé-Bazin, cet ouvrage réalise le premier point jamais effectué sur le plomb et les risques que ce métal représente aux niveaux sanitaire, économique et sociétal.

• 2-86883-703-4 • 360 pages • 42 € • 2004



### La question de la précaution En milieu professionnel

*Olivier Godard, coord.*

Depuis une trentaine d'années, le principe de la précaution sert de repère pour guider l'action face à des dangers qui ne sont pas complètement établis par les connaissances scientifiques disponibles. Cet ouvrage aborde de nombreux aspects de la question de précaution en milieu professionnel : historique, concepts, évolution... ainsi que des cas jugés exemplaires. Bien que ce principe soit sujet à polémique, il s'est néanmoins imposé de façon durable et se développe encore (sécurité alimentaire et santé publique).

Ce livre est le fruit d'un important groupe de travail animé par Olivier Godard, directeur de recherche au CNRS et professeur à l'École polytechnique.

• 2-86883-911-8 • 256 pages • 32 € • 2006