

Aide au repérage des nanomatériaux manufacturés en entreprise

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de prévention et de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés...

Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2023.

Édition : Nadia Luzeaux (iNRS)

Conception graphique : Julie&Gilles

Mise en pages : Valérie Latchague Causse

ED 6174 |
Juillet 2023

Démarche de prévention
Risques

Aide au repérage des nanomatériaux manufacturés en entreprise

Brochure INRS mise à jour par M. Ricaud.

Elle a été initialement élaborée par un groupe de travail coordonné par M. Ricaud et C. Oillic-Tissier, service Prévention des risques professionnels, Carsat Alsace-Moselle.

Il est composé des membres suivants, issus principalement des services Prévention des risques professionnels :

- P. Barbillon, Carsat Nord-Est,
- C. Brugnot, Carsat Auvergne,
- C. Dolle, Carsat Nord-Picardie,
- L. Fina, Carsat Sud-Est,
- P. Ledon, Carsat Centre,
- F. Maitre, Cram île-de-France,
- J.-M. Odoit, Carsat Rhône-Alpes.

Sommaire

Introduction	3
1 Nanomatériaux : état des connaissances	4
1.1. Généralités	4
1.2 Repérage et identification des nanomatériaux	8
1.3 Évaluation de l'exposition professionnelle	9
1.4 Mesures de prévention	9
2 Nanomatériaux : secteurs concernés	11
2.1 Agroalimentaire	11
2.2 Construction, bâtiment et travaux publics	13
2.3 Cosmétique, produit et équipement de soin et d'hygiène	14
2.4 Énergie et environnement	16
2.5 Peinture, vernis et encre	18
2.6 Pharmacie et santé	20
2.7 Plasturgie et caoutchouc	21
2.8 Textile, habillement, papier et carton	22
Références bibliographiques	24

Introduction

Les nanomatériaux manufacturés représentent un enjeu économique et technologique majeur pour les entreprises. La dimension nanométrique peut en effet conférer à la matière des propriétés singulières, riches de multiples applications.

Les nanomatériaux ont un impact croissant aussi bien dans les secteurs d'activité récents ou émergents, comme les énergies alternatives et l'environnement, que dans les secteurs traditionnels comme l'agroalimentaire, la pharmacie et la cosmétique. Nombre de salariés sont ainsi exposés aux nanomatériaux.

Pour les nanomatériaux manufacturés comme pour tout agent chimique, une gestion responsable des risques aux postes de travail repose d'abord sur une identification des situations de travail auxquelles les salariés sont potentiellement exposés.

L'étape d'identification peut s'avérer délicate : les données transmises aux entreprises, notamment utilisatrices, sont généralement incomplètes, voire absentes ; et bien souvent les salariés de ces dernières manipulent des nanomatériaux sans même le savoir. Ce défaut d'information constitue un frein à la prévention.

Ce document, qui se décline sous forme de fiches, est une aide au repérage des nanomatériaux manufacturés manipulés en entreprise et à la prise en compte des risques potentiels associés.

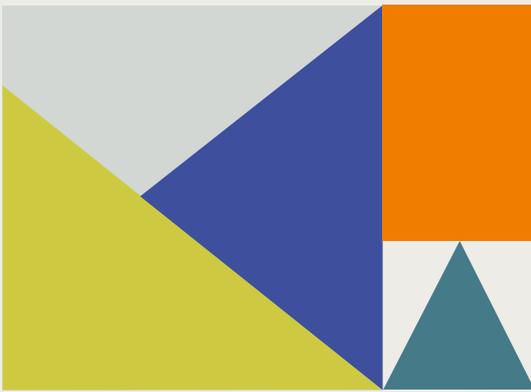
Il vise plus précisément à renseigner les nanomatériaux qui sont fabriqués ou utilisés dans une dizaine de secteurs d'activité. Il s'adresse à tous les préventeurs de terrain, qui sont amenés à identifier des opérations potentiellement exposantes aux nanomatériaux en entreprise.

Chaque fiche correspond à un ou deux secteurs d'activité et précise les principaux nanomatériaux manipulés et les propriétés ou fonctionnalités apportées en fonction des applications envisagées.

La liste des applications et des nanomatériaux ne prétend pas être exhaustive (compte tenu de l'évolution rapide de ce marché) et doit être complétée régulièrement.

Le texte qui précède ces fiches dresse un état des connaissances en proposant :

- un point succinct sur la réglementation, les effets sur la santé et l'exposition professionnelle,
- une liste des documents à consulter pour repérer les nanomatériaux manufacturés,
- une énumération des questions à (se) poser,
- une brève description des solutions de prévention.



1. Nanomatériaux : état des connaissances

1.1. Généralités

Définitions

Il existe de nombreuses définitions du terme « nanomatériau », établies par divers organismes et instances – la Commission européenne (CE), l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE), etc. – et reprises dans certaines réglementations et législations sectorielles.

La définition la plus communément admise et reprise est celle proposée par la Commission européenne dans le cadre d'une recommandation¹. Selon la Commission européenne, un nanomatériau est un matériau :

- naturel, formé accidentellement ou manufacturé ;
- contenant des particules² solides, qui sont présentes soit individuellement soit en tant que particules constitutives identifiables dans des agrégats³ ou des agglomérats⁴ ;

1. Recommandation n° 2022/C 229/01 du 10 juin 2022 relative à la définition des nanomatériaux.

2. Particule : un minuscule fragment de matière possédant des contours physiques bien définis.

3. Agrégat : une particule constituée de particules soudées ou fusionnées.

4. Agglomérat : un amas friable de particules ou d'agrégats dont la surface externe globale correspond à la somme des surfaces de ses constituants individuels.

- dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille répondent à l'un des critères suivants :

- une ou plusieurs dimensions externes de la particule sont dans la gamme de taille comprise entre 1 nm et 100 nm,
- pour les particules de forme allongée (fibres, tubes, bâtonnets, etc.) : deux dimensions externes sont inférieures à 1 nm et l'autre dimension est supérieure à 100 nm,
- pour les particules sous forme de plaquettes, feuillets, etc. : une dimension externe est inférieure à 1 nm et les autres dimensions sont supérieures à 100 nm.

La Commission européenne mentionne également qu'un matériau présentant une surface spécifique en volume inférieure à 6 m²/cm³ n'est pas considéré comme un nanomatériau.

Un nanomatériau manufacturé est un nanomatériau produit intentionnellement à des fins commerciales en raison de propriétés spécifiques. Parmi les nanomatériaux manufacturés, certains sont mis en œuvre depuis de nombreuses années dans des tonnages importants tels que le **dioxyde de titane, le noir de carbone, l'alumine, le carbonate de calcium ou la silice amorphe**. D'autres plus récents sont manipulés dans des quantités moindres tels que les **nanotubes de carbone, les quantum dots ou les dendrimères**.

Il existe également des nanomatériaux produits par l'homme de façon non intentionnelle,

■ Les propriétés et applications des nanomatériaux manufacturés

Un nanomètre (nm) équivaut à un milliardième de mètre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000\ 000\ 001 \text{ m}$).

À de telles dimensions, la matière acquiert des caractéristiques inattendues et souvent totalement différentes de celles des mêmes matériaux à l'échelle micro ou macroscopique en termes par exemple de résistance mécanique, de réactivité chimique, de conductivité électrique, de fluorescence, etc.

Toutes les grandes familles de matériaux sont concernées : les métaux, les céramiques, les diélectriques, les oxydes magnétiques, les polymères, les carbones, etc.

Du fait de leurs propriétés variées et souvent inédites, les nanomatériaux manufacturés recèlent de potentialités très diverses et leurs utilisations ouvrent de multiples perspectives. Ils trouvent ainsi des applications dans de nombreux secteurs d'activité tels que la santé, la construction, la cosmétique, l'énergie, l'environnement, l'agroalimentaire, l'emballage, le textile : vectorisation de médicaments, bétons autonettoyants, vêtements antibactériens, peintures anti-rayures, etc.

appelés plus communément **particules ultrafines**, issus de combustions ou de certains procédés thermiques et mécaniques tels que les **fumées de soudage ou de coupage des métaux**.

Les nanomatériaux manufacturés peuvent se présenter sous forme de poudre, de suspension liquide, de gel ou intégrés dans une matrice (un plastique par exemple).

Réglementation

Les nanomatériaux sont des agents chimiques, il convient d'appliquer la réglementation du Code du

travail relative à la prévention du risque chimique et plus particulièrement :

- les règles générales de prévention du risque chimique définies par les articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail (applicables aux activités dans lesquelles les salariés sont exposés ou susceptibles d'être exposés au cours de leur travail à des agents chimiques dangereux) ;
- les règles particulières de prévention du risque chimique pour les activités impliquant des agents cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques de catégorie 1A et 1B définies par les articles R. 4412-59 à R. 4412-93 du Code du travail (si une substance,

■ La déclaration annuelle des nanomatériaux manufacturés mis sur le marché en France, le registre R-Nano

Les articles L 523-1 à L 523-8 du Code de l'environnement prévoient la mise en place d'un dispositif de déclaration annuelle des « substances à l'état nanoparticulaire » en l'état, ou contenues dans des mélanges sans y être liées, ou des matériaux destinés à les rejeter dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation. Cette déclaration annuelle, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2013, concerne les fabricants, les importateurs et les distributeurs de telles substances mises sur le marché en France et est obligatoire au-delà de 100 grammes par an et par substance. Elle comporte notamment l'identité du déclarant, les quantités et les usages des substances ainsi que les noms des utilisateurs professionnels. Ce dispositif vise à mieux connaître les « substances à l'état nanoparticulaire » et leurs usages, à disposer d'une traçabilité des filières d'utilisation et d'une meilleure connaissance du marché et des volumes commercialisés en France.

Plusieurs pays européens ont suivi l'initiative de la France dont la Belgique, la Suède, etc. La Commission européenne a par ailleurs mis en place un observatoire européen des nanomatériaux, dont l'un des objectifs est de collecter l'ensemble des données issues des inventaires nationaux.

déjà classée pour ses effets cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques, est mise en œuvre sous la forme nanométrique, les règles spécifiques aux agents cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques s'appliquent).

Toxicité

Les informations sur les effets sur la santé des nanomatériaux manufacturés sont de plus en plus nombreuses mais demeurent encore parcellaires. Cependant, des études expérimentales tendent à montrer que les matériaux de dimensions nanométriques présentent une toxicité plus grande et sont à l'origine d'effets inflammatoires plus importants que les matériaux de taille supérieure et de même nature chimique.

La voie principale de pénétration des nanomatériaux dans l'organisme humain est l'appareil respiratoire. Les nanomatériaux peuvent également se retrouver dans le système gastro-intestinal après avoir été ingérés ou après déglutition lorsqu'ils ont été inhalés. La pénétration transcutanée des nanomatériaux est une hypothèse encore à l'étude.

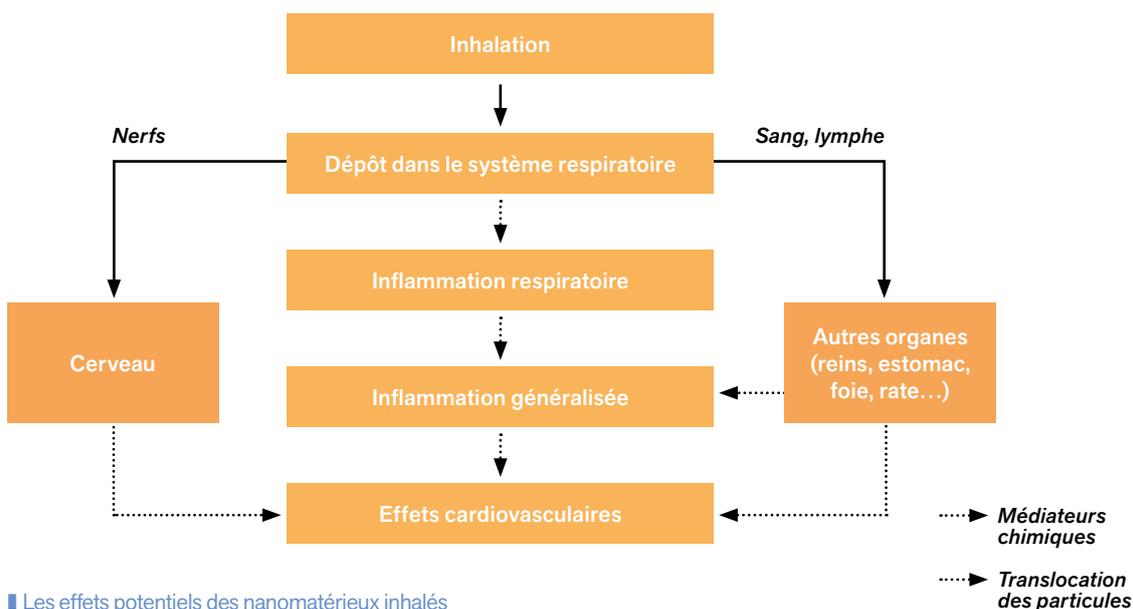
Par ailleurs, compte tenu de leur taille, les nanomatériaux inhalés ou ingérés seraient capables, contrairement aux autres poussières, de franchir les barrières biologiques : nasale, bronchique, alvéolaire, intestinale et placentaire et de migrer via le sang et la lymphe vers différents sites de

Le règlement européen Reach

Le règlement (UE) n° 2018/1881 du 3 décembre 2018 modifie les annexes I, III, VI et XII du règlement européen Reach* aux fins de mieux couvrir les nanoformes et d'améliorer leur enregistrement. Ce règlement s'applique à compter du 1^{er} janvier 2020.

De même, le règlement (UE) n° 2020/878 du 18 juin 2020 modifie les annexes II du règlement européen Reach concernant les exigences relatives à l'élaboration des fiches de données de sécurité (FDS) afin notamment de mieux identifier les nanomatériaux. Les modifications concernent la rubrique 1 « Identification de la substance / de l'entreprise » : ainsi, si la fiche de données de sécurité concerne une ou plusieurs nanoformes, ou des substances qui incluent des nanoformes, elle doit le mentionner via le mot « nanoforme ». La rubrique 3 « Composition » a également été complétée tout comme la rubrique 9 « Propriétés physiques et chimiques ». Ce règlement est applicable depuis le 1^{er} janvier 2021 (avec une période transitoire jusqu'au 31 décembre 2022).

* Règlement portant sur l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques.



l'organisme tels que le foie, le cœur ou la rate (processus de translocation).

Les nanomatériaux seraient également susceptibles de traverser la muqueuse nasale et être transportés, via les nerfs olfactifs et crâniens, jusqu'aux ganglions et au système nerveux central. La diffusion et l'accumulation de nanomatériaux dans l'ensemble de l'organisme pourraient alors jouer un rôle dans le développement de certaines pathologies cardiaques et du système nerveux central.

Enfin, outre la composition chimique et la présence d'éventuelles substances adsorbées (métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.), plusieurs caractéristiques physico-chimiques sont impliquées dans le degré de toxicité des nanomatériaux tels que la taille, la distribution granulométrique, la surface spécifique, la réactivité de surface, le nombre, la morphologie, la pulvéulence, la cristallinité, la solubilité, les degrés d'agrégation et d'agglomération, etc. De même, les méthodes de fabrication, les traitements et modifications de surface ainsi que le vieillissement sont susceptibles d'influer sur la toxicité des nanomatériaux. Chaque nanomatériau possède ainsi un potentiel de toxicité qui lui est propre.

■ Incendie et explosion

Peu de données sont actuellement disponibles dans la littérature sur les risques d'incendie et d'explosion des nanomatériaux. Il est néanmoins envisageable d'anticiper leur comportement par extrapolation à partir des connaissances acquises sur les poudres fines et ultrafines. Toutefois, cette approche ne peut être mise en œuvre avec certitude compte tenu du fait que les propriétés physiques et chimiques sont généralement modifiées lorsque la dimension nanométrique est atteinte.

De façon générale, la violence et la sévérité d'une explosion, de même que la facilité de déclenchement, ont tendance à augmenter à mesure que la taille des particules diminue. Plus une poussière est fine, plus la montée en pression est importante et moins l'énergie d'activation nécessaire est élevée. Les nanomatériaux ont donc tendance à être plus réactifs, voire plus explosifs, que les poussières plus grosses et de même composition chimique.

■ La classification de certains nanomatériaux

En 2020, le dioxyde de titane a été classé par l'Union européenne comme cancérigène de catégorie 2 (cancérigène suspecté) pour l'homme, par inhalation, dès lors qu'une poudre contient 1 % ou plus de particules d'un diamètre aérodynamique* inférieur ou égal à 10 µm.

En 2006, le Circ** a publié les résultats des réévaluations du potentiel cancérigène du noir de carbone et du dioxyde de titane sous formes nanométrique et micrométrique. Il a confirmé pour le noir de carbone le classement établi en 1996 – à savoir peut-être cancérigène pour l'homme (catégorie 2B) – et a modifié pour le dioxyde de titane celui établi en 1989, qui est passé de la catégorie 3 (inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'homme) à la catégorie 2B (monographie n° 93).

Les nanotubes de carbone ont été classés en 2014 par le Circ en catégorie 3 (inclassables quant à leur cancérigénicité pour l'homme) en raison du manque de données toxicologiques. Seuls les nanotubes de carbone multifeuillets « Mitsui 7 » (longueur 1 à 19 µm et diamètre 40 à 170 nm) ont été classés en catégorie 2B (monographie n° 111).

* Diamètre d'une particule sphérique de densité égale à 1 g/cm³ ayant la même vitesse de dépôt que la particule mesurée. Le diamètre aérodynamique permet de quantifier la dimension d'une particule aérienne.

** Centre international de recherche sur le cancer (agence spécialisée dans le cancer de l'Organisation mondiale de la santé).

Situations d'exposition professionnelle

Quelques exemples de situations potentiellement exposantes en entreprise :

- Production de nanomatériaux : vidange, échantillonnage, conditionnement, etc.
- Manipulation de nanomatériaux : réception, pesée, transvasement, mélange, fractionnement, reconditionnement, etc.
- Transformation de nanomatériaux : incorporation dans diverses matrices, usinage (découpe, ponçage, polissage, perçage...), etc.
- Nettoyage et maintenance des équipements et des locaux : nettoyage d'une paillasse, démontage d'un réacteur, changement de filtres usagés, etc.
- Démantèlement d'une installation.
- Collecte, conditionnement, entreposage et transport des déchets.
- Fonctionnements dégradés ou incidents : fuite d'un réacteur, renversement, etc.

1.2 Repérage et identification des nanomatériaux

Les principales données physico-chimiques qui attestent du caractère nanométrique d'un matériau sont la taille et la distribution granulométrique. Il convient donc de procéder à un recueil systématique de toutes les informations disponibles permettant une caractérisation aussi complète que possible des matériaux manipulés : la composition chimique, les paramètres dimensionnels mais également les données toxicologiques et les propriétés physico-chimiques.

Pour établir ce recueil, il convient :

- d'analyser la fiche de données de sécurité : se référer plus spécifiquement aux rubriques 1, 3 et 9,
- de consulter la fiche technique,
- de contacter le fabricant ou le fournisseur,
- de réaliser une revue de la littérature technique et scientifique.

À noter : il n'existe actuellement pas d'étiquetage spécifique pour les nanomatériaux.

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

Une actualisation régulière de ce recueil s'avère indispensable afin de tenir compte de l'avancée des connaissances.

Questions à se poser

- Mettez-vous en œuvre des matériaux (ou des produits) possédant des propriétés innovantes ? Si oui, sous quelle forme se présentent ces matériaux (ou produits) : poudre, suspension liquide, intégrés dans une matrice, gel ?
- Manipulez-vous des matériaux pulvérisés ou des produits intégrant des matériaux pulvérisés ? Si oui, connaissez-vous leur composition chimique, leurs dimensions et leur distribution granulométrique ?
- Disposez-vous de la fiche de données de sécurité de ces matériaux ? Quelles sont les informations indiquées dans cette fiche concernant la composition, les caractéristiques physico-chimiques et la toxicité de ces matériaux ?
- Disposez-vous de la fiche technique de ces matériaux ? Quelles sont les informations indiquées dans cette fiche concernant la composition, les caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux ?
- Disposez-vous d'informations toxicologiques concernant ces matériaux provenant d'autres sources que la fiche de données de sécurité ?
- Ces matériaux ont-ils fait l'objet d'une déclaration au titre de « substances à l'état nanoparticulaire » par votre fournisseur dans le registre R-Nano ou en tant que « nanoforme » dans Reach ?

Dès lors que certains matériaux, tels que le noir de carbone, l'oxyde de fer, le carbonate de calcium, l'oxyde de zinc, l'oxyde d'aluminium, le dioxyde de titane, la silice amorphe, l'oxyde de cérium, l'argile, le latex, l'argent, la cellulose, etc., sont fabriqués ou utilisés, il convient de s'interroger : est-ce la forme micrométrique ou nanométrique du matériau qui est mise en œuvre ?

1.3 Évaluation de l'exposition professionnelle

Les différentes étapes visant à estimer l'exposition des salariés sont :

- Identifier les opérations exposantes.
- Collecter des données sur l'exposition à chaque poste de travail :
 - modes opératoires et conditions de mise en œuvre,
 - techniques de production ou d'utilisation (procédé en phase liquide, broyage, etc.),
 - état dans lequel se trouve le produit (poudre, suspension liquide, gel, etc.),
 - capacité des produits à se retrouver dans l'air ou sur les surfaces de travail (c'est-à-dire à former des aérosols ou des gouttelettes),
 - quantité manipulée,
 - durée et fréquence des travaux,
 - voies d'exposition des opérateurs : inhalation, ingestion ou contact cutané,
 - mesures de prévention mises en place (visant à réduire l'exposition) : ventilation localisée, ventilation générale, etc.,
 - configuration du lieu de travail.
- Mesurer l'exposition.

Des instruments de mesure permettent d'évaluer le potentiel d'émission et l'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux.

Néanmoins, à l'heure actuelle, ces méthodes demeurent pour la plupart complexes et peu répandues. Avant de réaliser une campagne de mesurage sur site, qui requiert un investissement

important en termes de ressources humaines et techniques, il convient de s'assurer, notamment par une visite préparatoire in situ, que celle-ci est nécessaire et/ou faisable⁵.

1.4 Mesures de prévention

Les mesures de prévention mises en œuvre doivent être adaptées à chaque situation de travail en fonction des nanomatériaux manipulés et des données disponibles les concernant, de la nature et de la fréquence des opérations effectuées, etc.

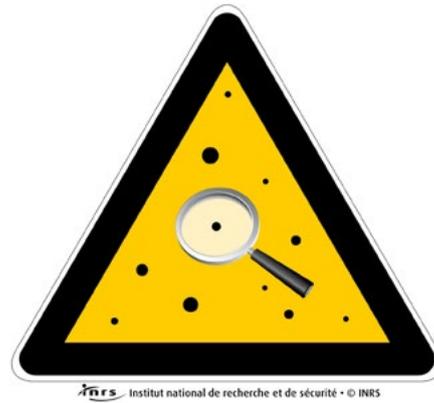
- S'interroger sur la nécessité de fabriquer ou d'utiliser le nanomatériau (considérer le rapport « bénéfices attendus/risques supposés »).
- Modifier le procédé ou l'activité de façon à ne plus produire ou utiliser le nanomatériau, si les risques supposés sont plus importants que les bénéfices attendus.
- Agir sur les procédés et les modes opératoires :
 - privilégier la fabrication et l'utilisation de nanomatériau sous forme non pulvérulente,
 - éliminer ou limiter certaines opérations particulièrement exposantes (fractionnement, transvasement, etc.),
 - limiter les quantités de nanomatériau utilisées.
- Isoler et mécaniser les procédés de fabrication et d'utilisation (travailler en vase clos).
- Délimiter, signaler et restreindre l'accès de la zone de travail : apposer un panneau d'avertissement et de signalisation indiquant la présence de nanomatériau.
- Capter les polluants à la source :
 - en laboratoire, installer des enceintes ventilées sans recyclage à l'intérieur des locaux : sorbonne de laboratoire, dispositif à flux laminaire ou boîte à gants ;
 - en atelier, mettre en place une ventilation localisée avec rejet à l'extérieur des locaux : anneau aspirant, table aspirante, dossier aspirant, etc.

5. Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux. INRS, note documentaire ND 2355, 2012, 15 p.

- Filtrer l'air avant rejet à l'extérieur des locaux : utiliser des filtres à très haute efficacité de classe supérieure à H13 (norme NF EN 1822-1)⁶.
- Employer des équipements de protection individuelle :
 - porter un appareil de protection respiratoire filtrant (filtre anti-aérosols de classe P3) ou isolant, selon la durée et la nature des travaux ;
 - porter une combinaison à capuche ou une blouse jetable contre le risque chimique de type 5 ;
 - porter des gants étanches et jetables : nitrile, butyle ou vinyle (deux paires de gants superposés si l'exposition est répétée ou prolongée), des lunettes équipées de protection latérales et éventuellement des couvre-chaussures.
- Nettoyer régulièrement les équipements, les outils et les surfaces de travail à l'aide de linges humides ou d'un aspirateur de classe H (norme NF EN 60335-2-69)⁷.
- Stocker les produits dans des contenants étanches, fermés et étiquetés (et de préférence rigides).
- Traiter les déchets de nanomatériaux :
 - mettre en place des poubelles fermées (voire ventilées) au plus près des postes de travail ;
 - conditionner les déchets dans des sacs étanches, fermés et étiquetés ;
 - acheminer les déchets vers un centre d'élimination de classe 1, vers un incinérateur ou un four cimentier.

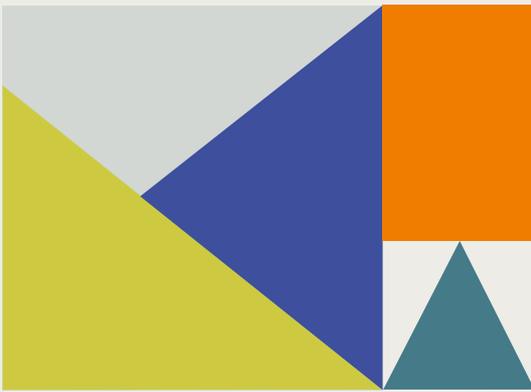
6. NF EN 1822-1 – Filtres à air à haute efficacité. Partie 1 : classification, essais de performance et marquage.

7. NF EN 60335-2-69 – Appareils électrodomestiques et analogues - Sécurité - Partie 2-69 : règles particulières pour les aspirateurs fonctionnant en présence d'eau ou à sec, y compris les brosses motorisées, à usage industriel et commercial.



■ Exemple de panneau d'avertissement et de signalisation indiquant la présence de nanomatériaux.

- Respecter des mesures d'hygiène strictes :
 - séparer les lieux de travail des zones de vie et organiser la circulation des personnes et des équipements ;
 - assurer le nettoyage des vêtements de travail (informer l'entreprise prestataire en charge de cette opération) ;
 - mettre à disposition des douches et lave-mains permettant la décontamination des régions cutanées exposées.
- Rédiger et diffuser des procédures d'intervention lors d'incidents ou d'accidents.
- Former et informer régulièrement les salariés exposés sur les risques potentiels et les mesures de prévention recommandées, en fonction de l'état des connaissances.
- Assurer la traçabilité de l'exposition des salariés.



2. Nanomatériaux : secteurs concernés

2.1 Agroalimentaire

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Denrée alimentaire : alimentations humaine et animale		
Boissons : vin, bière, jus de fruit, etc.	Silice amorphe (E 551)	Agent de clarification
Confiserie, pâtisserie, viennoiserie, biscuiterie, etc.	Silice amorphe	Anti-agglomérant, antimoussant
	Carbonate de calcium (E 170)	Colorant, anti-agglomérant, stabilisant
	Oxyde de fer (E 172)	Colorant
	Aluminium (E 173), argent (E 174), or (E 175)	Décoration
	Phosphate de calcium (E 341)	Affermissant, stabilisant, agent levant
	Carbonate de sodium (E 500)	Régulateur de l'acidité, anti-agglomérant, épaississant
Charcuterie	Carbonate de calcium	Colorant
	Phosphate de calcium	Affermissant
	Carbonate de sodium	Régulateur de l'acidité
Glace, yaourt, sauce, etc.	Silice amorphe	Onctuosité, viscosité
	Phosphate de calcium	Emulsifiant, stabilisant
	Carbonate de sodium	Régulateur de l'acidité, épaississant
	Carbonate de calcium	Régulateur de l'acidité, colorant
Sel, sucre, épice, poudre chocolatée, farine, lait infantile, céréale, soupe instantanée, etc.	Silice amorphe	Anti-agglomérant, antimottant
	Phosphate de calcium	Anti-agglomérant
	Carbonate de sodium	Anti-agglomérant, épaississant
	Silicate de calcium (E 552)	Anti-agglomérant
Vitamine, nutriment, complément alimentaire, etc.	Nanocapsule (polymère)	Encapsulation et transport dans l'organisme



■■■ © INRS (2022)

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités	
<i>(suite)</i> Denrée alimentaire : alimentations humaine et animale			
Complément alimentaire	Platine, zinc, titane, argent, cuivre, or, iridium, palladium, etc.	Biodisponibilité et absorption	
Aliment pour animaux	Argile	Absorbeur d'humidité et de toxines, charge	
	Silice amorphe	Anti-agglomérant	
Équipement, emballage et ustensile			
Conditionnement et emballage plastique (dont film)	Aluminium	Conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)	
	Oxyde d'aluminium		
	Argent	Antibactérien	
	Argile	Résistance mécanique, conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)	
	Dioxyde de titane*	Absorbeur UV**	
	Oxyde de zinc	Antibactérien	
	Or		
	Cellulose		Conservation (propriétés barrière à l'humidité)
		Nitride de titane	Résistance mécanique, absorbeur UV
		Noir de carbone	Colorant
Desséchant	Silice amorphe	Absorbeur d'humidité	
Équipements électroménagers : réfrigérateur, congélateur, etc.	Argent	Antibactérien	
Spray de nettoyage et d'entretien : plan de travail, table, etc.			
Ustensile de cuisine			
Vaisselle			

* Depuis 2022, le dioxyde de titane (E 171) est interdit comme additif alimentaire en Europe (règlement (UE) n° 2022/63).

** UV : Ultraviolet.



© INRS (2014)

2.2 Construction, bâtiment et travaux publics

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Béton	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
	Argile	Résistance au feu
	Nanotube de carbone	Légèreté, résistance mécanique, durabilité et conductivité électrique
	Silice amorphe	Fluidifiant, résistance mécanique, protection thermique
Carrelage	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
Ciment	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
	Noir de carbone	Pigment
	Silice amorphe	Fluidifiant, résistance mécanique
Matériau d'isolation	Silice amorphe	Protection thermique
Membrane bitumineuse	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
Revêtement routier	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
Conduit aéraulique	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution
	Argent	Antibactérien
Revêtement pour l'acier, le béton, la pierre, le verre, etc.	Argent	Antibactérien
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, résistance aux UV et IR*
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux rayures
	Oxyde de zinc	Autonettoyant, résistance aux UV et IR
	Silice amorphe	Résistance aux rayures, résistance à l'eau, anti-adhésif
Revêtement pour le bois	Graphène	Anticorrosion
	Argile	Antidécolorant
	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV
	Oxyde de zinc	
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux rayures
	Polymère carbone fluoré	Résistance à l'eau
Silice amorphe	Résistance aux rayures	
Revêtement pour outils	Carbure de tungstène	Résistance à l'usure et à la température
Verre	Dioxyde de cérium	Résistance aux UV
	Dioxyde de titane	Autonettoyant, dépollution, déperlant
	Oxyde de tungstène	Résistance aux IR
	Oxyde de zinc	Autonettoyant
	Polymère carboné fluoré	Résistance à l'eau et aux solvants
	Silice amorphe	Légèreté et résistance au feu

* UV et IR : Ultraviolet et infrarouge.

© INRS (2022)



© INRS (2015)

2.3 Cosmétique, produit et équipement de soin et d'hygiène¹

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Coloration et décoloration capillaires	Noir de carbone	Pigment
	Dioxyde de titane	
	Oxyde de fer	
	Oxyde de chrome	
	Silice amorphe	Abrasif, opacité, épaississant
Crème de soin (et autres produits de soin : démaquillant, nettoyant, exfoliant, etc.)	Argent	Antibactérien
	Argile	Matité
	Dioxyde de titane	Absorbeur UV*, matité
	Fullerène	Antioxydant
	Or	
	Oxyde de zinc	Cicatrisant, absorbeur UV
	Dendrimère (polymère)	Encapsulation
	Nanocapsule (polymère)	
	Silice amorphe	Épaississant
	Cuivre	Antibactérien, matité
Crème solaire	Dioxyde de titane	Absorbeur UV
	Oxyde de cérium	
	Oxyde de zinc	
	Méthylène bis-benzotriazol tétraméthyl butyphénol	
	Tris-biphenil triazine	
	Bis-(Diethylaminohydroxybenzoyl benzoyl) piperazine	
Dentifrice	Argent	Antibactérien
	Carbonate de calcium	Abrasif, épaississant
	Silice amorphe	
	Dioxyde de titane	Pigment
	Hydroxyde d'aluminium	Abrasif
	Phosphate de calcium	
	Peroxyde de calcium	Blancheur

* UV : Ultraviolet.



© INRS (2015)

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités	
Déodorant	Argent	Antibactérien	
	Dioxyde de titane		
Équipements de soin : brosse à cheveux, rasoir électrique, brosse à dents, sèche-cheveux, fer à friser, etc.	Argent	Antibactérien	
	Dioxyde de titane		
Maquillage : mascara, vernis à ongles, fard à paupières, fond de teint, rouge à lèvres, etc.	Argile	Matité	
	Silice amorphe		
	Carbonate de calcium	Opacité	
	Dioxyde de titane	Pigment, matité, opacité	
	Noir de carbone		Pigment
	Oxyde d'aluminium		
	Oxyde de chrome		
	Oxyde de fer		
	Or		
	Hydroxyde d'aluminium	Opacifiant	
	Cuivre	Matité	
Oxyde de zinc	Absorbeur UV		
Shampooing, savon	Argent	Antibactérien	
	Cuivre		

1. Seules les substances suivantes sont autorisées dans les produits cosmétiques sous forme nanométrique (règlement (UE) n° 1223/2009) :

- le noir de carbone en tant que colorant,
- le dioxyde de titane, l'oxyde de zinc, le tris-biphenyl triazine et le méthylène bis-benzotriazolyl tétraméthyl butylphenol en tant que filtres UV.



© INRS (2015)



© INRS (2015)

2.4 Énergie et environnement

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Éclairage	Quantum dot (séléniure de cadmium, arséniure d'indium, etc.)	Rendement et rendu de l'éclairage
	Oxyde d'aluminium	Rendu de l'éclairage
Cellule photovoltaïque	Quantum dot	Rendement
	Silicium, indium, gallium, sélénium, etc.	
	Dioxyde de titane	
	Oxyde de zinc	
	Nanotube de carbone	
	Graphène	
Batterie	Terre rare (lanthane, cérium, néodyme, etc.)	Substitution des métaux lourds
	Nanotube de carbone	Conductivité
	Noir de carbone	
	Graphène	
	Titanate de lithium	Performance, durée de vie
	Cuivre	Performance
	Dioxyde d'étain	
	Silicium	
Pale d'éolienne	Nanotube de carbone	Résistance mécanique
Pile à combustible	Nanotube de carbone	Rendement

■ ■ ■



© INRS (2021)

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



© INRS (2013)

2.5 Peinture, vernis et encre

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

* UV : Ultraviolet.



© INRS (2015)



© INRS (2015)

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



© INRS (2015)

2.6 Pharmacie et santé

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Détection, marquage et imagerie biologique	Bismuth	Optique, biocompatibilité, biodisponibilité
	Or	
	Tungstène	
	Oxyde de fer	Magnétisme
	Nanotube de carbone	Luminescence
	Oxyde de terre rare (oxyde d'yttrium, oxyde de gadolinium, etc.)	
	Quantum dot (séléniure de cadmium, arséniure d'indium, etc.)	
Dispositifs médicaux : fil de suture, seringue, cathéter, bande de contention, etc.	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	Dureté
	Diamant	
Excipient	Dioxyde de titane	Pigment
	Silice amorphe	
Implant médical et prothèse	Cellulose	Résistance mécanique
	Hydroxyapatite	Adhésion
	Nanotube de carbone	Résistance mécanique
	Oxyde de zirconium	
Pansement, gel et crème	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	
Radiothérapie et thermo thérapie	Graphène	Transport d'agents thérapeutiques dans l'organisme
	Or	
	Oxyde de fer	
	Oxyde de terre rare (oxyde de gadolinium, oxyde d'hafnium, etc.)	
Vectorisation de médicaments de protéines, de gènes, d'agents de contraste, etc.	Quantum dot	Encapsulation et transport dans l'organisme (délivrance vers un organe, un tissu ou une cellule)
	Dendrimère (polymère)	
	Fullerène	
	Nanocapsule (polymère)	
	Nanosphère (polymère)	
	Nanotube de carbone	
	Oxyde de graphène	



© INRS (2016)

2.7 Plasturgie et caoutchouc

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Caoutchouc : pneumatique, semelle de chaussure, câble, joint, etc.	Carbonate de calcium	Charge
	Silice amorphe	
	Hydroxyde d'aluminium	Retardateur de flamme, épaississant, anti-adhérent, résistance aux rayures
	Nanotube de carbone	Résistance à l'abrasion et à la déchirure, conductivité électrique, résistance aux UV*
	Noir de carbone	Pigment, résistance à l'usure, résistance aux UV, conductivité électrique
	Fullerène	Résistance mécanique, conductivité électrique, légèreté
	Nanofibre de carbone	
	Graphène	
		Oxyde d'aluminium
	Oxyde de zinc	
Plastique biodégradable	Cellulose	Résistance mécanique, transparence, imperméabilité aux gaz
	Graphène	Résistance mécanique, légèreté, conductivité électrique
Plastique pour l'emballage, l'automobile, la tuyauterie, les équipements électroménagers, les articles de sport, les jouets, l'hygiène, l'aéronautique, le naval, etc.	Argent	Antibactérien
	Argile	Résistance au feu, charge
	Carbonate de calcium	Charge
	Fullerène	Résistance mécanique
	Oxyde d'aluminium	
	Hydroxyde d'aluminium	Retardateur de flamme, épaississant, anti-adhérent, résistance aux rayures et aux UV, conductivité électrique
	Nanofibre de carbone	Résistance mécanique, légèreté
	Nanotube de carbone	Résistance à l'abrasion et à la déchirure; conductivité électrique (antistatique), résistance aux UV, légèreté
	Nitride de titane	Protection thermique
	Noir de carbone	Pigment, résistance à l'usure, résistance aux UV, conductivité électrique
Silice amorphe	Charge, viscosité	
Plastique pour l'emballage alimentaire	Aluminium	Conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)
	Oxyde d'aluminium	
	Argent	Antibactérien
	Oxyde de zinc	Résistance mécanique et conservation (propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité)
	Argile	
Dioxyde de titane	Absorbeur UV	

* UV : Ultraviolet.

© INRS (2020)



2.8 Textile, habillement, papier et carton

Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Média filtrant (filtration de l'eau et de l'air)	Nanofilament de polymères (polyamide, polyester polyacrylonitrile, etc.)	Efficacité
Habillement	Argent	Antibactérien, pigment, teignabilité
	Cuivre	Antibactérien
	Cyclodextrine, ethercouronne	Anti-odeur
	Argile	Teignabilité, résistance mécanique, retardateur de flamme
	Oxyde de zirconium	Réflexion des IR*
	Dioxyde de titane	Résistance aux UV**, autonettoyant, antibactérien, retardateur de flamme, réflexion des IR
	Nanofilament de polymères (polyamide, polyester, etc.)	Imper-respirant
	Trioxyde d'antimoine	Retardateur de flamme
	Nanotube de carbone	Retardateur de flamme, résistance mécanique, conductivités thermique et électrique
	Noir de carbone	Conductivités thermique et électrique
	Or	Teignabilité
	Oxyde d'aluminium	Résistance aux UV, réflexion des IR, autonettoyant, résistance à l'abrasion
	Oxyde de terre rare (oxyde d'yttrium, oxyde de gadolinium, etc.)	Traçabilité, anti-contrefaçon
	Quantum dot (séléniure de cadmium, arséniure d'indium, etc.)	
	Oxyde de zinc	Résistance aux UV, autonettoyant, antibactérien
	Silice amorphe	Retardateur de flamme, hydrophobie, anti-tache, anti-adhésif, résistance à l'abrasion, teignabilité
Graphène	Réflexion des IR, résistance mécanique, résistance aux UV, antibactérien, anticoupure	
Cellulose	Résistance mécanique, teignabilité	
Papier à usage graphique : papier journal, papier d'impression (écriture)	Argent	Antibactérien
	Argile	Opacité, brillance, blancheur, imprimabilité, lissage, charge
	Carbonate de calcium	Blancheur, brillance, opacité, matité, lissage

* IR : Infrarouge.

** UV : Ultraviolet.



Applications	Nanomatériaux	Propriétés / Fonctionnalités
Papier pour emballage et conditionnement (dont emballage alimentaire et pharmaceutique) : papier pour ondulé, carton plat, etc.	Cellulose	Résistance à la traction, à la déchirure et au pliage, propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité
	Dioxyde titane	Blancheur, brillance, opacité, lissage, résistance aux UV
	Noir de carbone	Pigment
	Oxyde d'aluminium	Résistance à l'abrasion et aux rayures
	Latex de chlorure de polyvinylidène	Propriétés barrières aux gaz, à l'humidité et aux graisses
	Silice amorphe	Blancheur, imprimabilité, résistance mécanique, opacité, absorption de l'encre
Papier électronique	Nanotube de carbone	Conductivité
	Graphène	



© INRS (2022)



© INRS (2014)

Références bibliographiques



- Observatoire européen des nanomatériaux (<https://euon.echa.europa.eu>)
- Déclaration des substances à l'état nanoparticulaire (<http://www.r-nano.fr>)
- Nanomatériaux dans les produits destinés à l'alimentation, Anses, 2020.
- Nanotechnologies dans le textile, *Techniques de l'ingénieur*, 2021.
- Catalogue of nanomaterials in cosmetic products places on market as notified to the European Commission by responsible persons, 2018.
- Les nanomatériaux manufacturés. Définitions, effets sur la santé, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention, INRS, ED 6050.
- Nanomatériaux. Ventilation et filtration de l'air des lieux de travail, INRS, ED 6181.
- Nanomatériaux manufacturés. Quelle prévention en entreprise ? INRS, ED 6309.
- De la production au traitement des déchets de nanomatériaux manufacturés. INRS, ED 6331.



Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

L'impact des nanomatériaux manufacturés sur l'économie est très prometteur. En effet, les applications industrielles sont nombreuses et concernent des secteurs d'activité très variés. De plus en plus de salariés sont donc exposés à ces produits chimiques dans les entreprises.

Or, les nanomatériaux manufacturés suscitent encore de nombreuses interrogations notamment en termes de dangers pour la santé.

Il importe donc, pour mener une gestion responsable des risques aux postes de travail dans les entreprises, d'identifier systématiquement et rigoureusement toutes les situations de travail susceptibles d'exposer les salariés aux nanomatériaux manufacturés.

Ce document, qui se décline sous forme de fiches, a été conçu comme une aide au repérage des nanomatériaux manufacturés manipulés en entreprise et à la prise en compte des risques potentiels associés. Il vise plus précisément à renseigner les nanomatériaux qui sont fabriqués ou utilisés dans une dizaine de secteurs d'activité. Il s'adresse à tous les préventeurs de terrain qui sont amenés à identifier des opérations potentiellement exposantes aux nanomatériaux en entreprise.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6174

2^e édition | juillet 2023 | 1 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2844-3

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels