

En partenariat avec



Risque émergent : les nanomatériaux

QUELS RISQUES POUR LA SANTÉ ?

QUELLE PRÉVENTION ?

Webinaire du réseau Présanse Paca-Corse



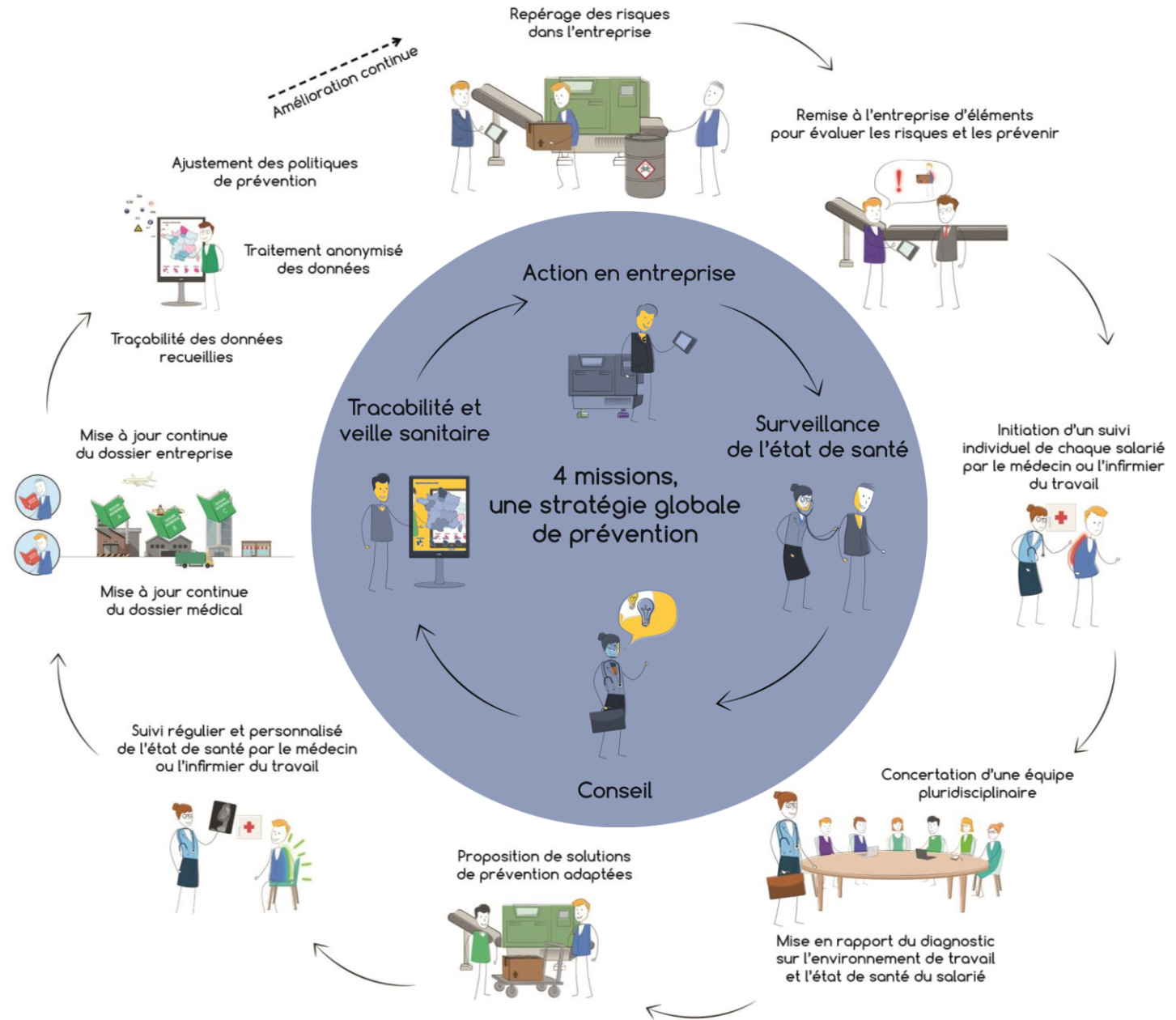
Ce webinaire vous est proposé par le réseau Présanse Paca-Corse, qui regroupe 16 services de prévention et de santé au travail interentreprises de Paca et Corse, œuvrant pour 137 000 entreprises et plus d'1 million de salariés du secteur privé.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.presanse-pacacorse.org (rubrique « Le Réseau »).

Le contenu de ce webinaire a été réalisé par les services de prévention et de santé au travail AISMT 13, AISMT 04, AIST84, AMETRA06 et Expertis, en partenariat avec l'INRS

Nos missions

Pour une stratégie globale
de la prévention des
risques professionnels



Les intervenants

- Agnès DONAT :
 - Technicienne en prévention chez Expertis, service de prévention et de santé au travail
- Myriam RICAUD :
 - Ingénieur chimiste à l'INRS, département expertise et conseil technique
- Valérie SPINELLI :
 - Médecin du travail à l'AIMT 13, service de prévention et de santé au travail
- Nora SIKHA :
 - Ingénieur HSE à l'AIMT 04, service de prévention et de santé au travail
- Fabrice PALMA :
 - Ingénieur en prévention des risques professionnels à l'AMETRA 06, service de prévention et de santé au travail
- Laurent MARZIALE :
 - Ingénieur en prévention des risques professionnels à l'AIMT 13, service de prévention et de santé au travail

SOMMAIRE

- I. Les définitions, les applications et les expositions professionnelles
- II. Le contexte réglementaire
- III. Les effets sur la santé et le suivi médical
- IV. La démarche de prévention et les moyens de prévention en entreprise
- V. Que peut vous apporter votre SPSTI ?
- VI. Cas pratique: le Dioxyde de Titane (TiO₂)

LES DÉFINITIONS, LES APPLICATIONS ET LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

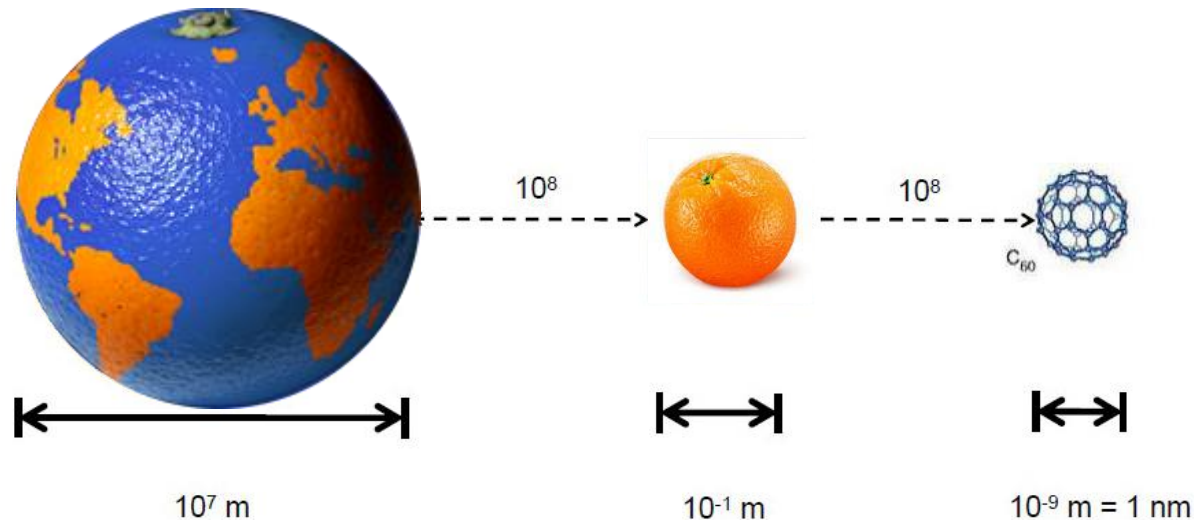
Le nanomètre, l'infiniment petit

Nanomètre (nm)



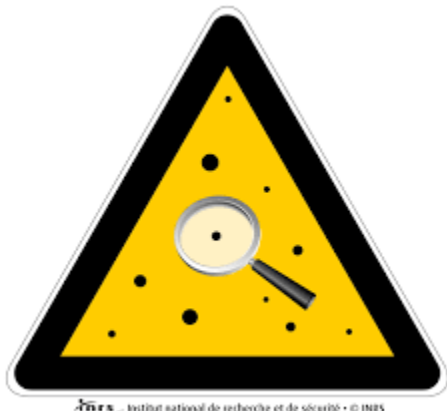
grec νανος / nanos = nain

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 0,000\,000\,001 \text{ m}$$



Les nanomatériaux, de multiples définitions...

- La recherche d'une définition commune pour les nanomatériaux suscite depuis de nombreuses années de vifs débats.
- Il existe plusieurs 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 développement économiques (OCDE), le Comité scientifique des produits de consommation (CSPC), etc. – et reprises dans certaines réglementations et législations sectorielles.



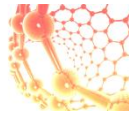
- L'ISO fut le premier organisme international à établir en 2008 une définition (ISO TS 27687 actualisé depuis ISO TS 80004-1).
- La CE s'illustre en 2011 par sa volonté de n'obtenir qu'une seule et même définition, au moins en Europe. Elle propose une définition dans le cadre d'une recommandation.

Les nanomatériaux selon la Commission européenne

Commission Européenne Recommandation

JO CE du 20 octobre 2011, L 275/38 (mise à jour le 10 juin 2022)

Un nanomatériau



- Un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé,
- contenant des particules solides libres, sous forme d'aggrégats ou sous forme d'agglomérats,
- dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille répondent à l'un des critères suivants :

(a) pour les particules sphériques : une ou plusieurs dimensions externes sont dans la gamme de taille comprise entre 1 nm et 100 nm ;

(b) pour les particules de forme allongée (fibres, tubes, etc.) : deux dimensions externes sont inférieures à 1 nm et l'autre dimension est supérieure à 100 nm ;

(c) 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.

L 275/38 38 Journal officiel de l'Union européenne 20.10.2011

RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATION DE LA COMMISSION
du 18 octobre 2011
relative à la définition des nanomatériaux
(Texte présentant de l'intérêt pour l'UE)

LA COMMISSION EUROPÉENNE,

vu le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, et notamment son article 252,

considérant ce qui suit:

(1) La recommandation de la Commission du 7 juin 2005 relative aux nanomatériaux et nanotechnologies, en plus d'actes pour l'Europe 2005-2009⁽¹⁾, définit une série d'actes techniques et réglementaires en vue de la mise en œuvre intégrée d'une stratégie des nanotechnologies et des nanomatériaux, ainsi qu'en matière de responsabilité.

(2) La Commission, conformément aux engagements qu'elle a pris dans le plan d'action, a régulièrement pu, en vertu de la législation de l'Union en la matière afin de déterminer l'applicabilité des dispositions existantes aux risques potentiels des nanomatériaux. Les conclusions de cette étude ont été publiées dans la recommandation de la Commission du 17 juin 2008 intitulée «Après réglementation des nanomatériaux (2)». Cette recommandation établit que la terminologie «nanomatériau» doit être appliquée uniquement dans des cas très limités de l'Union, mais que la législation en vigueur couvre en principe les risques potentiels des nanomatériaux pour la santé, la sécurité et l'environnement.

(3) Dans sa résolution du 24 avril 2009 sur les aspects réglementaires des nanomatériaux⁽³⁾, le Parlement européen présente entre autres l'importance d'une définition scientifique cohérente des nanomatériaux dans la législation de l'Union.

(4) La définition contenue dans cette recommandation devrait servir de référence pour déterminer si un matériau doit être considéré comme un nanomatériau aux fins de la législation et des politiques de l'Union. Il convient que la définition de terme «nanomatériau» dans la législation de l'Union ne fasse pas obstacle à la mise en œuvre des politiques de maintien à l'échelle de ceux considérés comme des risques ou des dangers qu'il peut présenter. Cette définition, fondée exclusivement sur la taille, des matériaux, couvrant les matériaux naturels, formés accidentellement ou manufacturés.

(5) Il convient que la définition de terme «nanomatériau» s'appuie sur les connaissances scientifiques disponibles.

(6) La mesure des tailles et de la répartition des tailles dans le cas des nanomatériaux pour évaluer les risques doit être effectuée en tenant compte des différents contextes d'exposition. Il est nécessaire d'élaborer des méthodes de mesure harmonisées afin de faire en sorte que l'application de la définition produise des résultats cohérents à tout moment et pour tous les matériaux. En attendant de pouvoir disposer de méthodes de mesure harmonisées, il convient d'adhérer à définir les méthodes existantes disponibles.

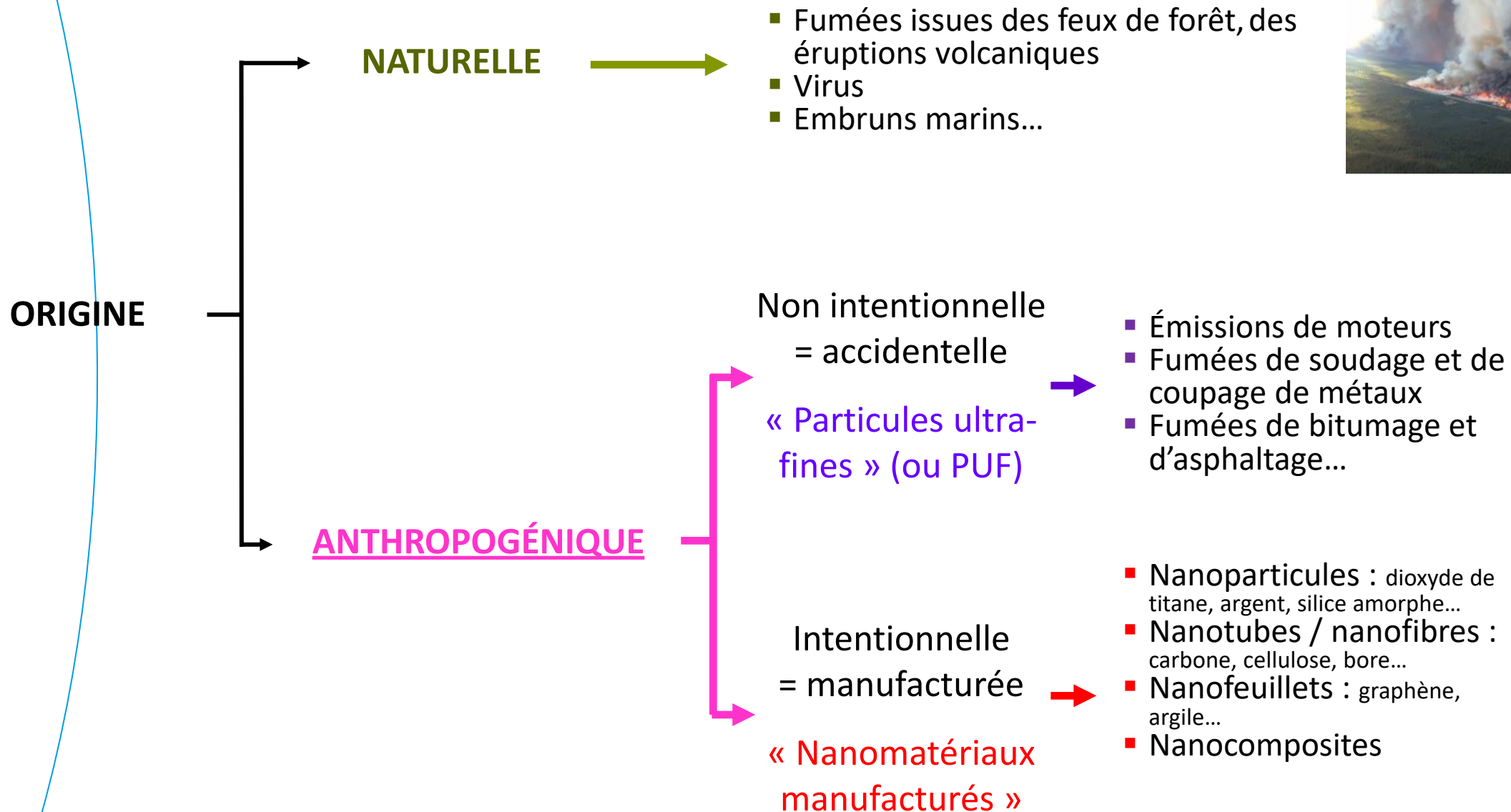
(7) Le rapport de référence de la Commission de recherche de la Commission intitulé «Considérations sur la Définition et l'Identification des Régimes» propose⁽⁴⁾ suggère que la définition des nanomatériaux doit couvrir les nanomatériaux particuliers, très globalement appliqués dans le cadre de la législation de l'Union et énoncée dans la ligne des autres approches en la matière adoptées dans le monde. La taille des des l'usage technologique constitue de la définition qui vise à évaluer d'identifier clairement les limites de l'étiquette nanomatériau.

(8) La Commission a mandaté le Comité scientifique des risques chimiques émergents et nouveaux (CSRECN) pour fournir des données scientifiques relatives aux éléments à prendre en compte dans la définition de terme «nanomatériau» à des fins de réglementation. L'avis intitulé «Clarifier la notion de la définition et de terme «Nanomatériau» a été soumis à consultation publique en 2010. Dans son avis du 8 décembre 2010⁽⁵⁾, le CSRECN a conclu que la taille est un critère universellement applicable aux nanomatériaux, qu'elle est centrale la mesure la plus appropriée et que la définition d'une limite de taille incluant l'indication des incertitudes en la matière. La limite inférieure proposée est de 1 nm, ce qui exclut le bruyage supramoléculaire, un consensus est établi dans la pratique sur 100 nm, mais ne se dispose d'aucune preuve scientifique que cette valeur est la plus adéquate. Il est possible que l'application d'une limite supérieure unique soit trop restrictive aux fins de la classification des nanomatériaux et qu'il soit plus judicieux

(1) COM(2005) 245 final.
(2) COM(2005) 245 final.
(3) P6_T02005_0126.

(4) EUR 24403 EN, juin 2010.
(5) http://ec.europa.eu/science_communications/communications/ncs/ncs_0126.pdf.

Les familles de nanomatériaux



Des propriétés inédites...



■ Propriétés électriques

- Alumine + quelques % de nanotubes de carbone → **Conductivité électrique** $\times 10^{12}$

■ Propriétés mécaniques

- Nanomatériau de cuivre → **Élongation** $\times 50$
- Nanomatériau de zircone → **Superplasticité** : déformation sans concentration de contraintes

■ Propriétés optiques

- Nanocristaux semi-conducteurs sous ultra-violets → **Émission fluorescente**

■ Propriétés catalytiques

- Nanoparticules d'or → **Catalyseur** pour l'oxydation du monoxyde de carbone

Les secteurs d'activité concernés

Chimie et plasturgie



Environnement



Énergie



Électronique et communications



Automobile



Santé et pharmacie



Cosmétique



Agroalimentaire



Aéronautique



Défense



Bâtiment et travaux publics



Équipements de la maison



Exemple du secteur de l'automobile

Ajout de nanoparticules d'oxyde de cérium dans le carburant : diminution de la consommation

Verre anti-rayures et déperlant

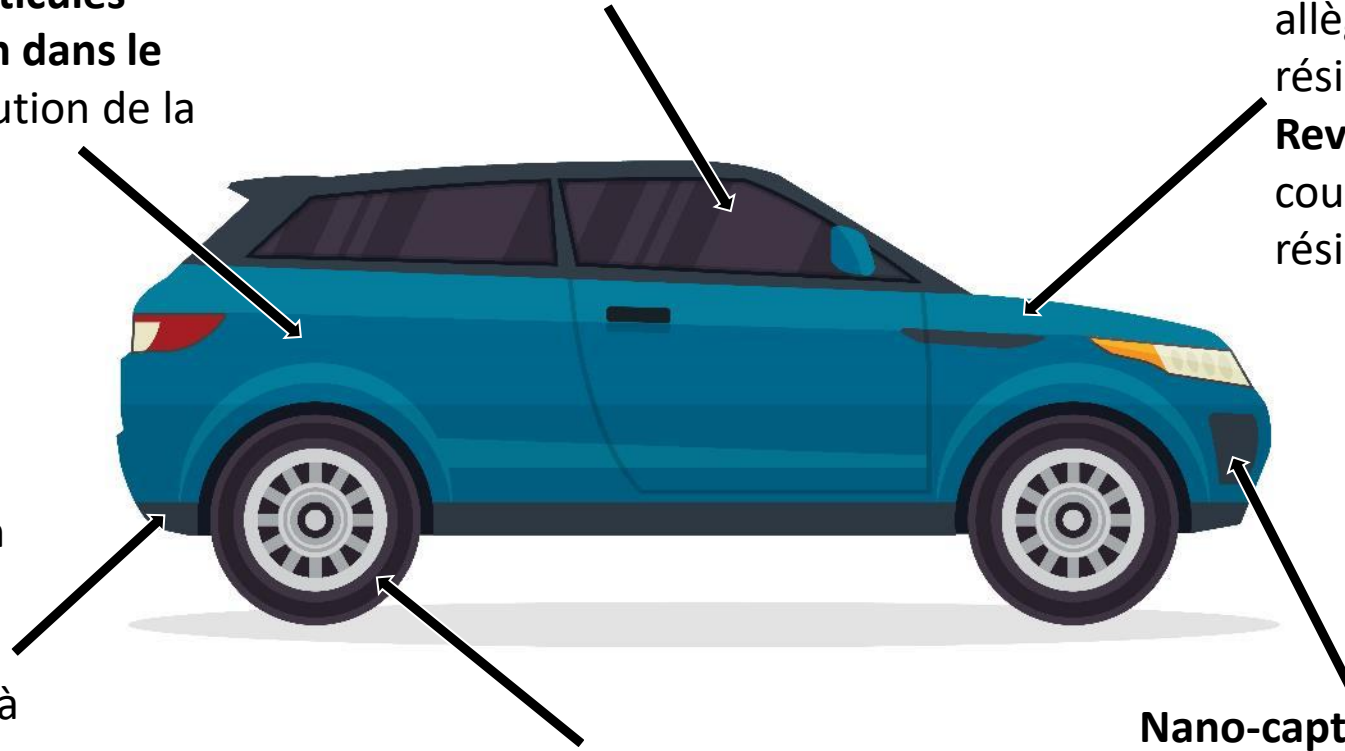
Carrosserie en nanocomposite : allègement de 20%, meilleure résistance aux chocs...

Revêtement nano-structuré : couleur irisée, vernis anti-rayures, résistance aux UV...

Pot catalytique en nanomatériaux : moins de 20% d'émission de gaz à effet de serre

Incorporation de silice amorphe dans les pneus : renforcement et allongement de la durée de vie

Nano-capteurs électroniques : aide à la conduite



Les expositions professionnelles

- Bien que les **nanomatériaux manufacturés** concernent l'ensemble de la population, **les premières et les plus fortes expositions se déroulent en milieu professionnel** (les quantités produites, utilisées ou émises, sont plus importantes et les nanomatériaux se présentent sous de multiples formes).
- Les nanomatériaux sont fabriqués, utilisés ou émis dans de très nombreux secteurs d'activité, impliquant que **les situations d'exposition sont nombreuses et variées**.
- Pour des raisons essentiellement concurrentielles, **les entreprises concernées sont généralement discrètes et peu enclines à communiquer sur les nanomatériaux manufacturés**.



!!! Les études publiées sur les expositions des salariés en milieu industriel demeurent limitées

→ Ev@lutil (<https://ssl2.isped.u-bordeaux2.fr>)

Les situations d'expositions professionnelles

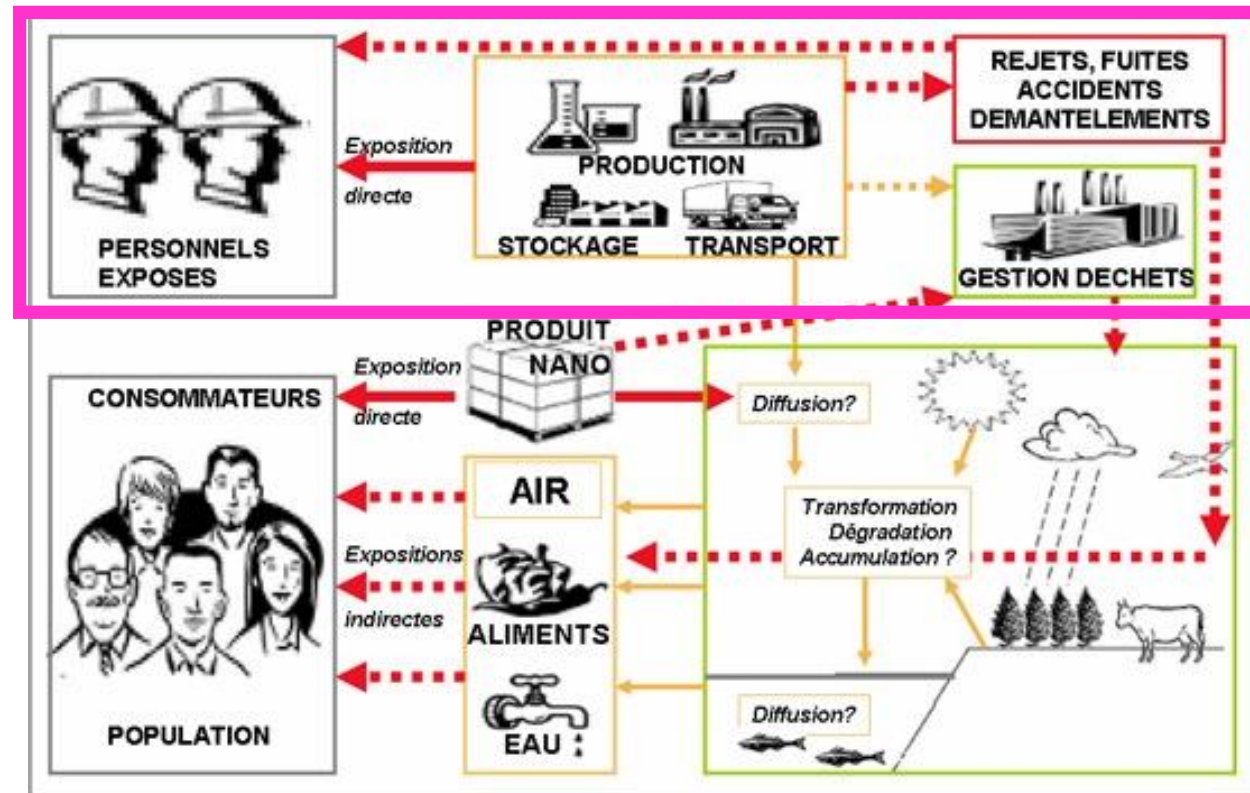


Les salariés peuvent être exposés aux nanomatériaux manufacturés tout au long de leur cycle de vie

Les principaux paramètres qui influent sur le degré d'exposition des salariés :

- la forme physique *,
- les procédés mis en œuvre,
- les quantités manipulées,
- la durée et la fréquence des travaux,
- la capacité des produits à se retrouver dans l'air ou sur les surfaces de travail (à former des aérosols ou des gouttelettes),
- les moyens de protection mis en place.

*Poudre, suspension liquide, gel ou intégrés dans une matrice.



- R&D
- Production
- Utilisation
- Usinage
- Conditionnement
- Transport
- Stockage
- Maintenance
- Entretien
- Démantèlement
- Traitement des déchets
- Fonctionnement dégradé

Les expositions professionnelles

Métriques pertinentes à mesurer ?

- Concentration en masse de particules (mg/m^3),
- Distribution granulométrique des particules (masse, nombre, surface),
- Concentration en nombre de particules ($/\text{cm}^3$),
- Concentration en surface de particules ($\mu\text{m}^2/\text{m}^3$).



- **Masse** : 1 million de nanoparticules de 10 nm ont la même masse qu'une particule de 1 μm .
- **Surface spécifique** : à masse équivalente, la surface représentée par un aérosol de nanoparticules de 10 nm est 100 fois plus grande que celle d'un aérosol de particules de 1 μm .

→→ **Une stratégie de prélèvement basée sur des mesures caractérisant ces différents paramètres complémentaires des nanomatériaux doit être déployée.** En pratique, il s'agit de réaliser en parallèle des mesures à l'aide de différentes techniques.

!!!! Nécessité de coupler une caractérisation physico-chimique des nanomatériaux : composition chimique, structure cristalline, morphologie, charge....

Les expositions professionnelles

Instruments disponibles : OPC (optical particle counter), CNC (condensation nucleus counter), SMPS (scanning mobility particle sizer), ELPI (electrical low pressure impactor)...

Exemple : Compteurs à noyaux de condensation (CNC ou CPC)

=> Principe : faire grossir les nanoparticules jusqu'à une taille permettant leur détection par un système optique

=> Détection et comptage des particules (résultat reporté en particules/cm³ d'air)

=> Gamme : 0 à 10⁷ particules/cm³

=> Limite de détection : 3 à 20 nm

=> Aucune indication sur la nature de la particule

=> Système portable et sur batterie

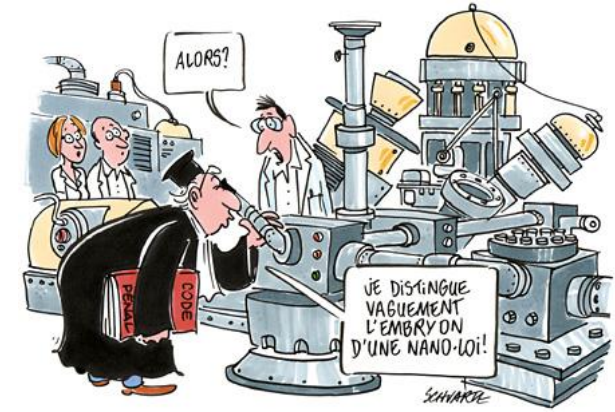


DIFFICULTÉS

- **Équipements existants** => équipements de laboratoire pour la plupart encombrants, coûteux (> 60 k€) et qui ne permettent pas de différencier les particules « naturelles » de celles en rapport avec le procédé.
- **Mesures toujours effectuées à point fixe.**
- **Bruit de fond très important** (entre 5 000 et 15 000 part./cm³) => difficulté de détecter une élévation due au procédé.

LE CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le Code du travail



- **Il n'existe actuellement pas dans le Code du travail de texte spécifique applicable aux nanomatériaux.**
 - Appliquer **les règles générales de prévention du risque chimique** définies par les articles R. 4412-1 à R. 4412-58 du Code du travail.
 - Adopter les **règles particulières de prévention du risque chimique pour les activités impliquant des nanomatériaux cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques de catégorie 1A et 1B** définies par les articles R. 4412-59 à R. 4412-93 du Code du travail.

Les recommandations du ministère du Travail

« Quelle est la réglementation applicable en matière de protection des travailleurs ? »

La prévention des risques liés à la mise en œuvre des nanomatériaux est soumise à la **réglementation du Code du travail relative à la prévention du risque chimique**. Ainsi, a minima, la réglementation relative à la prévention des risques liés aux agents chimiques dangereux (ACD : articles R. 4412-1 et suivants), s'applique.

Si une substance, déjà classée pour ses effets CMR, et entrant à ce titre dans le champ d'application de l'article R. 4412-59 du Code du travail, est produite sous la forme de particules de taille nanométrique, les règles spécifiques aux CMR s'appliquent de la même manière...

<http://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/prevention-des-risques/autres-dangers-et-risques/article/nanomateriaux>

+ Plans Santé au Travail 3 et 4 (2021-2025) : <https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/pst4.pdf>

La déclaration obligatoire des nanomatériaux

Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 (codifiée aux articles L.523-1 et suivants du Code de l'environnement), dite Grenelle II, prévoit la mise en place d'un dispositif de **déclaration annuelle des « substances à l'état nanoparticulaire » qui sont produites, importées ou distribuées en France.**

<https://www.r-nano.fr>

- **Publics concernés** : entreprises produisant, distribuant et important des substances à l'état nanoparticulaire, laboratoires publics et privés de recherche
- **Substances visées** : substance à l'état nanoparticulaire en l'état ou contenue dans un mélange sans y être liée, ou de matériaux destinés à rejeter cette substance dans des conditions normales ou raisonnablement prévisibles d'utilisation, au-delà de 100 grammes par an et par substance
- **Entrée en vigueur** : 1^{er} janvier 2013



La déclaration obligatoire des nanomatériaux



- **Plus de 400 000 tonnes** de nanomatériaux manufacturés sont mises chaque année sur le marché.
- Plus de 300 catégories de nanomatériaux manufacturés font l'objet d'une déclaration.
 - Des composés inorganiques : silices, sulfates, carbonates, métaux et alliages métalliques, silicates et argiles...
 - Des composés organiques : nanomatériaux carbonés, nanopolymères...
- Les secteurs d'activité des entités déclarant les plus gros tonnages produits ou importés en France sont liés à **l'industrie chimique** (« Industrie chimique », « Fabrication de colorants et de pigments »...).
- Les secteurs d'utilisation sont nombreux et variés : « Fabrication de substances chimiques fines » ; « Bâtiment et travaux de construction » ; « Fabrication de parfums et de produits pour la toilette » ; « Fabrication de produits alimentaires »...
- Les cinq « substances à l'état nanoparticulaire » les plus mises sur le marché en France sont, depuis plusieurs années et par ordre décroissant : **le noir de carbone, la silice amorphe, le carbonate de calcium, le dioxyde de titane et l'oxyde d'aluminium.**

Observatoire sur les nanomatériaux de l'Union européenne : <https://euon.echa.europa.eu/fr/home>

Le règlement européen REACH



Selon le **Règlement n°2018/1881 modifiant les annexes de REACH**, depuis le 1er janvier 2020, des **informations spécifiques** doivent être apportées par les entreprises sur les substances nanométriques enregistrées dans REACH et mises sur le marché au-delà d'une tonne par an (par entreprise).

Outre les données déjà requises, il est nécessaire de préciser divers **paramètres physico-chimiques** comme la distribution granulométrique en nombre, la fonctionnalisation ou le traitement de surface, la forme ou le rapport d'aspect, la surface spécifique... **Ces informations figurent dans la fiche de données de sécurité.**

L'analyse d'impact doit prendre en compte l'intégralité du cycle de vie des nanomatériaux, avec les possibles transformations physico-chimiques que pourra subir la substance depuis sa production jusqu'à sa fin de vie, en passant par les altérations possibles du fait de l'usage, etc.

La classification

■ La classification UE :

- Dioxyde de titane (2021) : cancérogène suspecté (catégorie 2) par inhalation.

https://echa.europa.eu/documents/10162/17240/guide_cnl_titanium_dioxide_en.pdf/d00695e4-e341-0a33-b0ac-bee35cb13867?t=1630666801979

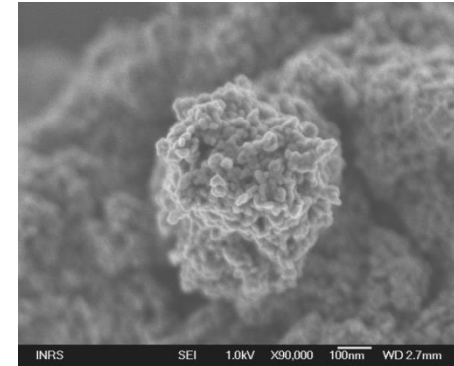
■ La classification CIRC* :

- Noir de carbone (monographie 93, 2006) : confirmation du classement établi en 1996, **cancérogène possible chez l'homme (catégorie 2B)**.
- Dioxyde de titane (monographie 93, 2006) : modification du classement établi en 1989, qui passe de la catégorie 3 (classification impossible quant au pouvoir cancérogène pour les humains) à **la catégorie 2B**.
- Nanotubes de carbone (monographie 111, 2017) : **catégorie 3 à l'exception des nanotubes de carbone multi-feuillets Mitsui 7** (longueur 1–19 µm et diamètre 40–170 nm) **classés en catégorie 2B**.

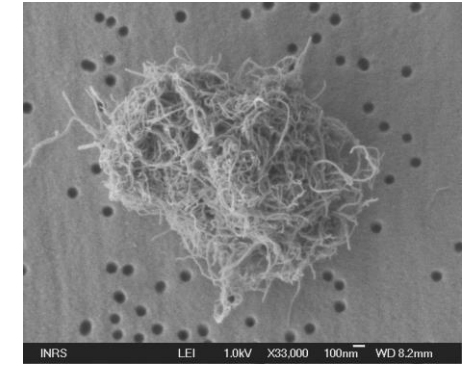
Les valeurs limites d'exposition professionnelle

Le NIOSH propose des valeurs limites :

- Dioxyde de titane (2011) :
 - 2,4 mg/m³ (fraction alvéolaire),
 - 0,3 mg/m³ (fraction < 100 nm).
- Nanotubes de carbone (2013) :
 - 1 µg/m³
- Argent (2021) :
 - 0,9 µg/m³



Dioxyde de titane



Nanotubes de carbone

D'autres organismes comme l'IFA* ou le BSI** ont également défini des valeurs seuils en distinguant plusieurs catégories de nanomatériaux : fibres, CMR, solubles, insolubles, etc. Ces valeurs reposent **sur des données toxicologiques incomplètes ou sur une extrapolation à partir de valeurs déjà fixées.**

*IFA, Institut für Arbeitsschutz / **BSI, British Standard Institution

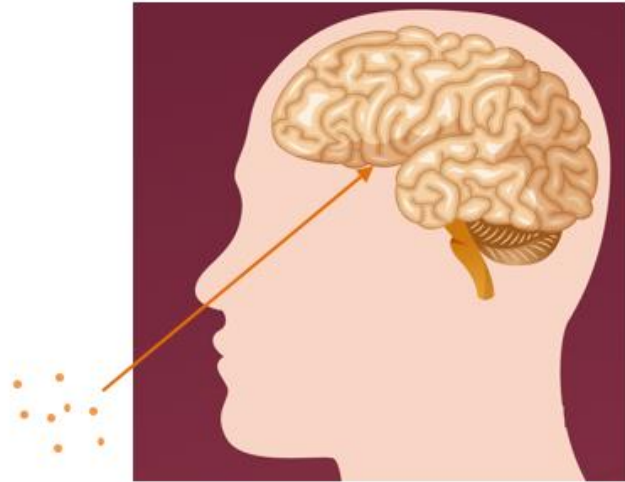
- « Dioxyde de titane nanométrique : de la nécessité d'une valeur limite d'exposition professionnelle », INRS, HST 242, 2016
- « Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle », INRS, RST 161, 2020

!!! L'Anses préconise pour le dioxyde de titane sous forme nanoparticulaire une VLEP-8h de 0,8 µg/m³ et recommande de ne pas dépasser 4 µg/m³ sur une durée de 15 minutes (2021).

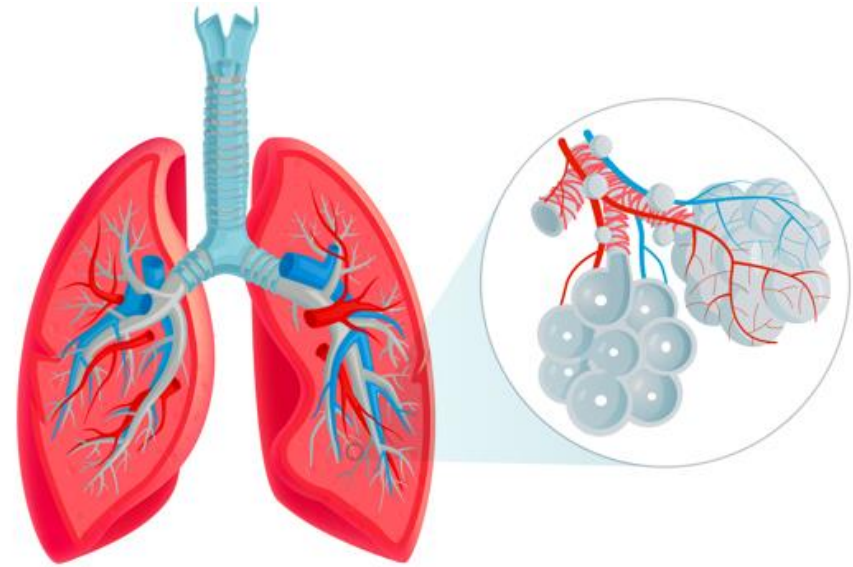
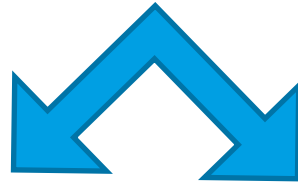
LES EFFETS SUR LA SANTÉ ET LE SUIVI MÉDICAL

Les voies de pénétration principales

- Ingestion possible après inhalation
- Pénétration cutanée : *hypothèse à l'étude*
- Respiratoire +++



Passage du nasopharynx
pulmonaires vers le cerveau



Passage des alvéoles
pulmonaires vers le sang

- Passe les barrières biologiques (grossesse)



Nanoparticules ingérées

Systeme Gastro-intestinal

Maladie de Crohn
Cancers du colon

Implants médicaux ●

Blessures de guerre/chasse

Maladies auto-immunes
Dermatites
Urticaire
Vascularites

Cerveau

Maladies neurologiques
Maladie de Parkinson
Maladie d'Alzheimer

Inhalation de nanoparticules

● Poumons

Asthme
Bronchites
Emphysème
Cancers

● Système circulatoire

- Artériosclérose
- Vasoconstriction
- Thrombose
- Tension



Cœur

Arythmie
Maladie cardiaque
Mort

Autres organes

Maladies d'étiologie inconnue des reins et du foie

• Système lymphatique

Elephantiasis
Sarcome de Kaposi

Peau

Maladies auto-immunes
Dermatites



Élimination des nanoparticules

- **L'ÉLIMINATION des NP** dépend de leur taille et du compartiment concerné
- Souvent mécanisme inconnu
 - Cils mucociliaires
 - Macrophages
- 2 types
 - **NP persistantes** : TiO₂, accumulation dans certains organes, inflammation, maladies chroniques
 - **NP labiles** : argent, qui subissent processus variables non contrôlés, disséminées dans l'environnement sous différentes formes

Quels risques pour la santé ?

- Effets locaux et migration à distance
 - **PROPRIÉTÉS INFLAMMATOIRES** stress oxydant
 - **PERTURBATEURS ENDOCRINIENS** directs ou indirects
 - **CANCÉROGÈNE** suspecté pour l'homme
 - CIRC 2B Dioxyde de titane et C2 par inhalation UE
 - CIRC 2B Noir de Carbone (non classé UE)
 - **EFFET COCKTAIL**
 - **Potentiel de toxicité propre** à chacun titane, argent, silice...
- Chez l'homme = Niveau de preuve limité
 - Au niveau épidémiologique nanomatériaux
 - ➤ **Mortalité** globale pour cause respiratoire ou cardiovasculaire
 - Exposition aux PUF (poussières ultra-fines)
 - ➤ **Morbidité** (fonctions pulmonaire et cardiaque)
 - inflammation pulmonaire, troubles de la coagulation sanguine (taux fibrinogène et plaquettes)

Quel suivi médical ?

- RISQUE ÉMERGENT = Pas de consensus
- Périodicité du suivi = non SIR mais possibilité de déclarer un SIR à la demande de l'employeur après échange avec le médecin du travail
- Rien de spécifique au niveau médical
 - CLINIQUE = repérer
 - les phases critiques d'exposition
 - les **pathologies préexistantes** cardio vasculaire et respiratoires, les sujets allergiques...
 - principe de précaution pour les **femmes enceintes** (et en âge de procréer)
 - PARACLINIQUE aucun examen spécifique
- PRIORITÉ
 - PRÉVENTION PRIMAIRE +++
 - TRAÇABILITÉ des expositions
 - VEILLE épidémiologique EPINANO
 - INFORMATION des salariés et des employeurs

LA DÉMARCHE DE PRÉVENTION ET LES MOYENS DE PROTECTION

La démarche de prévention

- Repérer, identifier et inventorier tous les nanomatériaux manufacturés ou les produits qui en contiennent

Il n'existe pas d'étiquetage spécifique pour les nanomatériaux manufacturés. Pour identifier le caractère nanométrique d'un produit chimique, il faut se référer à :

- sa taille
- sa distribution granulométrique
- sa surface spécifique
- ses propriétés singulières et innovantes (résistance, fluorescence...)

Comment trouver l'information ?

- analyser la **fiche de données de sécurité** : rubriques 1,3 et 9
- consulter la **fiche technique** du produit
- contacter le **fabricant/fournisseur** (demander si une déclaration à **R-Nano** a été effectuée ou si le produit est déclaré en tant que nanoforme dans le cadre du règlement européen REACH)
- consulter l'**observatoire européen des nanomatériaux : EUON**
- réaliser une revue de la **littérature technique et scientifique**



!!!! Noir de carbone, oxydes de fer, argent, carbonate de calcium, oxyde de zinc, oxyde d'aluminium, dioxyde de titane, silices amorphes, oxyde de cérium, argile, latex...

La démarche de prévention

- Agir sur les procédés et les modes opératoires
 - Privilégier la fabrication et l'utilisation de nanomatériaux sous forme non pulvérulente
 - Éliminer ou limiter certaines opérations particulièrement exposantes
 - Limiter les quantités de nanomatériaux utilisées
- Isoler et mécaniser les procédés de fabrication et d'utilisation (travailler en vase clos)
- Capter les polluants à la source
 - **En laboratoire**, installer des enceintes ventilées avec rejet à l'extérieur des locaux : sorbonne, 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, dosseret aspirant, torche aspirante, etc.
- Filtrer l'air avant rejet à l'extérieur des locaux
 - Utiliser des filtres à air à très haute efficacité dits « absolus » de classe supérieure à H13 (norme NF EN 1822-1)



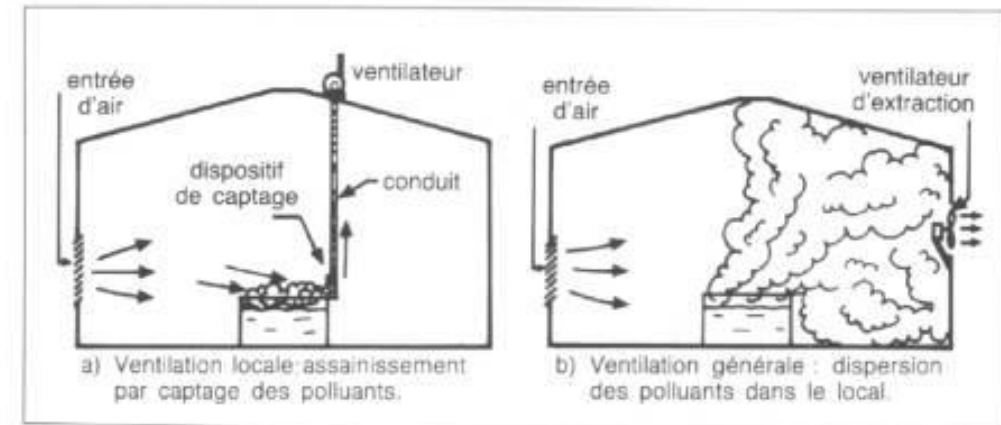
La ventilation

■ Privilégier la ventilation locale

Des principes à respecter :

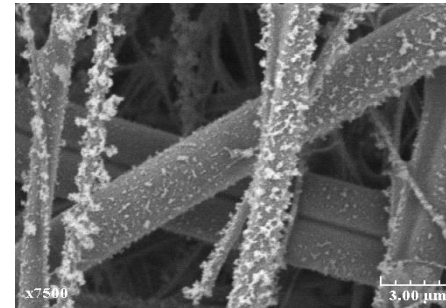
- Capturer au plus près de la zone d'émission
- Maintenir une vitesse de captage adéquate et continue au point d'émission
- Envelopper au maximum la zone de production des nanomatériaux
- Induire des vitesses d'air suffisantes et homogènes, mais sans survitesse
- Rejeter l'air à l'extérieur des bâtiments après filtration (!!!! Le recyclage est à proscrire)

- En complément de la ventilation locale, mettre en place une ventilation générale (afin d'assurer l'élimination des polluants résiduels et de compenser les débits d'air sortants par des débits d'air entrants)



La filtration

- L'efficacité des filtres à fibres augmente lorsque la taille des particules diminue.
- Théorie du rebond thermique (Wang & Kasper, 1991) :
 - Les particules de taille $< 0,1 \mu\text{m}$ seraient susceptibles de ne pas adhérer aux fibres du filtre en raison d'une vitesse d'impact trop importante ?
 - Baisse d'efficacité rapportée que dans un faible nombre d'études.
 - Études expérimentales récentes indiquent une absence de rebond thermique pour des particules de taille $> 1 \text{ nm}$.



Nanoparticules de carbone récoltées sur un filtre HEPA

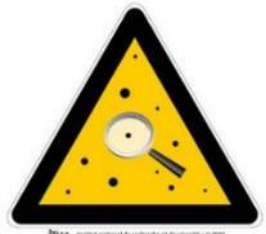
Dès lors que la taille des particules, des agrégats ou des agglomérats est supérieure à 1 nm, leur capture par des médias fibreux est réalisable :

→ Utilisation de **filtres à fibres à air à très haute efficacité (HEPA) de classe supérieure à H 13** (selon la norme EN 1822-1).

La démarche de prévention

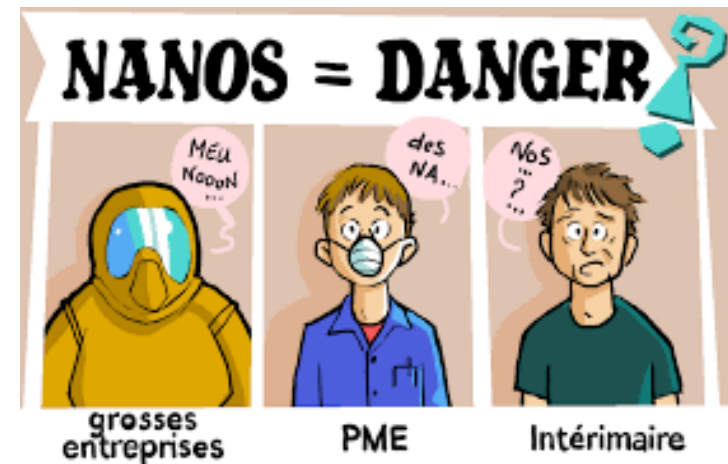


- **Employer des équipements de protection individuelle**
 - Porter un appareil de protection respiratoire filtrant (filtre anti-aérosols de classe P3) ou isolant, selon la durée et la nature des travaux
 - Porter une combinaison à capuche jetable contre le risque chimique de type 5
 - Porter des gants étanches et jetables : nitrile ou vinyle (2 paires de gants superposés si l'exposition est répétée ou prolongée) et des lunettes équipées de protection latérales
- **Délimiter, signaler et restreindre l'accès de la zone de travail**
 - Apposer un pictogramme indiquant la présence de nanomatériau
- **Nettoyer régulièrement les équipements, les outils et les surfaces de travail**
 - Nettoyer à l'aide de linges humides ou d'un aspirateur équipé de filtres à air à très haute efficacité, de classe supérieure à H13 (norme NF EN 1822-1)
- **Traiter les déchets de nanomatériaux**
 - Collecter au plus près des postes de travail
 - Conditionner dans des emballages fermés et étanches
 - Mentionner la présence de nanomatériaux (« contient des nanomatériaux »)
 - Éliminer par incinération ou par enfouissement dans une installation de stockage



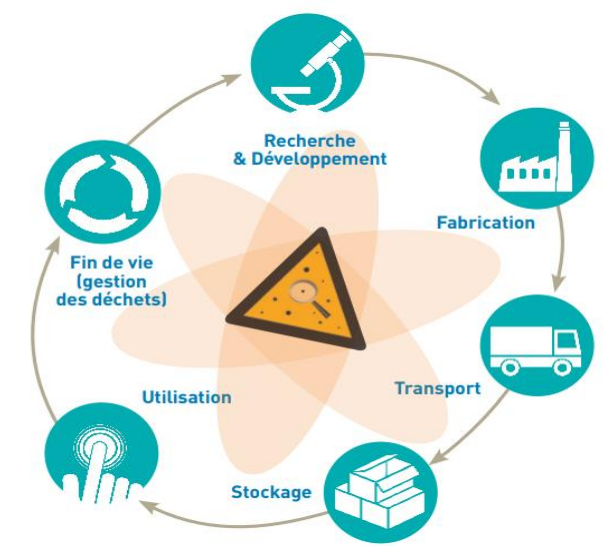
La démarche de prévention

- 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 les salariés exposés sur les risques et les mesures de prévention en l'état des connaissances
- Assurer la traçabilité de l'exposition des salariés



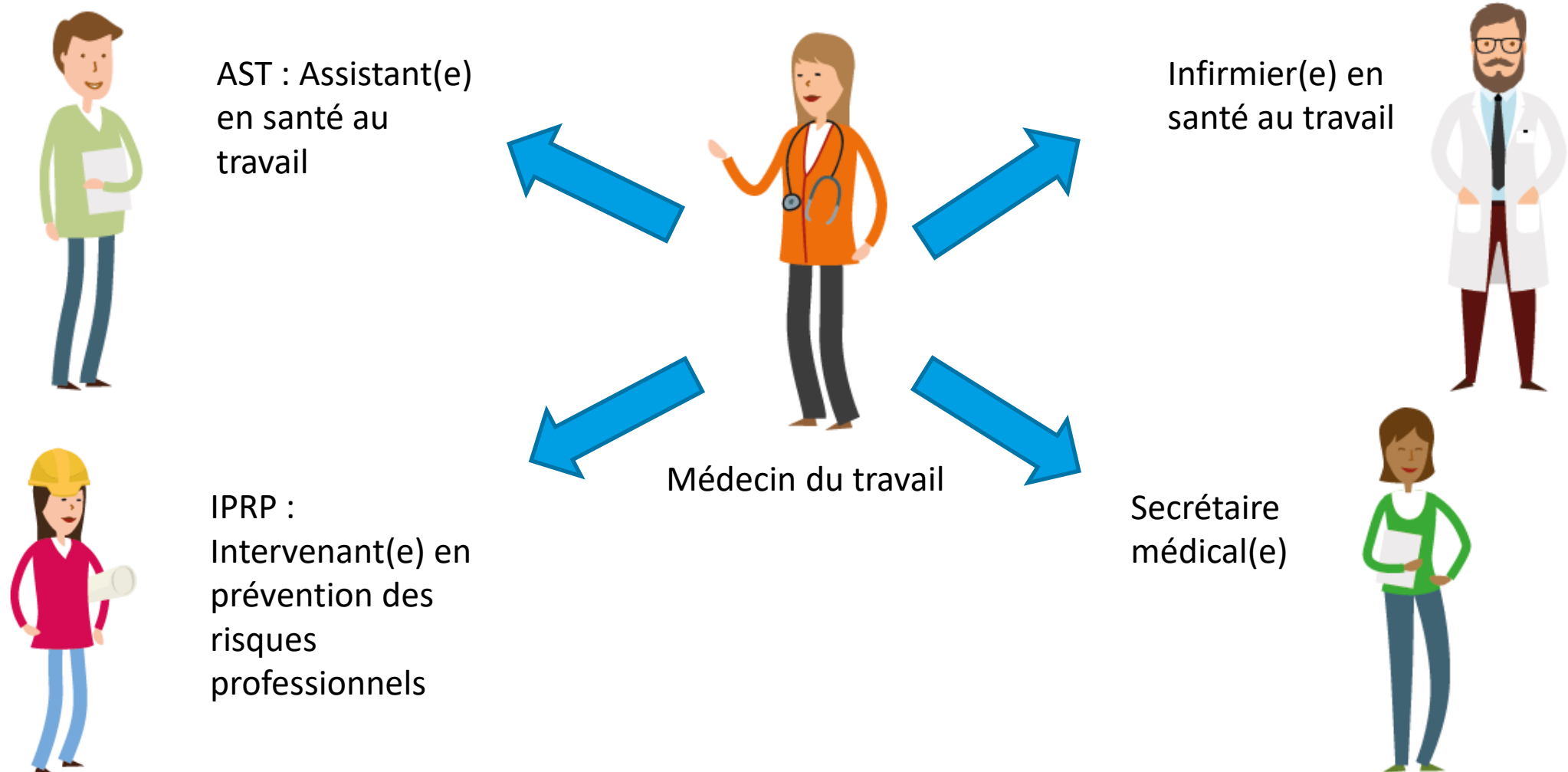
Les points à retenir

- Des **situations d'exposition professionnelle aux nanomatériaux** existent dans de très nombreux secteurs d'activité.
- Compte tenu de nombreuses inconnues liées aux nanomatériaux manufacturés, à leurs effets potentiels sur la santé et aux risques documentés de toxicité des particules ultra-fines chez l'homme, il convient de prendre des **mesures de limitation des expositions professionnelles** (« ne pas attendre pour agir »).
- L'**instauration de procédures strictes de prévention** tout au long du cycle de vie des produits, demeure la seule façon de prévenir tout risque de développement de maladies professionnelles.
- Il importe de privilégier la **protection collective** et la **protection intégrée aux procédés** : isoler les équipements, capter les polluants à la source, filtrer l'air, etc.

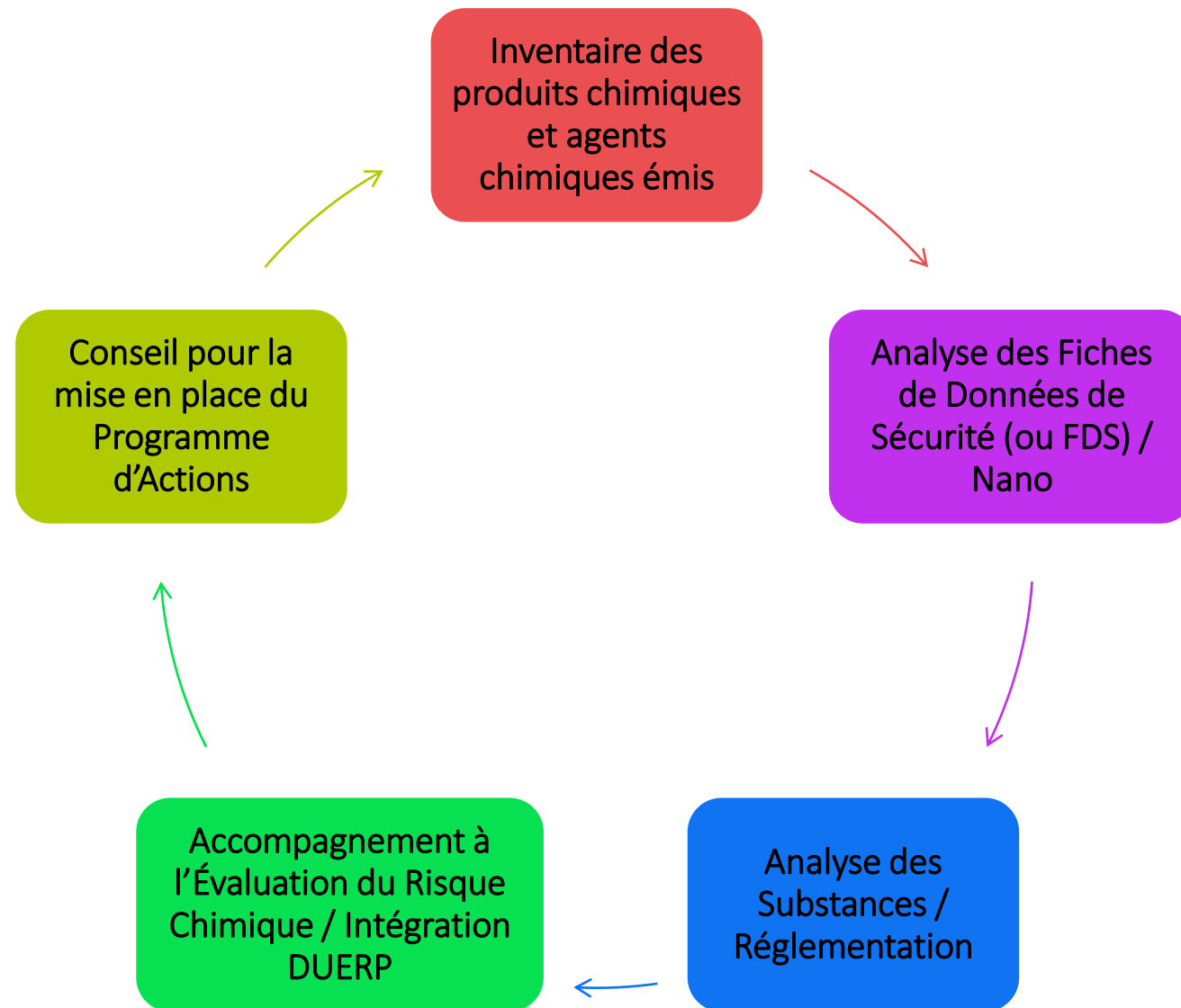


**QUE PEUT VOUS APPORTER VOTRE
SPSTI ?**

Équipe Pluridisciplinaire de Santé au Travail (ou EPST)



Accompagnement des Adhérents par les SPSTI



FOCUS SUR LE DIOXYDE DE TITANE (TiO₂)

Exemple de Substitution : Dioxyde de Titane (TiO₂)

CAS 13463-67-7 (forme Nano)

Contexte réglementaire - R-Nano :

- En 2019, constatant le **manque de données** sur la toxicité du dioxyde de titane (E171)
 - Le gouvernement invoque le principe de précaution pour l'interdire dans les aliments à partir de janvier 2020.
 - Soupçon d'effet cancérigène du E171.
 - Classé cancérigène probable depuis 2006 par le CIRC (CIRC2B).
 - Depuis 2021, classé cancérogène Cat 2 par inhalation par l'Union européenne.
- Dangersité lié au fait que le TiO₂ soit sous **forme nanoparticulaire**
 - Cette taille infinitésimale lui conférant, comme à toutes les nanoparticules, des potentialités toxiques particulières.
- À partir de l'été 2022, on ne devrait plus retrouver de dioxyde de titane dans les produits alimentaires en vente **dans l'Union européenne**.
- L'Agence européenne de sécurité alimentaire conclut : « *le dioxyde de titane ne peut plus être considéré comme un additif alimentaire sûr* », notamment en raison **des risques de génotoxicité**.

Exemple de Substitution : Dioxyde de Titane (TiO₂)

■ L'additif alimentaire E171

- Un colorant alimentaire sous **forme de poudre**.
- Constitué de particules de **dioxyde de titane (TiO₂)**.
- Propriété : l'utilisation de l'E171 confère au produit une couleur blanche et des propriétés opacifiantes (brillance du produit).
- Le E171 contient majoritairement des particules micrométriques de TiO₂, cependant une partie se présente sous la **forme nanométrique** (<100 nm).
- D'une étude à l'autre, la proportion de particules nanométriques varie, mais reflète plutôt une variabilité d'un échantillon à l'autre (à hauteur de 15 à 36%)

Source Cancer-environnement.fr

- L'E171 utilisé dans différents domaines : **chewing-gums, dentifrices, peintures, soupes, bonbons, condiments, mais aussi les médicaments.**



Exemple de Substitution : Dioxyde de Titane (TiO₂)

■ L'entreprise Mars Wrigley Confectionery

MARS WRIGLEY
confectionery



- Localisée en Alsace (Haguenau, 67).
- Spécialisée dans la fabrication de bonbons chocolatés à base de cacahuètes (M&M's).

■ Utilisation du TiO₂:

- Pour ses propriétés opacifiante dans le processus de colorations du produit (couleurs plus vives avec le E171).
- Utilisé dans les étapes de colorations et d'impression du logo sur le produit.

■ Exposition des salariés

- L'exposition la plus forte au TiO₂ nanométrique du salarié est celle liée à la manipulation de produits pulvérisés, comme lors de la mise en suspension lors des impressions.
- Chez les personnes exposées par voie respiratoire, le dioxyde de titane sous forme nanoparticulaire (TiO₂-NP) peut engendrer une inflammation pulmonaire.
- Une exposition par ingestion était également à prendre en compte du fait de la consommation du produit (qui était tout de même très présente chez les salariés de l'entreprise).

Exemple de Substitution : Dioxyde de Titane (TiO₂)

Changement du Process :

- Suppression du TiO₂ complète
 - Le groupe américain Mars investit plus **de 70 millions d'euros** dans son usine alsacienne de Haguenau.
 - Substitution du Dioxyde de Titane par de **l'Amidon de Riz** dans les recettes de M&M's.
- Importants efforts de recherche et de développement engagés
- Introduction de nouveaux équipements (ex. Printer Logo)



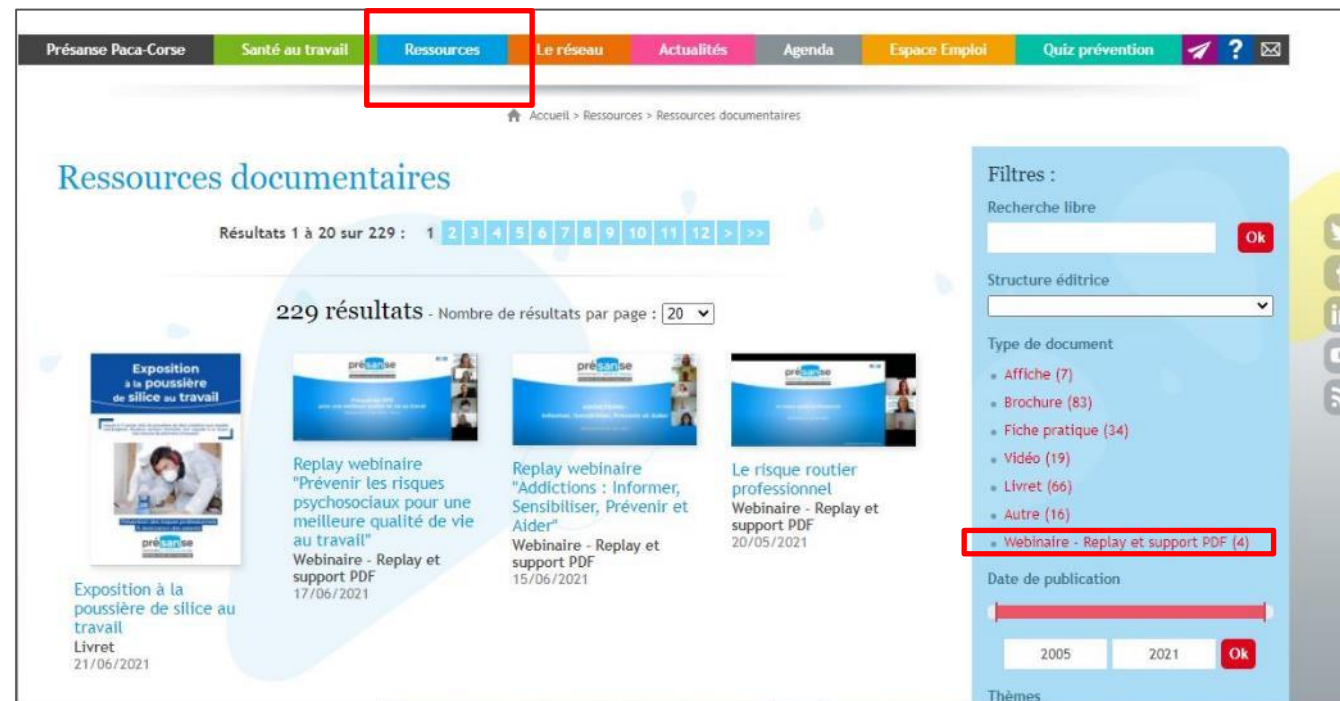
- Mise en place de nouvelles **fiches de poste**, de nouvelles procédures de **nettoyage** (produits plus colmatés)
- Nouvelle **évaluation des risques** aux postes de travail (DUERP)

Posez vos questions !

15 minutes de questions/réponses

Retrouvez replay et support sur notre site web !

- www.presanse-pacacorse.org
- Rubrique « Ressources »





PRÉVENTION ET SANTÉ AU TRAVAIL

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR-CORSE

www.presanse-pacacorse.org

Merci de votre attention !