

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Qualité des produits et Sécurité Alimentaire

Thème :

*Etude in silico de la toxicité des nanoparticules (Al_2O_3) par
le développement du control banding (COSHH Essentials,
Control banding tool)*

Présenté par :

AMIROUCHE Meryem
TAHRAOUI Rania

Devant le jury composé de :

Président	: Dr. AISSAOUI Ryad	M.CB	Université de Guelma
Examineur	: Dr. GRARA Noudjoud	M.C.A	Université de Guelma
Encadreur	: Dr. DJEKOUN Mohamed	M.C.B	Université de Guelma

Juin 2015

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions le « Dieu » notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce Modeste travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur Mr. Djekoun Mohamed, maitre de conférence au département de biologie à l'université de Guelma, qui a proposé le thème de ce mémoire, et qui a toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nos reconnaissances, nos vives gratitudees et nos sincère remerciements vont à Monsieur le président AISSAOVI Ryad et Madame l'examinatrice GRARA Noudjoud pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur propositions.

Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Meryem, Rania

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents Abdel hak et Zafia

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement.

A mes frères : Nossair, Sohayeb

Et ma sœur : Oumaima

A toute la famille AMIROUCHE et ABBAS Tout à son nom

A mes copines: Bouba, Imén et en particulier ma binôme

Tahraoui Rania

A tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de Guelma

Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire.

AMIROUCHE Meryem

Dédicace

A cœur vaillant rien d'impossible

A conscience tranquille tout est accessible

Je dédie ce mémoire à ... ✍

A mes très chers parents Nouar et Louiza

Vous représentez pour moi l'exemple du dévouement

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis

pour mon éducation et ma formation

A ma très chère sœur Rahma et mon très cher frère Wassim

*Mes anges, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de
fraternité et d'amour.*

A ma chère copine Amirouche Meryem

Ma deuxième sœur présente dans tous mes moments par son soutien moral

A mes chères ami(e)s, Marwa C, Fatima T, asma et Meriem K,

Abde Nour M, Ali et Houcine

Vous avez toujours été présents pour les bons conseils

A ma grand-mère Mama Khadoudja

A la mémoire de la grande dame qui a tant sacrifié pour nous

A tous les membres de ma famille, petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

TAHRAOUI Rania

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I : Le développement des nanoparticules et leurs impacts

1. Les nanomatériaux.....	1
1.1 Définition	1
1.2 Sources d'émission des nanoparticules	2
1.3 Propriétés des nanoparticules	3
1.4 Les domaines d'usage	4
1.5 Utilisation des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire	4
1.6 Avantage des nanoparticules	5
1.7 Les risque des nanoparticules sur l'homme et sur l'environnement	7
1.7.1 Effet des nanoparticules sur l'environnement.....	8
1.7.2 Effet des nanoparticules sur l'homme.....	8
2. Réglementation	10
2.1. Le principe de règlement REACH	10
3. Evaluation des risques	11

Chapitre I I: Le développement des outils de la gestion graduée des risques (control banding)

1. Définitions et concepts	13
1.1. Gestion graduée des risques (control banding)	13
1.2. Matériau parent	14
1.3. Substance analogue	14
1.4. Risque.....	14
2. Principe de fonctionnement	14
2.1. Étape de planification	15
2.1.1. Collecte d'informations	16
2.1.2. Attribution d'une bande de danger	16
2.1.3. Attribution d'une bande d'exposition	17

2.1.4. Définition et faisabilité d'un plan d'action pour la maîtrise du risque	17
2.2. Étape de mise en œuvre	17
2.2.1. Mise en œuvre du plan d'action	18
2.2.2. Activités de routine dans le cadre de la gestion graduée des risques	18
2.3. Étape de vérification et actions correctives.....	18
2.3.1. Mesure et contrôle de routine	19
2.3.2. Évaluation périodique.....	19
2.3.3. Enquête scientifique et technologique.....	20
2.3.4. Enregistrement des données.....	20
2.4. Revue de direction.....	20
3. Mise en œuvre de la GGR	21
3.1. Recueil des informations	21
3.2. Les bandes de danger	21
3.2.1. Définition	21
3.2.2. Méthode d'assignation d'une bande de danger	22
3.2.2.1. Questions préliminaires.....	22
3.2.2.2. Paramètres toxicologiques et bandes de danger	24
3.2.2.3. Facteurs d'incrémentation	24
3.3. Les bandes d'exposition	26
3.3.1. Définition	26
3.3.2. Méthode d'assignation d'une bande d'exposition.....	26
3.4. Attribution des bandes de maîtrise du risque	27
4. Les différents formats de la GGR (lié à une base de données et lié à un logiciel).....	28
4.1. Le format lié à une base de données (Le modèle COSHH Essentials)	28
4.2. La description des différentes étapes	30
4.3. Format liée à un logiciel (<i>Control Banding Tool Version2 6-18-09</i>).....	35
4.3.1. principe et description.....	35

Chapitre III: Partie d'application (cas d'Al₂O₃)

1. Contexte de manipulation des nanoparticules (cas d'Al ₂ O ₃) dans le domaine alimentaire.....	37
1.1. Définition.....	37
1.2. Propriétés de l'alumine (Al ₂ O ₃).....	37

1.3. L'utilisation de l'alumine	38
2. Application.....	39
2.1. Choix des nanoparticules.....	40
2.2. Application par le model COSHH Essentials.....	41
2.3. Application du logiciel (<i>Control Banding Tool Version2 618 09</i>).....	46
3. Résultat et discussion.....	48
3.1. Résultat	48
3.2. Discussion	50
4. Recommandation et perspective.....	51
4.1. Recommandation.....	51
4.2. Les Perspectives	52

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

N°	Titre de figures	Page
1	Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques	1
2	Les différents types des nanomatériaux	2
3	les domaines d'applications des nanotechnologies	4
4	Nano-encapsulation des ingrédients ou des additifs alimentaires	6
5	Cycle de vie et risque d'exposition	7
6	maladies associées à l'exposition à des nanoparticules	9
7	L'outil de gestion graduée des risques pour les nanomatériaux intégré au système de management de la sécurité	15
8	Étape de planification de la gestion graduée des risques	16
9	Étape de mise en œuvre de la gestion graduée des risques	17
10	Étape de vérification de la gestion graduée des risques et actions correctives	18
11	Schéma de fonctionnement de l'attribution d'une bande de danger au nanomatériau en fonction du niveau de connaissance sur ce dernier	23
12	Incrémentation du niveau de toxicité du nanomatériau en fonction de son matériau de référence, de sa solubilité et de sa réactivité — BD*: niveau minimum de 2 sauf preuve contraire d'innocuité, (MP : matériau parent, MA : matériau analogue)	25
13	L'interface principale du site COOSH Essentials (format lié à une base de données) (http://www.coshh-essentials.org.uk/)	28
14	L'hierarchie du contrôle de COSHH Essentials (les étapes de fonctionnement)	29
15	L'interface de la première étape	29
16	L'interface de la deuxième étape	30
17	L'interface de la troisième étape	31
18	L'interface de la quatrième étape	31
19	L'interface de la cinquième étape	33
20	interface principale du logiciel Control_Banding_Tool (format liée à un logiciel)	34
21	A gauche : L'alumine à l'état naturelle. Au milieu, Structure de l'alumine. A droite, Nano-alumine	37
22	Questions préliminaires	40
23	L'identifier la tâche et la substance	46
24	La spécification des risques à la santé reliés à la substance et la tâche	46
25	La prédiction de l'exposition (trouver l'approche de contrôle)	47
26	Le développement d'un plan d'action	47

Liste des tableaux

N°	Titre de tableau	Page
1	Principales sources de nanoparticules	2
2	Quelques propriétés physico-chimiques pertinentes des nanoparticules	3
3	Exemples d'applications (potentielles) des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire	5
4	Les principaux tests toxicologiques réalisés en expérimentation animale pour l'identification des dangers	10
5	Tableau des bandes de danger basé sur l'attribution des groupes de danger de l'outil e-COSSH Essentials	21
6	Tableau sur l'émission potentielle en fonction de la forme physique du nanomatériau et des transformations spécifiques du matériau	26
7	Matrice des classes de maîtrise à mettre en place au regard de la combinaison du niveau de danger et du potentiel d'émission	27
8	la classification des groupes de danger selon les R-phrases	30
9	les informations de sécurité d'oxyde d'aluminium	38
10	Classification des R- phrases selon le système EU	59

Liste des abréviations

Al₂O₃ : Oxyde d'Aluminium

BD : Bande de Danger.

C : Niveau de Control.

CAS : Chemical Abstract Service.

Carc : Carcinogène.

CB : Control Banding.

COSHH : Control Of Substances Hazardous to Health.

DHAP : Dose Hebdomadaire Admissible Provisoire.

E : European.

EC : European Commission.

EPI : Equipement de Protection Individuel.

EPR : Equipement de Protection Respiratoire.

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

G : Général.

GGR : Gestion Graduée des Risques.

HSE: Health and Safety Executive.

Irrit : Irritation.

ISO : International Standard Organisation.

MA : Matériau Analogue.

MP : Matériau Parent.

Mut : Mutagène.

NM : Niveau de Maitrise.

NP : Nanoparticule.

OEL : Occupational Exposure Limits

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PDCA : Prévoir, Appliquer, Contrôler et Améliorer.

PE : Potentiel d'Emission.

R: Risque.

REACH : Registration, Evaluation and Autorisation of Chemicals.

Repro: Reproduction.

Resp: Respératoire.

RL : Risque Livel (niveau de risque).

S : Skin

Sens : Sensible.

SST : Sécurité et Santé de Travail.

Tox : Toxique.

UV : Ultra Violet.

VLE : Valeur Limite d'Exposition.

Introduction générale

Une nouvelle révolution industrielle s'amorce autour des nanotechnologies. L'engouement, maintenant planétaire, se traduit par des investissements annuels de plusieurs milliards de dollars en recherche et développement. Dans un contexte où les technologies actuelles permettent de manipuler la matière et de synthétiser des produits à l'échelle atomique, les nanoparticules démontrent des propriétés totalement différentes des produits de même composition mais de plus forte taille. L'ère des nanomatériaux et des nanotechnologies nous promet des développements et des percées scientifiques majeures qui affecteront de façon permanente le quotidien de chacun dans un avenir rapproché.

Les utilisations potentielles des nanoparticules sont à prévoir dans des secteurs d'activités très diversifiés allant du domaine biomédical à l'électronique, en passant par la métallurgie, l'alimentation, le textile, les revêtements, les cosmétiques, l'énergie, les catalyseurs, etc. Plusieurs recherches visant la compréhension des effets sur la santé suite à des expositions professionnelles ou des risques que posent les nanoparticules à la sécurité de la population. Le manque important de connaissances scientifiques caractérisé par un niveau élevé d'incertitude quant aux risques sanitaires associés aux nanomatériaux, la méthode de **gestion graduée des risques** est présentée comme une solution alternative.

L'approche du « **Control Banding** » a été développée afin de disposer d'une stratégie permet justement d'implanter des mesures de maîtrise de l'exposition efficaces mais réalistes dans un contexte de manque d'information permettant une évaluation précise du risque.

Cet instrument tient compte des informations existantes, des données techniques et scientifiques disponible afin de produire une évaluation de risque malgré des données d'entrée incomplètes. Cette approche est évolutive car l'instrument peut être affiné par l'apport de nouvelles données, compte tenu de la nécessité de formuler des hypothèses sur les informations souhaitables mais non accessibles pour appliquer une telle démarche, il n'est pas indispensable que l'utilisateur possède une expertise pointue dans les domaines de la prévention des risques chimiques et des nanomatériaux.

Les objectifs du présent **PFE** sont de trois ordres : scientifiques, méthodologiques et d'amélioration des gestions.

L'**objectif scientifique** consiste à produire une synthèse des connaissances actuelles sur les nanoparticules en portant une attention particulière aux risques liés à la santé.

L'objectif méthodologique est de viser à mettre à la disposition des travailleurs des moyens efficaces de prévention à l'exposition aux nanoparticules afin de prévenir le développement de maladies causées par les nanoparticules selon de nouvelles approches.

L'objectif d'amélioration de la gestion ; vise à proposer des approches et des outils des préventions pour les entreprises et les laboratoires où sont produits ou manipulés des nanoparticules alimentaires.

A fin de présenter l'étude menée en ce sens, le présent manuscrit s'articule en deux grandes parties : l'une bibliographique et l'autre est consacrée à l'application des deux outils informatique de gestion de risque.

Dans une première partie (**chapitre I**) nous présenterons brièvement les différentes nanoparticules existantes pour les nanos aliments ainsi que leur impact sur la santé de l'homme.

Alors que le **2^{ème} chapitre** est une synthèse bibliographique des méthodes qualitatives, modèles empiriques, permettant d'estimer l'exposition aux nanomatériaux.

La seconde partie (**chapitre III**) s'attache à la création du scénario et à l'application des méthodes qualitatives et des modèles empiriques. Nous présentons dans un premier temps une méthode qualitative (**COSHH Essentials**) développée pour l'évaluation des risques dans les petites et les moyenne entreprises. Cette méthode est en suite comparée à une autre méthode qualitative (**Control Banding Tool Version2 6 18 09 Excel**).

Chapitre I

*Le développement des nanoparticules et leurs
impacts*

Les nanoparticules peuvent être produites par une série de procédés biologiques, chimiques ou physiques dont plusieurs sont connus depuis longtemps et d'autres utilisent de nouvelles technologies. La nanoscience peut être définie comme étant l'habileté de faire des choses « mesurer, voir, prédire et fabriquer » à l'échelle des atomes et des molécules et d'exploiter les nouvelles propriétés spécifiques à cette échelle. Les recherches actuelles visent la production de nouvelles nanoparticules qui démontrent des propriétés uniques (**Ostiguy C. et al., 2006**).

Il convient donc de s'interroger sur l'introduction de ces nouveaux produits en termes d'effets potentiels de toxicité et d'écotoxicité, afin d'en mesurer et d'en contrôler les conséquences tant sociétales qu'environnementales et sanitaires [1].

1. Les nanomatériaux :

1.1 Définition :

- **Les nanomatériaux** sont généralement des matières qui sont élaborées par incorporation de nanoparticules dans une matrice (nano-composite) ou qui possède une structure à l'échelle nanométrique en surface ou en volume (**Binet S. et al., 2011**).
- **Les nanoparticules** sont des assemblages d'atomes dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nm (**Igor P., 2011**).
- **Nano-aliment** : Le terme « nano-aliment » décrit la nourriture qui a été cultivée, produite, transformée ou emballée en utilisant la nanotechnologie technique ou l'incorporation des nanomatériaux. Le but de nano-aliment est d'améliorer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et la saveur, et de réduire les coûts (**Alfadul S.M., Elneshwy AA., 2010**).

A titre de comparaison avec les structures organiques naturelles, les nanoparticules se situent principalement dans la gamme de taille correspondant aux protéines (figure1) (**Goutayer M., 2008**).

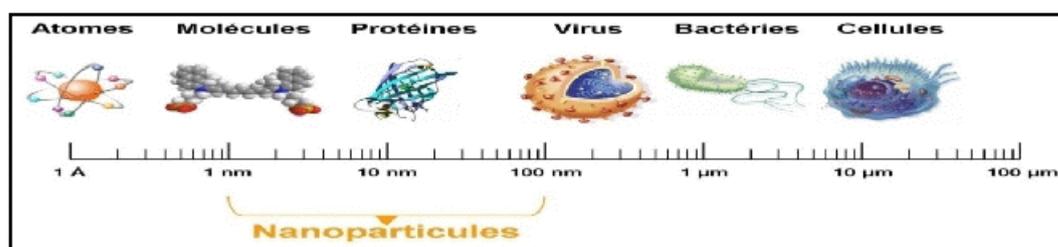


Figure 01: Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques (Goutayer M., 2008**)**

1.2 Sources d'émission des nanoparticules :

Les nanoparticules sont classées selon leurs différentes origines en 3 catégories (**Tableau 01**).

Tableau 01 : Principales sources de nanoparticules (Pailleux M., 2012)

Naturelles	Anthropogéniques	
	Non intentionnelles	Intentionnelles
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Feux de forêts ▪ Cendres volcaniques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Combustion des moteurs ▪ Incinérateurs ▪ Fumés de métaux (soudage, etc.) ▪ Autres fumées ▪ Friture, grillade 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nanomatériaux manufacturés: nanoparticules, nanotubes, nano-films ▪ Métaux, semi-conducteurs : oxydes métalliques, carbone

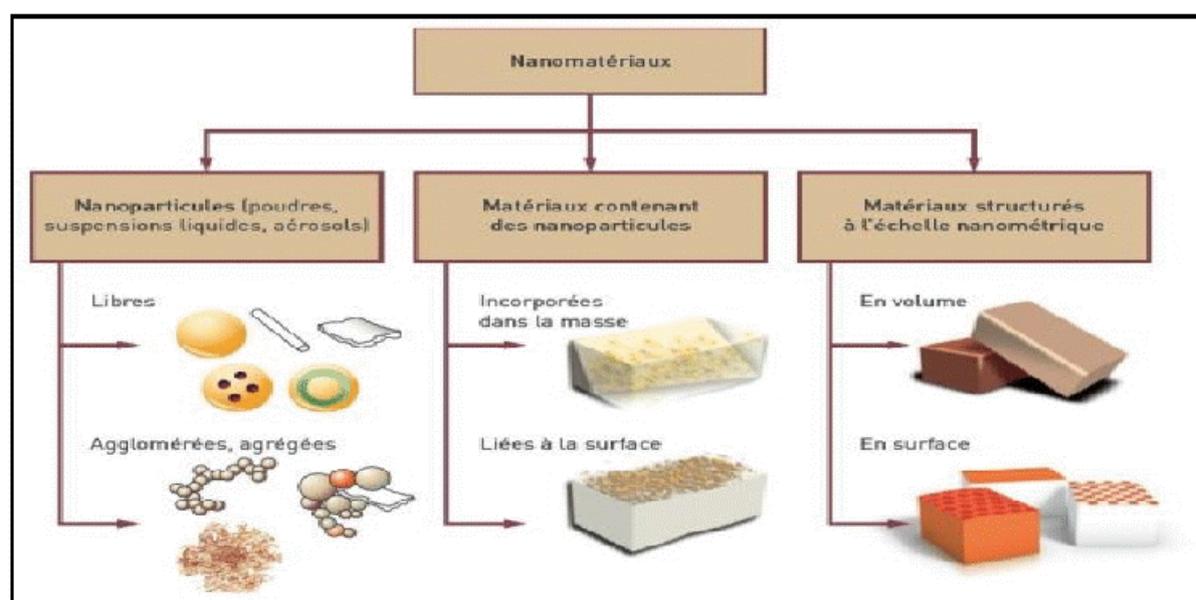


Figure 02 : Les différents types des nanomatériaux (INRS, 2013)

1.3 Propriétés des nanoparticules :

La taille n'est pas seule à jouer un rôle mais aussi le nombre de particules, la forme et la réactivité de surface (**afsset, 2010**).

Le **tableau 02** énumère quelques propriétés pertinentes des nanoparticules / nanomatériaux. Leurs propriétés physicochimiques peuvent varier suivant l'environnement (matrice) (**Berkvens D. et al., 2012**).

Tableau 02 : Quelques propriétés physico-chimiques pertinentes des nanoparticules (Berkvens D. *et al.*, 2012)

<i>Composition chimique</i>	
Pureté, Coating	La composition chimique de la nanoparticule peut être différente de celle du <i>coating</i> ou de la capsule. Le <i>coating</i> peut ainsi influencer les propriétés de la particule (exp. vitamines aquasolubles qui deviennent solubles dans les graisses une fois encapsulées et vice versa). De plus, des impuretés peuvent être présentes. Exemple : Argent, carbone, silicium...
<i>Dimensions des particules</i>	
Taille : différentes dimensions	Pour une sphère parfaite, on se base sur le diamètre, mais les nanoparticules peuvent présenter différentes formes et morphologies (tube, fibre, bâtonnet, cristal, amorphe, libre ou agrégat/agglomérat, etc.).
Structure primaire/ secondaire	Les nanoparticules (dimensions primaires) peuvent former des agglomérats ou des agrégats (dimensions secondaires).
Distribution des tailles	Les nanoparticules se présentent rarement sous forme par exemple d'une poudre composée de particules d'une taille bien déterminée, mais constituent un ensemble de particules de différentes tailles.
Concentration en particules et en masse	Nombre de particules et masse des particules par volume (dispersion) ou par masse (poudre).
<i>Propriétés de surface</i>	
Rapport surface/volume	En général, plus ce rapport est grand, plus la particule est réactive.
Chimie de surface	Les nanoparticules peuvent interagir avec leur matrice, ce qui est susceptible de modifier la réactivité de surface, mettant ainsi en avant de nouvelles fonctionnalités.
Charge de surface	Le potentiel zêta (potentiel électrocinétique dans les systèmes colloïdaux) sera notamment déterminant pour la stabilité des nano-systèmes (suspensions, émulsion).

1.4 Les domaines d'usages :

Aujourd'hui, les nanomatériaux sont présents en masse dans des domaines divers et variés. La figure ci-dessous (figure 03) présente les principaux secteurs d'activité dans lesquels on retrouve les nanomatériaux ainsi que quelques exemples d'utilisation actuelle (Davoust P., 2009-2010).

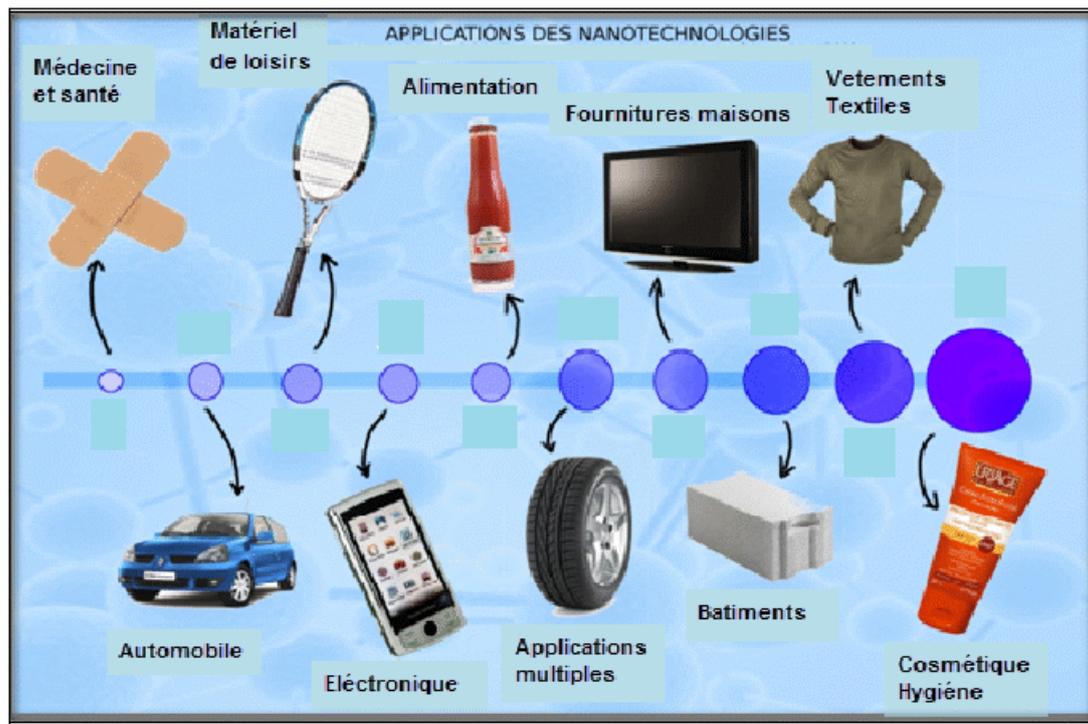


Figure 03 : les domaines d'applications des nanotechnologies [2]

On peut donc s'attendre à un développement rapide de l'usage des nanoparticules dans un grand nombre d'industries, notamment dans *l'agro-alimentaire*.

1.5 Utilisation des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire :

Il est intéressant de noter que les interrogations grandissantes au niveau international sur les risques liés aux nanotechnologies dans la chaîne alimentaire se sont traduites par la disparition de la référence à ces technologies sur certains supports de communication ; ces évolutions pourraient conduire à ne pas déclarer le caractère nanoparticulaire de certains ingrédients (Etienne M. *et al.*, 2009).

Tableau 03 : Exemples d'applications (potentielles) des nanotechnologies dans la chaîne alimentaire (Berkvens D. *et al.*, 2012)

Nano-aliment	Emballage-Matériaux de contact	Production animale	Production végétale	Traitement des eaux et des sols
<ul style="list-style-type: none"> Transformation rationnelle de la structure des aliments à l'échelle nano pour en améliorer la qualité, la valeur nutritionnelle, le goût, la texture, l'odeur. Réduction de la quantité de sel, de graisse, de sucre et d'autres additifs Nano-encapsulation d'ingrédients, d'additifs, de nutriments et de compléments p.ex. pour masquer le goût, protéger contre la dégradation qui survient au cours de la transformation ou pour augmenter la biodisponibilité. Membranes pourvues de nano-filtres pour la filtration de la bière ou du lait pour la production de fromage 	<ul style="list-style-type: none"> Emballages améliorés (amélioration de la flexibilité, de la durabilité, de la stabilité température/humidité, des propriétés de barrière). Emballages 'actifs' (incorporation de nanoparticules aux propriétés antibactériennes – revêtements de surface antimicrobiens et antifongiques aux nanoparticules. revêtement antibactérien et anti-odeurs. emballages 'intelligents' (incorporation de nano(bio)senseurs permettant de surveiller l'état de l'aliment emballé, de détecter les produits chimiques ou agents pathogènes). Nano code-barres p.ex. pour assurer la traçabilité. Nano-coatings 	<ul style="list-style-type: none"> Nano-compléments : meilleure absorption et meilleure biodisponibilité. Nanoparticules qui se lient aux toxines dans les aliments pour animaux (p.ex. liants des mycotoxines qui peuvent être utilisés comme additifs dans les aliments pour animaux) Kits de diagnostic des maladies animales basés sur les nanotechnologies. Médicaments vétérinaires (vaccins) et biocides nano-formulés. 	<ul style="list-style-type: none"> Engrais nano-formulés. Senseurs basés sur les nanotechnologies pour assurer une surveillance des nuisibles, des maladies végétales et des conditions sur le terrain. Nano-encapsulation d'ingrédients actifs – système de nanoporteurs (produits agrochimiques). Nanoparticules avec ADN végétal (targeted genetic engineering). 	<ul style="list-style-type: none"> Membranes réactives catalytiques / nano-coatings pour la stérilisation photocatalytique des eaux de surface. Nanostructures dans la fabrication d'agents de coagulation et de floculation (quantité limitée de bones) Nanostructures dans la production de membranes céramiques ultrafiltrantes. Filtres à nanotubes de carbone. Nanoparticules agissant comme désinfectant ou moyen d'adsorption. Nano-minéraux pour l'assainissement des sols (absorption des métaux lourds, etc..).

1.6 Avantage des nanoparticules :

● Aliments à valeur ajoutée

Amélioration de la valeur nutritionnelle des aliments par la nano-encapsulation et l'augmentation du taux d'absorption des nutriments par l'organisme (Brunelle F., 2011).

● Nano-ingrédients et additifs alimentaires

Produits alimentaires nano-texturés comme des tartinades, des mayonnaises, des crèmes, des yogourts et des crèmes glacées :

- ✓ Nouveaux goûts.
- ✓ Textures améliorées.
- ✓ Consistance et stabilité des émulsions; produits moins sucrés, salés ou gras.

Utilisation d'additifs alimentaires de tailles nanométriques ou nano-encapsulés pour une meilleure dispersion des colorants, des agents de conservation, des saveurs et des suppléments (Brunelle F., 2011).

- **Nano-encapsulation**

Cette méthode est plus efficace pour préserver les ingrédients et les additifs durant les procédés de transformation et l'entreposage que la macro-encapsulation. Il est également possible de masquer les goûts désagréables, de contrôler la libération des additifs et d'augmenter l'apport des nutriments et des suppléments encapsulés (Brunelle F., 2011).

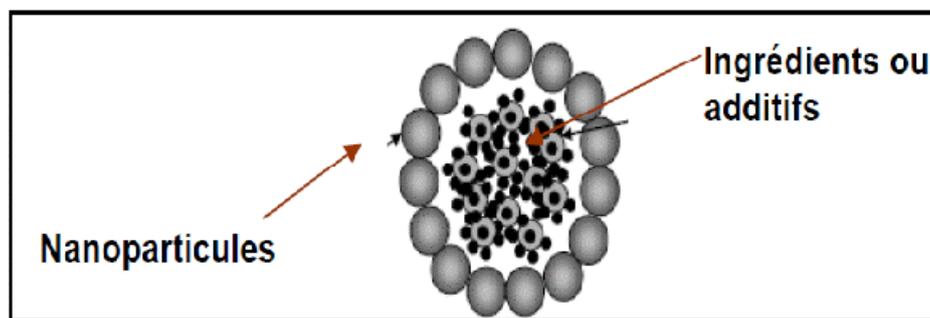


Figure 04 : Nano-encapsulation des ingrédients ou des additifs alimentaires (Brunelle F., 2011)

- **Emballage alimentaire « actif »**

L'utilisation de polymères incorporant des nanomatériaux vise des améliorations de la flexibilité, de la durabilité, de la solidité, de la stabilité de la température et de l'humidité. Ils peuvent également permettre d'obtenir de meilleures barrières contre les rayons UV et des échanges gazeux mieux contrôlés (Brunelle F., 2011).

- **Emballage biodégradable**

L'utilisation de polymères de nano-composites comme des nano-films avec de l'amidon ou de l'acide polylactique permet d'envisager que l'emballage sera plus facilement biodégradable (Brunelle F., 2011).

- **Emballage alimentaire « intelligent »**

Ces emballages contiennent des nano-senseurs (dans l'emballage lui-même ou sur l'étiquette) capables d'enregistrer ou d'afficher divers marqueurs de qualité des aliments pendant la fabrication, le transport, l'entreposage ou la consommation du produit (Brunelle F., 2011).

- **Nano-enrobage pour la conservation**

On pense, par exemple, à des nano-films imitant la cire sur les fruits et légumes qui permettraient d'en augmenter la durée de vie sur les tablettes (Brunelle F., 2011).

1.7 Les risques des nanoparticules sur l'homme et sur l'environnement :

La figure suivante (figure 5) présente le cycle des nanomatériaux, de leur production à l'exposition des personnes, en passant par leur diffusion dans l'environnement.

Les nanomatériaux peuvent aussi avoir un impact plus global sur l'environnement, on distingue alors :

1. **Exposition directe**, cela concerne les opérateurs des industries qui utilisent les nanomatériaux ne sont pas les seuls à être susceptibles d'être exposés aux nanomatériaux (lors des phases de production, de stockage, ou de transport) ainsi que les consommateurs de ces produits.
2. **Exposition indirecte**, cela concerne l'ensemble de la population. En effet, la phase de production des nanomatériaux peut être à l'origine de rejet dans l'environnement, qui par infiltration dans les sols, dans l'eau et par la diffusion dans l'air vont pouvoir pénétrer dans l'organisme humain (Davoust P., 2009-2010).

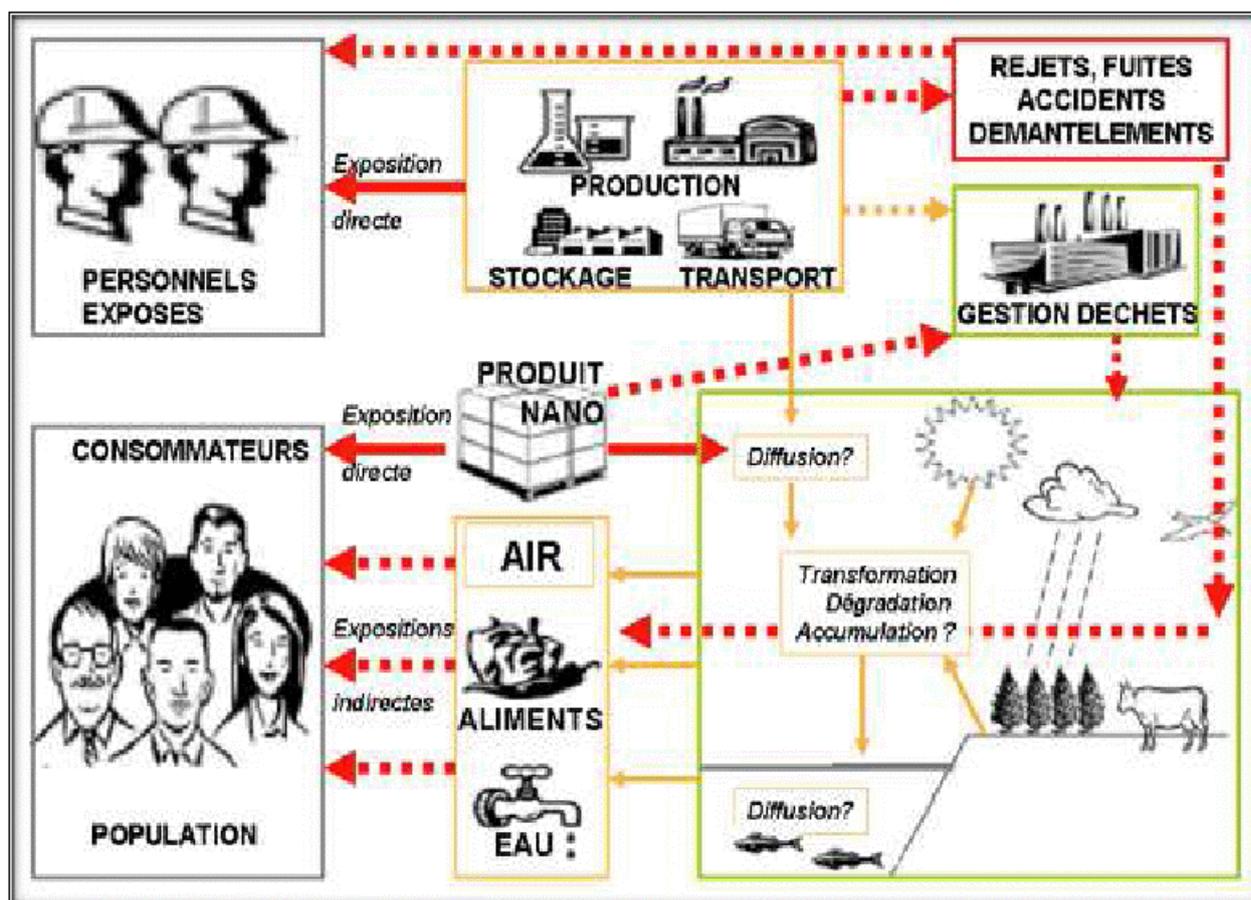


Figure 05: Cycle de vie et risque d'exposition (Davoust P., 2009-2010)

1.7.1 Effet des nanoparticules sur l'environnement :

La présence de substances non naturelles dans l'environnement augmente proportionnellement à leur utilisation par l'homme. Ainsi le développement des nanotechnologies et leurs utilisations, aura très certainement pour conséquence une augmentation de la concentration en nanoparticules dans l'air, les eaux et les sols ([Simon-Deckers A., 2008](#)), qui affecte les différents compartiments biologiques de l'environnement qui conduirait à une exposition de la faune et la flore ([anses, 2014](#)).

Des études commencent à montrer l'impact que pourrait avoir les nanoparticules sur l'environnement, mais actuellement il est difficile de savoir si les nanoparticules vont poser un problème pour l'environnement à court ou à long terme ([Simon-Deckers A., 2008](#)).

1.7.2 Effet des nanoparticules sur l'homme :

Les hommes ont toujours été exposés à des particules fines et ultrafines, parfois à des concentrations importantes. Les particules peuvent pénétrer dans l'organisme à travers les poumons, la peau ou la paroi intestinale, chacun présentant une barrière à cette pénétration. Néanmoins, ces barrières peuvent se révéler insuffisantes et certaines particules avoir des effets toxiques sur l'organisme ([afsset, 2006](#)).

❖ Les voies d'exposition aux nanoparticules :

- **Voie respiratoire** : voie privilégiée en exposition directe s'elles sont inhalées, pénétrer en profondeur dans les poumons.
- **La voie cutanée** : certaines nanoparticules peuvent franchir des barrières cellulaires, c'est le cas de ceux que l'on peut trouver dans les crèmes solaires.
- **La voie digestive** : voie de pénétration en exposition indirecte aux nanomatériaux. Il est possible d'être confronté aux nanomatériaux lorsque l'on mange ou l'on boit des aliments contaminés ([Dubus J.C. et al., 2010](#)).
- **La voie parentale** : application médicale (les injections et les médicaments).

❖ **Maladies associées à l'exposition aux nanoparticules :**

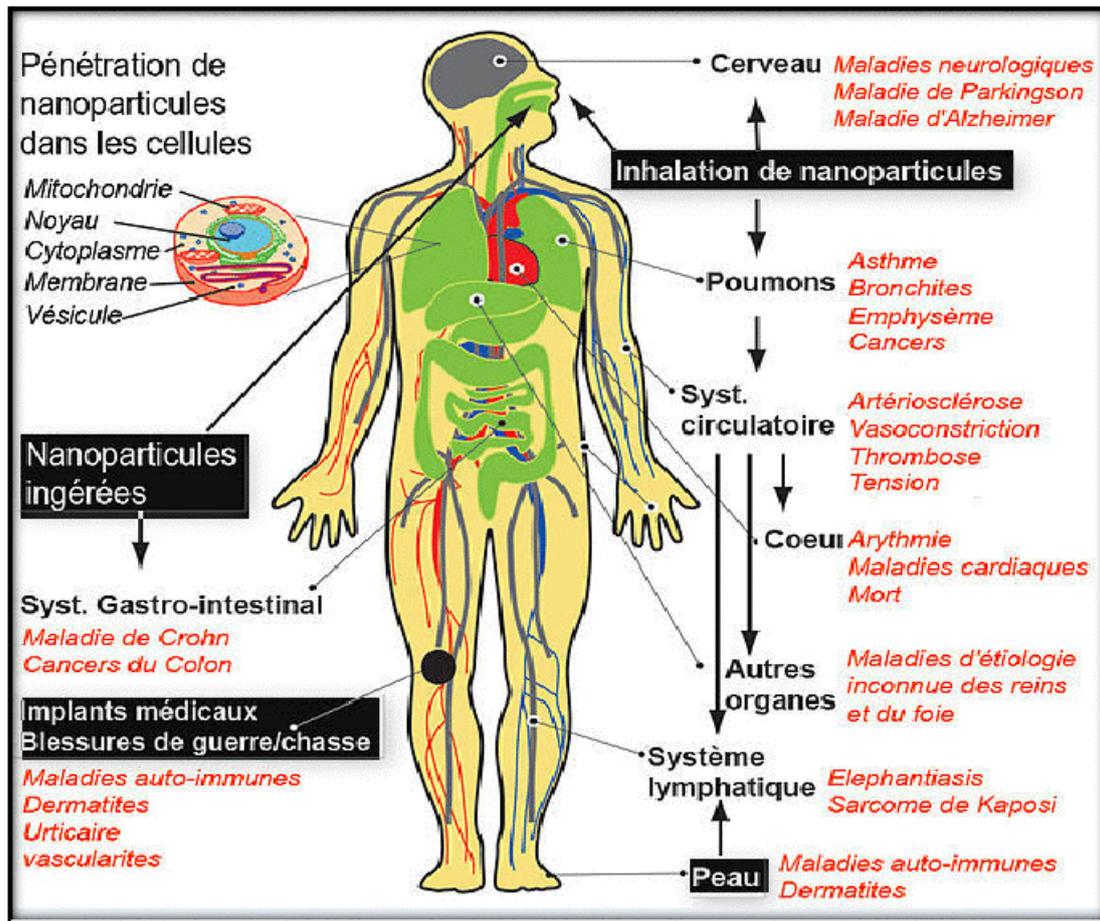


Figure 06: maladies associées à l'exposition à des nanoparticules (Terence N., 2014)

❖ **Etude de la toxicité orale, a court terme, subchronique et chronique et étude de la toxicité sur la fonction de reproduction, le système immunitaire et le système nerveux :**

La description des effets toxicologiques réalisés en expérimentation animale est présentée dans le tableau 4. Ces effets diffèrent essentiellement par leur objectif, la durée de leur exécution, le niveau de dosage qui y est impliqué ainsi que le nombre d'espèces animales utilisées.

Tableau 04. Les principaux tests toxicologiques réalisés en expérimentation animale pour l'identification des dangers (Soubra L., 2008)

Tests	Description
Toxicité orale aigue	Administration d'une seule dose afin de définir l'étendu de la toxicité de la substance en l'absence d'autres données et de déterminer la dose létale 50.
Toxicité a court terme	Administration de doses journalières répétées pour une durée de 14 -28 jours afin de fournir des indicateurs utiles sur le potentiel toxique.
Toxicité subchronique	Administration de doses journalières répétées pour une durée de 90 jours afin de fournir de l'information sur les sites majeurs de toxicité ainsi que sur les effets toxiques. Utilisée surtout pour la conception des études de toxicité chronique.
Toxicité a long terme et cancérogénèse	Administration de doses journalières répétées pour une durée d'une année (cas des non rongeurs) ou de deux ans (cas des rongeurs). Les données dérivées de ces études sont souvent la base de l'évaluation de risque des produits chimiques.
Toxicité de la reproduction	Administration de doses journalières répétées avant, pendant et après la gestation afin de déterminer les effets sur la fonction de reproduction, de gestation et sur le développement du fœtus et du nouveau né et d'éventuels effets héréditaires.
Immuno-toxicité	Investigation sur la structure et le fonctionnement des tissus et des cellules responsables de l'activité et de l'intégrité du système immunitaire, intégrée dans les tests de toxicité à court terme et subchronique.
Neurotoxicité	Investigation sur la structure et le fonctionnement du système nerveux, intégrée dans les tests de toxicité à court terme et subchronique.

2. Réglementation :

Règlement REACH (Registration, Evaluation and Autorisation of Chemicals):

les nanomatériaux sont promis à un développement très soutenu durant les années qui viennent. Il convient donc de ne pas s'attacher seulement à leur trouver une place dans la réglementation actuelle, mais également – voire davantage – à imaginer les influences sur la réglementation future et notamment la directive REACH de ce risque potentiel à peine émergent. Le règlement REACH, qui devrait entrer en application en avril 2007, ne discrimine pas les substances selon leur année de mise sur le marché, mais établit des critères d'enregistrement, relevant de la responsabilité des industriels, en fonction du tonnage de la

substance concernée. Ainsi, une substance n'est enregistrée que si elle est mise sur le marché à plus d'une tonne par an et par fabricant (Afsset, 2006).

2.1 Le principe de règlement REACH :

- **Enregistrement**, de toutes les substances produites ou importées à plus d'une tonne par an.
- **Évaluation** des propositions d'essais, des dossiers et des substances par les Etats-membres ou l'Agence ;
- **Autorisation**, pour les substances extrêmement préoccupantes et restrictions pour les risques liés à d'autres substances ;
- **Restriction** d'usage des produits chimiques (Jérémie V., 2010).

3. Evaluation des risques :

Fort de ces différents constats et au vu des incertitudes quant aux effets sanitaires des nanoparticules, il est nécessaire de déclarer les nanoparticules comme de « niveau de danger inconnu » et de les manipuler avec la même prudence que les matières dangereuses, c'est-à-dire d'appliquer les procédures de sécurité sanitaire qui sont mises en œuvre pour diminuer l'exposition aux matières dangereuses.

L'évaluation du risque devra également tenir compte de la voie d'exposition, de la durée et de la concentration de même que de la susceptibilité individuelle ainsi que de l'interaction des particules avec les composantes biologiques et leur devenir biologique (Gaffet E., 2012).

La signification des termes danger et risque ainsi que leurs relations peuvent aisément porter à confusion.

- **Un danger** : ensemble de propriétés inhérentes à un agent chimique, physique ou biologique, combinaison d'agents ou procédé impliquant plusieurs agents qui, soumis à des conditions de protection, d'utilisation ou d'élimination, risque d'entraîner des effets néfastes sur les organismes ou l'environnement (Ostiguy C. *et al.*, 2012).
- **Le risque** : désigne l'éventualité ou la probabilité qu'une personne soit blessée ou que sa santé soit altérée suite à l'exposition à un danger ou que des biens soient endommagés ou perdus.

La relation entre danger et risque est constituée par l'exposition, qu'elle soit immédiate ou à long terme (OIT, 2011).

- **Exposition** : contact avec un agent chimique, physique ou biologique par ingestion, inhalation ou contact avec la peau ou les yeux. L'exposition peut être de courte durée (exposition aiguë), de moyenne durée, ou de longue durée (exposition chronique) (Claude O. *et al.*, 2012).



Le manque d'informations sur la toxicité de nombreuses NPs de même que sur le niveau d'exposition, le tout couplé à l'absence de normes spécifiques, nous conduit souvent à l'incapacité de pouvoir quantifier le risque dans une situation où on fait face à de nombreuses incertitudes. Ce qui nous oblige de proposer une approche adaptée à la situation des NPs et qui permet de tenir compte de l'ensemble des informations disponibles (toxicité, niveau d'exposition) et d'élaborer des hypothèses logiques sur les informations manquantes.

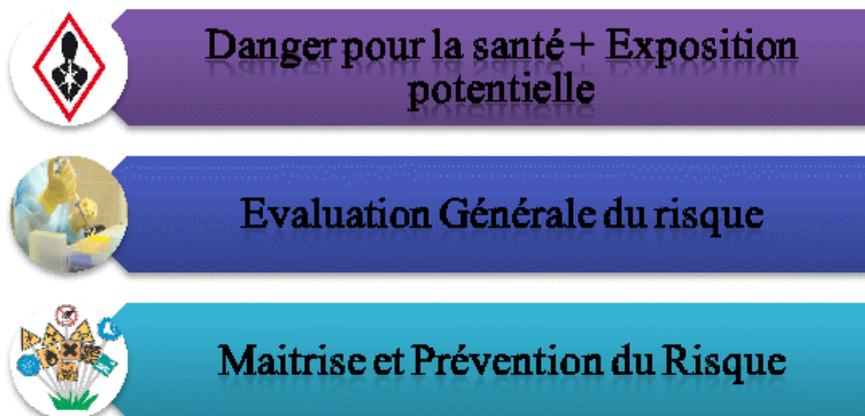
Afin de pouvoir tout de même **implanter des moyens de maîtrise sécuritaires mais réalistes en fonction du risque**, une nouvelle approche a été développée en Grande-Bretagne il y a une dizaine d'années. Son utilisation est de plus en plus répandue : c'est le « *Control Banding* (CB) » (Ostigny C. *et al.*, 2008).

Chapitre I I

*Le développement des outils de la gestion
graduée des risques (control banding)*

La gestion graduée du risque est une approche qualitative ou semi-quantitative d'évaluation et de gestion des risques à la santé et à la sécurité. Elle a été développée il y a une vingtaine d'années par les professionnels de la SST du secteur pharmaceutique pour l'évaluation du risque de contaminants n'ayant pas de VLE ou pour lesquels il existait peu de données toxicologiques. Elle a, par la suite, été adaptée aux contaminants chimiques et, plus récemment, aux nanoparticules.

Cette approche consiste généralement en un système de pointages attribués aux niveaux de danger et d'exposition classés par bandes, dans le but de sélectionner des moyens de prévention et de contrôle de l'exposition en fonction des pointages obtenus à la suite de leur multiplication ou sommation. La gestion graduée du risque a fait l'objet de plusieurs revues et analyses (Lavoie J. *et al.*, 2013).



1. Définitions et concepts :

1.1 Gestion graduée des risques (Control Banding) :

La procédure conçue pour faciliter les décisions informées visant à établir des niveaux de maîtrise adéquats afin d'améliorer la sécurité au travail et la protection de la santé des travailleurs. Elle est basée sur des informations d'entrée simples concernant les dangers et l'exposition des processus, ainsi que les matériaux impliqués. La gestion graduée des risques doit permettre la prise de décisions rapides par les équipes de sécurité locales qui ne sont pas forcément expertes dans les risques spécifiques en question. Elle vise donc à tendre vers des niveaux de protection élevés (Ostigny C. *et al.*, 2012).

1.2 Matériau parent :

Matériau ayant la même composition chimique que le nanomatériau d'intérêt et affichant la même structure cristalline que le nanomatériau, mais dont les propriétés physiques et biologiques pourraient être substantiellement différentes de celles observées à l'échelle du nanomètre. L'exclusion de l'échelle nanométrique est basée sur les définitions ISO des principaux termes avec le préfixe « nano- » (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

1.3 Substance analogue :

Substance ou matériau avec une composition similaire à celle de la substance d'intérêt, et/ou une phase cristalline de la même catégorie chimique et avec des propriétés physico-chimiques similaires documentées (oxydes métalliques, graphite, céramique, etc.). Une substance analogue peut fournir des références concernant les propriétés toxicologiques et chimiques éventuellement intéressantes pour les besoins de l'évaluation des risques (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

1.4 Risque :

Probabilité qu'un événement néfaste (décès, blessure ou perte) découlant de l'exposition à un agent chimique, physique ou biologique, puisse se produire dans des conditions spécifiques. (Vincent R. *et al.*, 2005).

2. Principe de fonctionnement :

La figure ci-après présente l'intégration du processus de gestion graduée des risques dans la méthode de gestion de risque global basée sur le modèle PDCA (Prévoir, Appliquer, Contrôler et Améliorer). Dans ce chapitre seront exclusivement développés les points spécifiques à la gestion graduée des risques appliquée aux nanomatériaux (Vincent R. *et al.*, 2005).

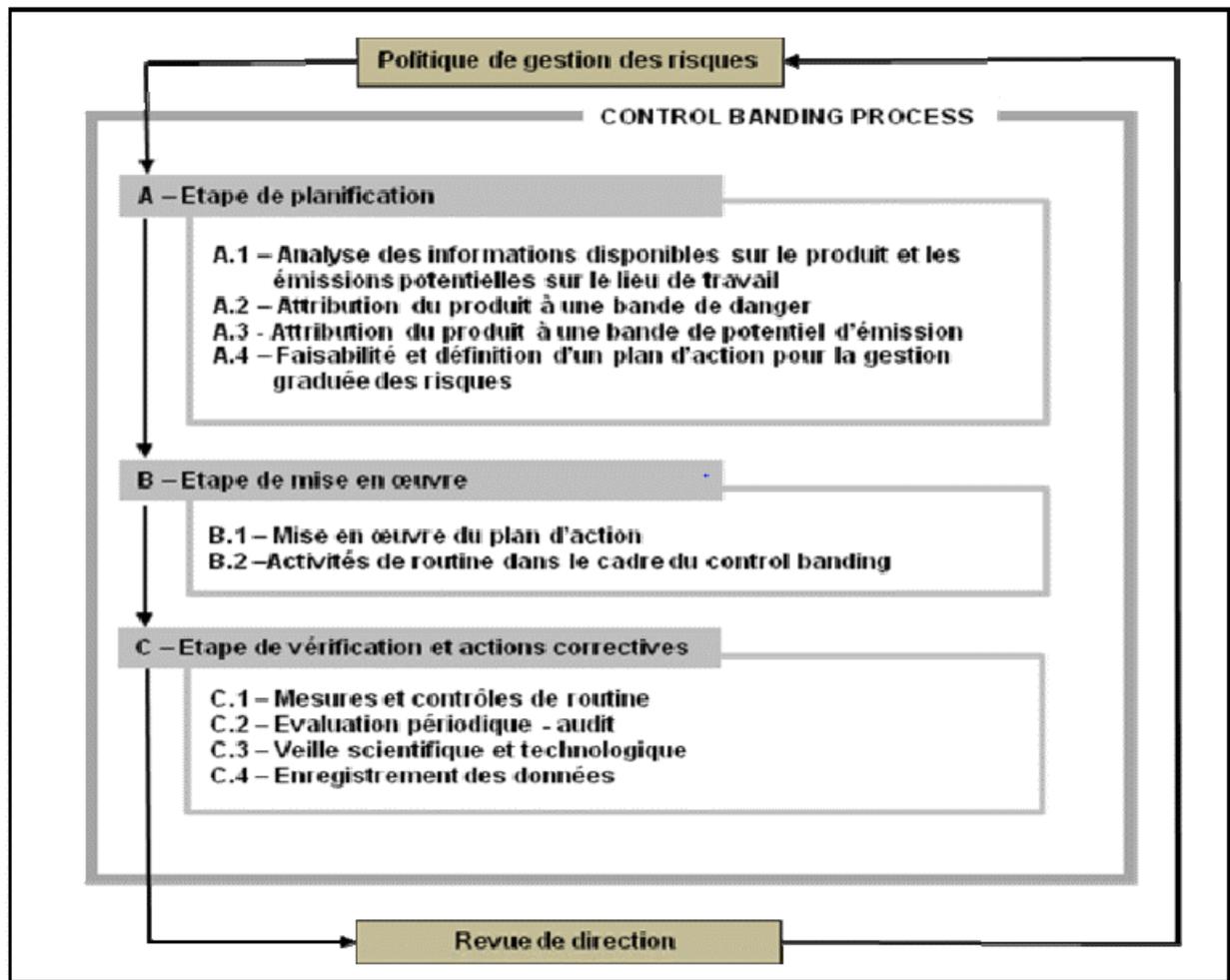


Figure 7 : L'outil de gestion graduée des risques pour les nanomatériaux intégré au système de management de la sécurité (Vincent R. *et al.*, 2005)

2.1 Étape de planification :

Cette étape de planification permet d'attribuer à un nanomatériau ou un produit en contenant des bandes de danger et d'exposition sur la base des informations collectées par l'utilisateur. Elle définit également la faisabilité et le programme du plan d'action du processus de gestion graduée des risques sur une période donnée (Marquart H., 2008).

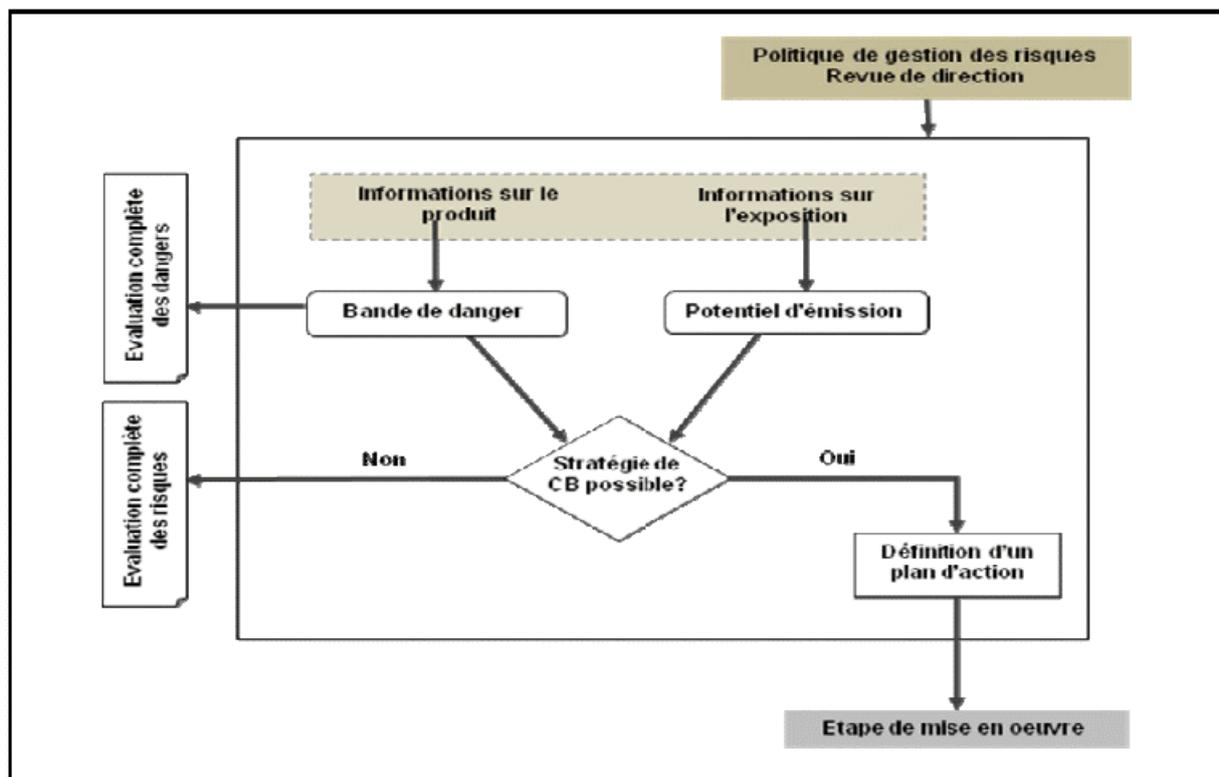


Figure 8: Étape de planification de la gestion graduée des risques
(Ostiguy C. *et al.*, 2012)

2.1.1 Collecte d'informations :

Elle consiste à mettre en œuvre et à réunir les informations disponibles sur les dangers du nanomatériau manufacturé considéré ainsi que sur l'exposition potentielle des personnes aux postes de travail (observation sur le terrain, mesures, etc...) (Marquart H., 2008).

2.1.2 Attribution d'une bande de danger :

Les informations toxicologiques recueillies sur le nanomatériau considéré ou le produit en contenant permettent de lui attribuer une bande de danger. Le recours à une évaluation spécifique du danger par un expert est nécessaire dans les cas suivants :

- L'utilisateur de la méthode considère que celle-ci attribue une bande trop élevée au vu des informations connues.
- Trop d'inconnues existent, en particulier concernant la toxicologie du nanomatériau ou du produit (Marquart H., 2008).

2.1.3 Attribution d'une bande d'exposition :

Dans le cadre des nanomatériaux manufacturés, la méthode d'attribution à une bande d'exposition décrite dans le présent document n'intégrera aucune variable quantitative (en raison des difficultés métrologiques actuelles). La quantification de l'exposition interviendra, après résolution des difficultés techniques existantes, dans un processus d'amélioration continu. La bande d'exposition du nanomatériau considéré ou du produit en contenant est définie par le niveau de potentiel d'émission du produit en tenant compte de son état initial, de sa propension naturelle à évoluer et du type de procédé utilisé (Marquart H., 2008).

2.1.4 Définition et faisabilité d'un plan d'action pour la maîtrise du risque :

Le croisement des bandes de dangers et d'exposition préalablement attribuées permet de définir le niveau de maîtrise du risque. Il fait correspondre les moyens techniques et organisationnels à mettre en œuvre pour maintenir le risque au niveau le plus faible possible.

Un plan d'action est ensuite défini pour garantir l'efficacité de la prévention recommandée par le niveau de maîtrise déterminé. Il tient compte des mesures de prévention déjà existantes et les renforce si nécessaire. Si les mesures indiquées par le niveau de maîtrise de risque ne sont pas réalisables, par exemple, pour des raisons techniques ou budgétaires, une évaluation de risque approfondie devra être réalisée par un expert (Marquart H., 2008).

2.2 Étape de mise en œuvre :

Cette étape est destinée à mettre en place et à assurer la mise en œuvre efficace du plan d'action définie dans l'étape précédente (Marquart H., 2008).

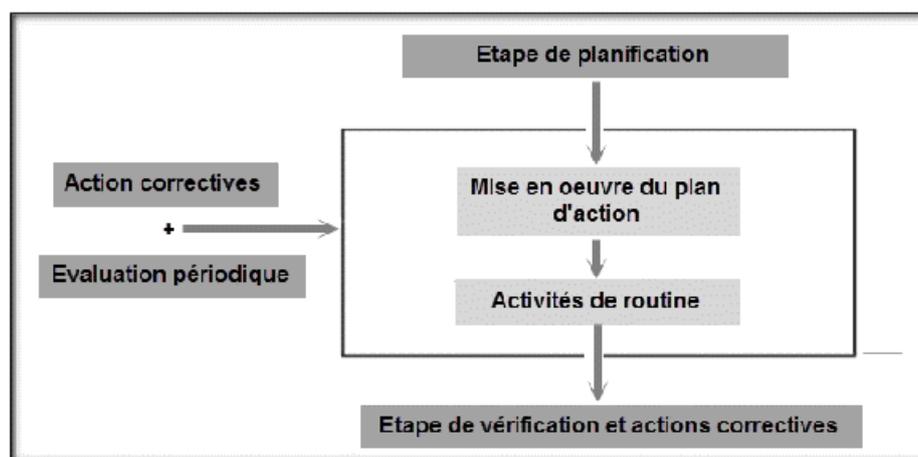


Figure 9 : Étape de mise en œuvre de la gestion graduée des risques (Marquart H., 2008)

2.2.1 Mise en œuvre du plan d'action :

La mise en œuvre du plan d'action défini préalablement permet d'aboutir au niveau de protection préconisé par la stratégie de maîtrise du risque. Une fois les moyens techniques, organisationnels et humains de prévention choisis, les postes de travail concernés pourront être modifiés en conséquence (Marquart H., *et al.* 2008).

2.2.2 Activités de routine dans le cadre de la gestion graduée des risques :

La vérification des performances des moyens mis en place par rapport aux spécifications prédéfinies au plan d'action et le bon fonctionnement des équipements de sécurité participe à l'efficacité de la gestion graduée des risques (Marquart H., 2008).

2.3 Étape de vérification et actions correctives :

L'objectif de cette étape est la surveillance et la mise à jour du processus de gestion graduée des risques selon la figure ci-dessous. Ces deux activités garantissent l'adéquation entre les moyens de prévention préconisés par la gestion graduée des risques et son efficacité (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

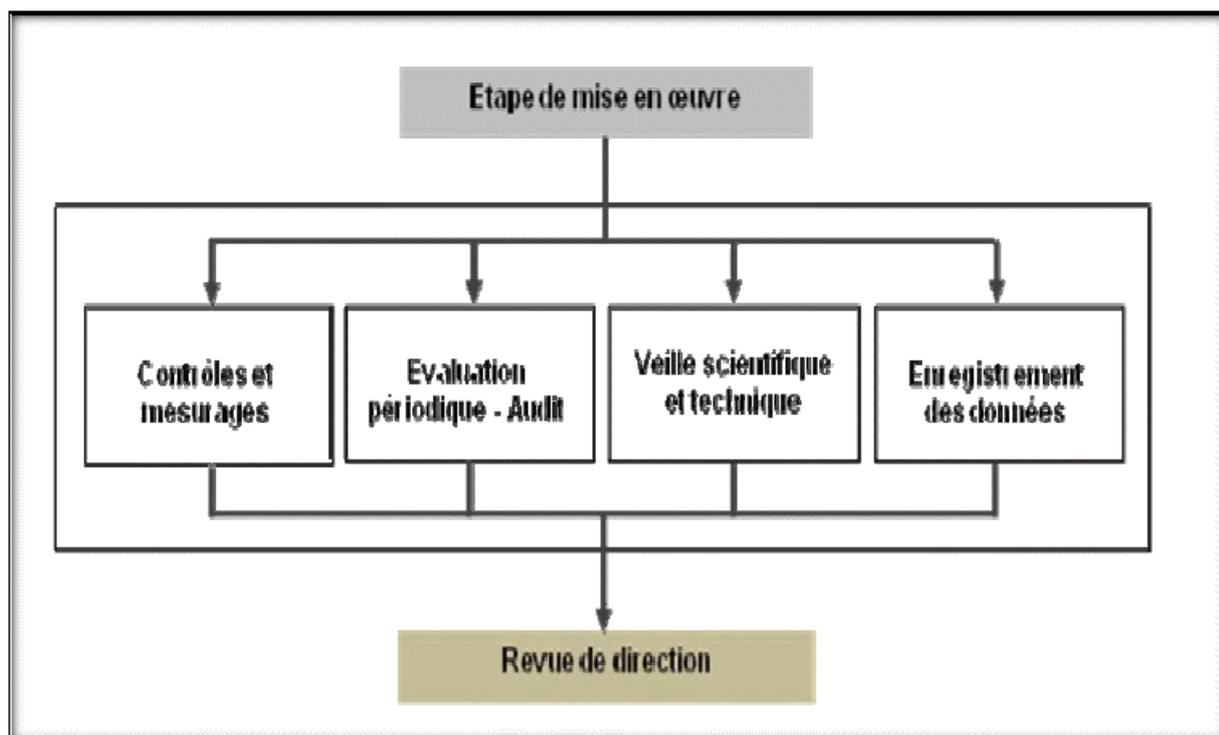


Figure 10 : Étape de vérification de la gestion graduée des risques et actions correctives (Ostiguy C. *et al.*, 2012)

2.3.1 Mesure et contrôle de routine :

L'objectif est de contrôler en continu l'efficacité des moyens de prévention mis en œuvre.

L'utilisateur devra définir des indicateurs spécifiques et leurs procédures de suivi, afin de s'assurer du bon état de fonctionnement des moyens de protection.

Idéalement, ces indicateurs se réfèrent à des valeurs obtenues par des méthodes métrologiques qui caractérisent le niveau réel d'exposition aux nanomatériaux manufacturés au poste de travail. En l'absence d'une méthode validée, ce qui est actuellement le plus souvent le cas pour les nanomatériaux, les indicateurs choisis se rapporteront au bon fonctionnement des moyens de protection utilisés (exp : niveau de pression dans une boîte à gant, fréquence de remplacement des filtres, etc...) (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

2.3.2 Évaluation périodique :

L'intervention d'un spécialiste en hygiène industrielle est régulièrement planifiée afin de réaliser des évaluations de risque approfondies sur un échantillon de postes de travail. Elles ont pour but de vérifier l'adéquation entre les objectifs fixés en matière de prévention des risques professionnels et les moyens déployés ainsi que les procédures mises en œuvre. Sur la base de ces résultats, ces interventions doivent aboutir à des propositions d'actions visant à réduire les écarts éventuellement constatés (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

2.3.3 Enquête scientifique et technologique :

La méthode de gestion graduée des risques exige l'actualisation régulière des connaissances scientifiques et techniques afin d'adapter au mieux les moyens de prévention mis en œuvre.

D'une part, la progression des connaissances scientifiques sera susceptible de modifier les niveaux de bandes de danger et/ou d'exposition initialement attribuées. À terme, la réduction des incertitudes en matière de toxicologie des nanomatériaux devrait permettre de s'affranchir de cette méthode. En effet, l'intérêt de l'utilisation de la gestion graduée des risques est d'assister le préventeur des risques professionnels dans un contexte de forte incertitude associée aux nanomatériaux.

D'autre part, le suivi de l'état de l'art et des bonnes pratiques sera susceptible de permettre la mise en place de dispositifs de prévention plus efficaces (nouveaux procédés de production

moins émissifs, émergence de nouvelles techniques ou équipements de prévention plus efficaces, etc...) (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

2.3.4 Enregistrement des données :

Les données utilisées pour effectuer l'évaluation et tirer les conclusions de ces études doivent être consignées dans un fichier durant une période donnée, qui doit être définie et conforme aux réglementations nationales. Les résultats de toutes les études, indépendamment de leurs conclusions, devraient être inclus dans le rapport. En outre, toutes les hypothèses devraient être clairement formulées. Il conviendrait d'identifier les avantages et les limites de chaque test, mesure, modèle ou estimation utilisé et de noter l'incertitude résiduelle due à la nature ou la source des données, ainsi que les lacunes dans les données et les biais potentiels (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

2.4 Revue de direction :

La revue de direction permet d'améliorer le système en élaborant de nouveaux programmes d'action et en conduisant à des mesures correctives pour répondre aux éventuels dysfonctionnements du système de maîtrise des risques. Cette évaluation périodique est également essentielle pour identifier et traiter les difficultés rencontrées dans l'activité générale de l'organisation qui pourraient compromettre l'efficacité de la gestion graduée des risques, ou pour considérer l'évolution des connaissances scientifiques et de la technologie de maîtrise des risques dans le domaine des matériaux à l'échelle du nanomètre.

La revue de direction ne fait pas directement partie de la gestion graduée des risques. Elle s'inscrit dans le cadre du système de gestion de risque global de l'organisation qui comprend de nombreux processus, y compris la gestion graduée des risques (Ostiguy C. *et al.*, 2012).

3. Mise en œuvre de la GGR :

3.1 Recueil des informations :

Il s'agit d'une étape importante qui permet à l'utilisateur de rassembler tous les éléments nécessaires pour définir le niveau de danger associé aux nanomatériaux ou au produit en contenant et de décrire chacun des postes de travail qui entrent dans le champ d'application de la gestion graduée des risques (Marquart H. *et al.*, 2008).

3.2 Les bandes de danger :

3.2.1 Définition :

Ces bandes sont définies à partir des niveaux de gravité de danger des produits chimiques résultant de l'analyse des informations disponibles et évaluées par des personnes compétentes (Tableau 5).

Ces informations peuvent concerner divers critères de toxicité, décrits ou suspectés, dans la littérature ou la documentation technique (étiquetage, classification du produit) (Marquart H. et al., 2008).

Tableau 5 : Tableau des bandes de danger basé sur l'attribution des groupes de danger de l'outil e-COSHH Essentials (Marquart H. et al., 2008)

		Bandes de danger				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Classification et étiquetage	 Attention Imit. yeux 2 Imit. peau 2 Et toutes les phrases H non listées par ailleurs	 Attention Tox. aiguë 4  Attention STOT-SE 2	 Attention Tox. aiguë 3  Attention STOT-RE 2  Danger Corr. peau 1 Lésion ocu. 1  Attention Sens. peau 1 STOT-SE 3 (irritant resp.)	 Danger Tox. aiguë 1-2  Danger STOT-SE 1 STOT-RE 1 Tox. repro. 1A - 1B  Attention Cars. 2 Repro. 2	 Danger Sens. resp. 1 Cars. 1A - 1B Muta 1A - 1B  Attention Muta. 2	

3.2.2 Méthode d'assignation d'une bande de danger :

Pour l'assignation d'une bande de danger, on ne considère pour le moment que le danger potentiel du nanomatériau manufacturé présent, qu'il soit brut ou incorporé dans une matrice (liquide ou solide). Dans le cas des nano-produits, ce choix repose sur le fait qu'à ce jour très peu d'études sont disponibles sur la caractérisation de l'émission de nanomatériaux à partir d'un produit en contenant (Marquart H., 2008).

3.2.2.1 Questions préliminaires :

Avant de déclencher le processus de gestion graduée des risques, il est nécessaire de répondre à des questions préliminaires :

➤ *Est-ce que le produit considéré contient des nanomatériaux ?*

Dans le cas d'une réponse négative, l'organisme aura le choix d'utiliser soit une des méthodes de gestion graduée des risques telles qu'appliquées aujourd'hui dans certaines industries du secteur de la chimie ou de la pharmacie, soit tout autre outil d'évaluation et de maîtrise du risque. Dans le cas d'une réponse positive, la question ci-après est à examiner.

➤ *Est-ce que le nano-produit a déjà été étudié au regard de la réglementation sur la classification et l'étiquetage ?*

Si la réponse est oui, alors le danger du matériau pour la santé de l'Homme sera clairement identifié. Un « non » amène alors la question ci-après.

➤ *S'agit-il d'une fibre biopersistante ?*

Si la réponse est positive, alors la bande est celle de danger maximal qui requiert une évaluation complète des risques. Si la réponse est négative, alors le processus de gestion graduée des risques peut-être appliqué à ce nanoproduct afin de lui assigner une bande de danger en s'appuyant sur l'évaluation de sa toxicité (Bensoussan A., 2013).

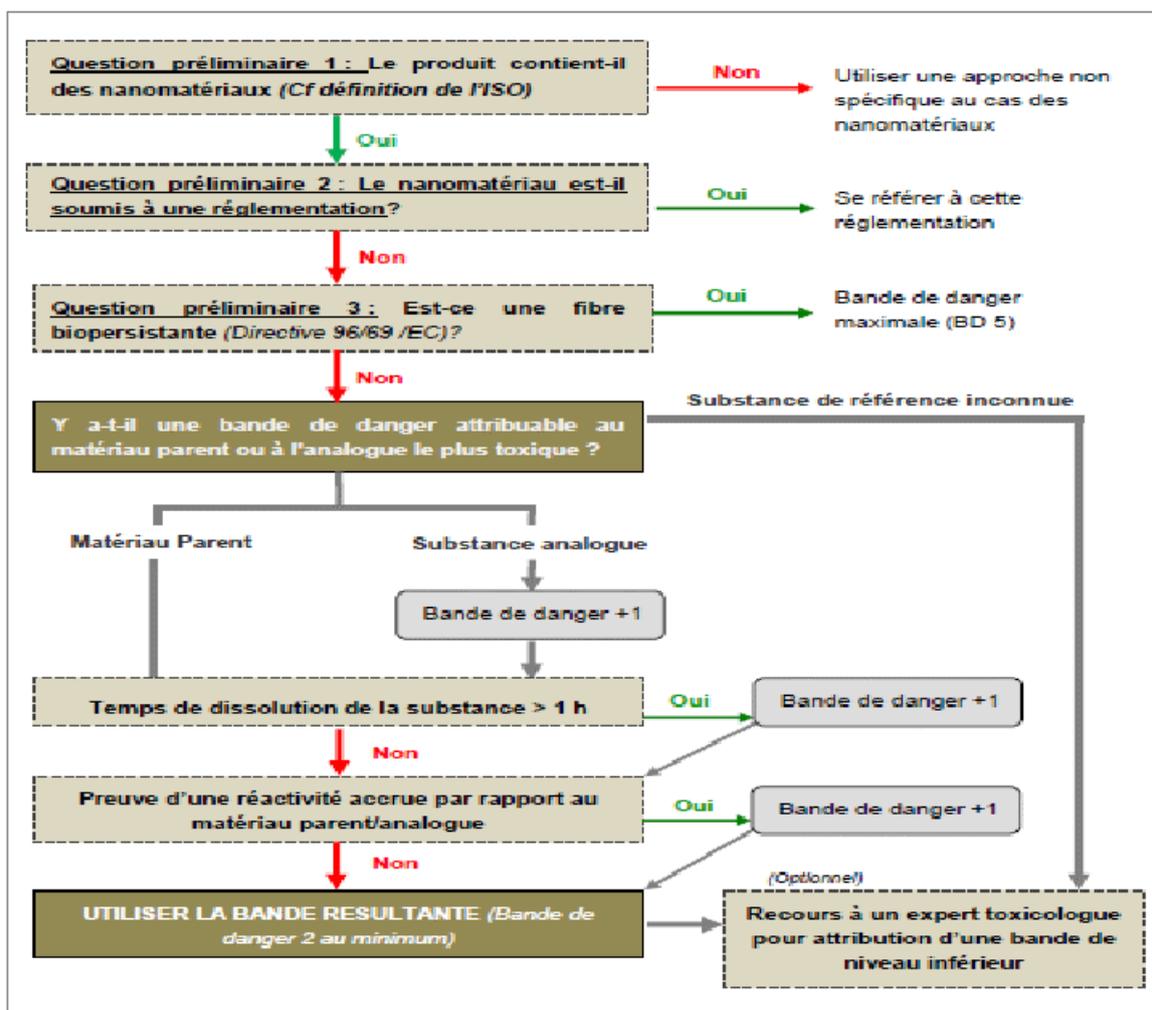


Figure 11 : Schéma de fonctionnement de l'attribution d'une bande de danger au nanomatériau en fonction du niveau de connaissance sur ce dernier (Bensoussan A., 2013)

3.2.2.2 Paramètres toxicologiques et bandes de danger :

En fonction des réponses fournies aux questions préliminaires, l'étude des connaissances en toxicologie du nanomatériau ou du produit le contenant permettra alors de lui attribuer une bande de danger. Lorsque ces informations sont lacunaires ou inexistantes, la substance à prendre en compte devra être la plus proche chimiquement du nanomatériau : matériau parent, matériau analogue. Lorsque le matériau parent existe, il prime alors sur le matériau analogue. Enfin, s'il existe plusieurs choix pour le même matériau analogue, le plus toxique sera pris en compte.

Enfin, pour tenir compte des lacunes en terme d'information sur la toxicité du nanomatériau, des facteurs d'incrémentations sont attribués en fonction de certaines de ses caractéristiques

propres, et non plus de celles du matériau parent ou analogue utilisé pour attribuer la bande de départ.

Les niveaux de dangers retenus par les experts ayant participé à l'élaboration de la méthode se présentent comme suit :

- ▶ **BD1: Très faible** : pas de risque significatif pour la santé
- ▶ **BD2: Faible** : léger danger – effets légèrement toxiques requérant rarement un suivi médical
- ▶ **BD3: Moyen** : effets sur la santé modérés à significatifs requérant un suivi médical spécifique.
- ▶ **BD4: Élevé** : effets sur la santé inconnus ou danger sérieux : matériau hautement toxique, sensibilisant, ou avec des effets inconnus sur la santé ou l'environnement. Toute émission ou exposition dans l'environnement exige une étude spécifique.
- ▶ **BD5 : Très élevé** : grave danger exigeant une évaluation complète des dangers effectuée par un expert ([Maidment S.C., 1998](#)).

3.2.2.3 Facteurs d'incrémentation :

La méthode de gestion graduée des risques développée propose ensuite des facteurs d'incrémentation ayant pour objectif de pallier les incertitudes actuelles concernant la toxicité présumée des nanomatériaux. Une attention particulière est également portée sur les critères de solubilité et de réactivité. Ainsi, l'incertitude, la solubilité et la réactivité sur le matériau considéré conduisent à l'implémentation d'une bande de danger.

Seule la production de preuves scientifiques nouvelles ou l'intervention d'un spécialiste en toxicologie pourrait conduire à une modification de bande de danger. Ce changement sera alors dûment justifié dans un rapport ([Donaldson K., 2010](#)).

- **La solubilité** indique dans quelle mesure un matériau peut se dissoudre dans un autre matériau de façon à produire une seule phase homogène stable dans le temps. La solubilité intervient lorsque le matériau est entouré de solvant au niveau moléculaire ([Donaldson K., 2010](#)).
- **À propos de la réactivité accrue** concernant le matériau parent ou analogue, cette idée s'applique à différents concepts des propriétés chimiques des nanomatériaux qui sont importantes en termes d'impact potentiel sur la santé. La réactivité peut être également

modifiée par l'inclusion de contaminants qui proviennent des procédés de production des nanomatériaux, qui sont différents de ceux utilisés pour le matériau parent (Donaldson K., 2010).

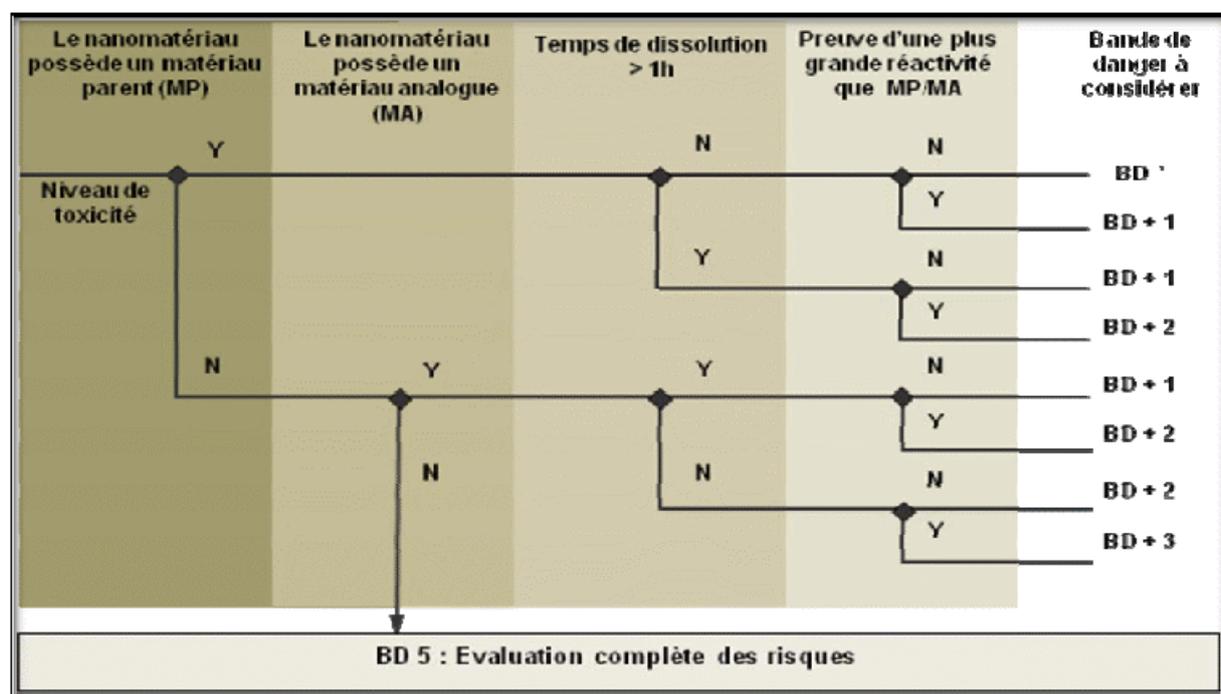


Figure 12 : Incrémentation du niveau de toxicité du nanomatériau en fonction de son matériau de référence, de sa solubilité et de sa réactivité BD: niveau minimum de 2 sauf preuve contraire d'innocuité, (MP, MA). (Donaldson K., 2010)

3.3 Les bandes d'exposition :

3.3.1 Définition :

Les bandes d'exposition sont définies selon le potentiel d'émission du nanomatériau, qu'il soit brut ou inclus dans une matrice. Elles prennent en compte la forme physique dans lequel il est utilisé et, le cas échéant, l'état de la matrice incorporant le nanomatériau. La forme physique est un paramètre clé à considérer afin d'évaluer l'émissivité en nanomatériau du produit, et donc le niveau d'exposition potentiel des opérateurs considéré lors de sa manipulation. Le nombre de travailleurs, la fréquence, la durée d'exposition ainsi que la quantité mise en œuvre ne sont pas pris en compte, contrairement à une évaluation classique des risques chimiques (Nemmar A. *et al.*, 2006).

3.3.2 Méthode d'assignation d'une bande d'exposition :

Avant toute assignation d'une bande d'exposition, chaque poste de travail est identifié en lien avec son utilisateur.

La forme physique à considérer est celle du matériau à l'entrée du procédé au poste de travail évalué. Quatre catégories de formes physiques ont été retenues et sont présentées ci-dessous par ordre croissant de potentiel d'émission :

- **Solide** : matériaux solides contenant des nanomatériaux ou présentant une surface nanostructurée ou recouverte de nanoparticules ;
- **Liquide** : Suspension de nano-objets libres et/ou agrégats/agglomérats de nano-objets de dimension inférieures à 100 nm dans un milieu liquide, quelle que soit sa viscosité ;
- **Poudre** : Ensemble de nanomatériaux (nano-objets libres et/ou agrégats/agglomérats de nano-objets de dimensions inférieures à 100 nm) ;
- **Aérosol** : suspension de nanomatériaux (nano-objets libres et/ou agrégats/agglomérats de nano-objets de dimensions inférieures à 100 nm) dans un gaz (dont l'air) (Nemmar A. et al., 2006).

Tableau 6: Tableau sur l'émission potentielle en fonction de la forme physique du nanomatériau et des transformations spécifiques du matériau (Nemmar A. et al., 2006)

Forme physique	Solide	Liquide	Poudre	Aérosol
Potentiel d'émission	PE1	PE2	PE3	PE4
Cas spécifiques d'une modification de la bande due à une tendance naturelle du matériau				
	Solide friable ⁹ (+2 bandes)	Liquide de forte volatilité ¹⁰ (+1 bande)	Poudre avec un potentiel d'empoussièrement modéré ou élevé ¹¹ (+1 bande)	-
Cas spécifiques d'une modification de la bande due à une opération du procédé				
	Poussières générées par des forces extérieures ¹² (+3 bandes) Fusion (+1 bande) Dispersion dans un liquide (+1 bande)	Poudre générée par l'évaporation (+1/+2 bande(s) en fonction du potentiel d'empoussièrement de la poudre) Pulvérisation (+2 bandes) Pas d'aérosol généré au cours du procédé : (-1 bande)	Pulvérisation (+1 bande)	-

3.4 Attribution des bandes de maîtrise du risque :

- Les bandes de maîtrise du risque sont obtenues par croisement des bandes de dangers et des bandes d'émission potentielle définies précédemment par les experts auteurs de ce travail (Nemmar A. *et al.*, 2006).

Tableau 7 : Matrice des classes de maîtrise à mettre en place au regard de la combinaison du niveau de danger et du potentiel d'émission (Triolet J., Héry M., 2009)

		Bandes de potentiel d'émission			
		PE1	PE2	PE3	PE4
Bandes de danger	BD1	NM1	NM 1	NM 2	NM 3
	BD2	NM1	NM 1	NM 2	NM 3
	BD3	NM1	NM 1	NM 3	NM 4
	BD4	NM 2	NM 2	NM 4	NM 5
	BD5	NM 5	NM 5	NM 5	NM 5

A chaque niveau de maîtrise correspondent des solutions techniques de prévention collectives à mettre en place au poste de travail. Elles se distinguent par le niveau de confinement qu'elles offrent à l'utilisateur.

- **NM 1 : Ventilation générale naturelle ou mécanique.**
- **NM 2 : Ventilation locale :** hotte d'extraction, hotte à fente d'aspiration horizontale, bras d'aspiration, table aspirante, *etc.*
- **NM 3 : Ventilation fermée :** cabine ventilée, hotte de laboratoire, réacteur fermé avec ouverture fréquente.
- **NM 4 : Confinement total :** systèmes fermés en continu.
- **NM 5 : Confinement total et examen par un spécialiste exigé :** demander le conseil d'un expert.

Le résultat de la démarche présentée dans le présent rapport est contextuel et nécessite d'être revu dès que ce contexte évolue (modification du procédé, évolution des connaissances scientifiques ou de l'état de l'art, *etc.*). Conformément au principe d'amélioration continue, la démarche de gestion graduée des risques mérite alors d'être réitérée pour en actualiser le résultat (Triolet J., Héry M., 2009).

4. Les différents formats de la GGR (lié à une base de données et lié à un logiciel) :

Un certain nombre d'outils de **gestion graduée des risques** applicables au cas des nanomatériaux sont actuellement disponibles, tels que le contrôle des substances dangereuses pour la santé **COSHH Essentials** et le **Control Banding Tool**.

Ces deux outils très similaires ont depuis fait l'objet d'études de validation afin de vérifier leur caractère protecteur pour la santé des travailleurs, mettant en évidence des marges de sécurité globalement acceptables mais une performance très variable selon le type de substances ou de situations testées (**Persoons R., 2012**).

4.1 Le format lié à une base de données (Le modèle COSHH Essentials) :

Le modèle COSHH Essentials est le premier modèle empirique de la gestion graduée du risque ; il a été développé à la fin des années 1990 par le groupe de la santé et la sécurité du Royaume-Uni (**HSE: Health and Safety Executive**).

Les expositions prédites par ce modèle, exprimées sous la forme d'une fourchette de concentrations, reposent sur un petit nombre de variables liées uniquement aux propriétés physiques des substances (volatilité des liquides ou pulvérisation des poudres) et aux conditions de manipulation (quantités manipulées principalement), c'est-à-dire caractérisant essentiellement l'émission des polluants (**Persoons R., 2012**).



Figure 13 : l'interface principale du site COOSH Essentials (format lié à une base de données) (<http://www.coshh-essentials.org.uk/>)

COSHH Essentials est un outil d'évaluation du risque qualitatif visant à contrôler ces risques à travers 5 étapes :

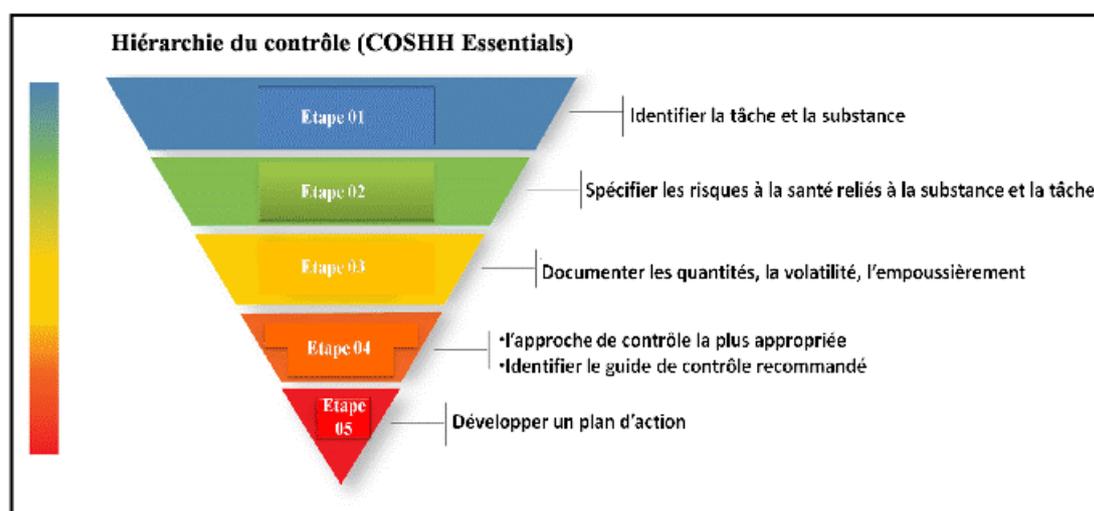


Figure 14 : L'hiérarchie du contrôle de COSHH Essentials (les étapes de fonctionnement) (Amirouche M., Tahraoui R., 2015)

4.2 La description des différentes étapes

✚ La première étape : Identifier la tâche et la substance

Cette étape consiste à collecter les informations au poste de travail concernant l'exposition potentielle des personnes (Type d'opération effectuée) (Amirouche M., Tahraoui R., 2015) :

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

PROCESS AND TASKS

Please complete the following 2 sections, then click 'Go' at the bottom of the page :

- You may find it helpful for your records to enter a [process name](#) here. This can be a simple description of the job you are doing, eg car spraying or anything that means something to you. You may leave this blank.
- Please choose a [task](#) from this list by clicking its button. If none of these tasks apply, COSHH Essentials will still give you [general advice](#) to help protect people from the ill effects of chemicals.

Transferring	Screening	Weighing
Pelletising	Mixing	Storing
Surface coating	Laminating	
Dust extraction	Dipping	
Drying	Sieving	

[None of the above](#)

- Transfère
- Tamissage grossier
- Pesée
- Boulottage
- Mélange
- Entreposage
- Application de revêtement de surface
- Laminage
- Extraction de poussière
- Trempage
- Séchage
- Tamissage avec séparation

<<Back

Figure 15 : L'interface de la première étape

La deuxième étape : Spécifier les risques à la santé reliés à la substance et la tâche

Cette étape nécessite l'identification des groupes de risque à la santé à partir des phrases de risque apposées sur l'étiquette du produit ou sur la fiche de données de sécurité (Amirouche M., Tahraoui R., 2015).

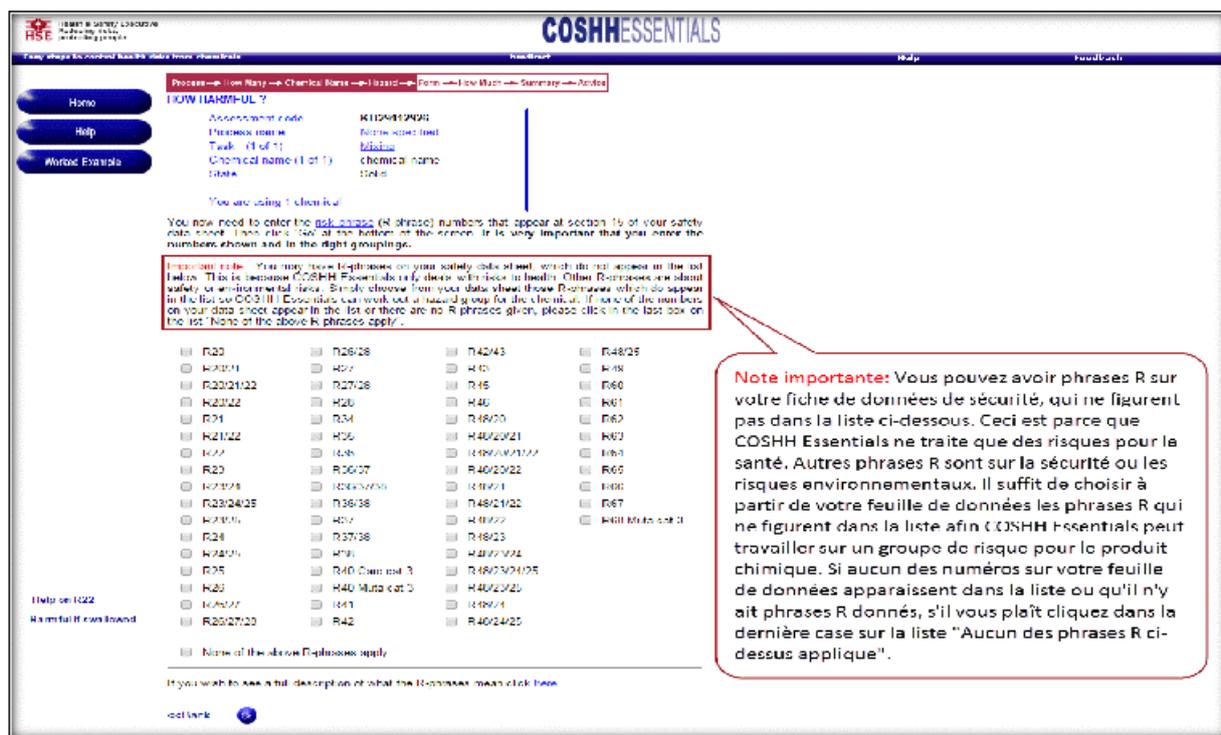


Figure 16 :L'interface de la deuxième étape

Tableau 8 : la classification des groupes de danger selon les R-phrases (Michèle L.,2010)

Groupe	R-phrase	Plage cibles
A - Faible toxicité. Irritant de la peau et des yeux	R36, R38, Poussières et vapeurs n.incluses ailleurs	Vapeurs: 50-500 ppm Poussières: 1 -10 mg/m ³
B - Nocif suite à une exposition	R20/21/22, R68/20/21/22	Vapeurs: 5-50 ppm Poussières: 0,1 -1mg/m ³
C - Toxique. Corrosif. Irritant des voies respiratoires. Sensibilisant contact cutané	R23/24/25, R34, R35, R37, R39/23/24/25, R41, R43, R48/20/21/22, R68/23/24/25	Vapeurs: 0.5-5 ppm Pouss: 0.01-0,1mg/m ³
D - Très toxique (inhal., peau, ingestion): danger d'effets irréversibles graves. Évidence limitée d'effet cancérigène. Toxique pour la reproduction (tératogène, embryo/ foeto-toxique, fertilité)	R26/27/28, R39/26/27/28, R40, R48/23/24/25, R60, R61, R62, R63, R64	Vapeurs: < 0,5 ppm Pouss: < 0,01mg/m ³
E - Alara; Cancérigène C1, C2, Sensibilisant respiratoire, Mutagène	R42, R45, R46, R49, R68	Vapeurs: << 0,5 ppm Pouss: << 0,01mg/m ³ Avis d'un expert
S – Toxicité cutanée	R21, R24, R27, R34, R35, R36, R38, R39/24, R39/27, R40/21, R41, R43, R48/21, R48/24, R66	Prévention / réduction de l'exposition cutanée

✚ La troisième étape : Prédire l'exposition (trouver l'approche de contrôle)

Figure 17 : L'interface de la troisième étape

✚ La quatrième étape : Documenter les quantités, la volatilité, l'empoussièrement

Le potentiel d'exposition est caractérisé en fonction du potentiel d'émission du type de processus considéré (potentiel d'empoussièrement, état physique, quantité, nature du processus) (Amirouche M., Tahraoui R., 2015).

Figure 18 : L'interface de la quatrième étape

✚ La cinquième étape : Développer un plan d'action

Cette étape consiste à mettre en place un plan d'implantation de solutions (quatre groupes principaux de mesures de maîtrise du risque) :

- **La ventilation générale** : une « bonne ventilation standard », associée à de bonnes pratiques de travail.
- **Les mesures techniques de maîtrise du risque : ventilation extractive locale**, ces mesures vont de l'extraction en un point unique proche de la source de poussières ou de vapeurs à des enceintes *semi-closes*, dotées d'un dispositif d'extraction, comme les cabines. Elles couvrent d'autres mesures techniques de maîtrise du risque, telles que les serpentins de refroidissement des vapeurs, les refuges et l'élimination de l'eau.
- **Le confinement** : La substance est, dans une large mesure, confinée ou enfermée. Des brèches de faible ampleur dans ce confinement sont acceptables, par exemple pour l'échantillonnage.
- **Les situations spéciales** : L'avis d'un expert est nécessaire pour sélectionner les mesures de maîtrise du risque appropriées.

Lors de l'élargissement des COSHH Essentials pour couvrir les émissions liées à des procédés déterminés, on a introduit un cinquième groupe de mesures de maîtrise du risque :

- **Les équipements de protection respiratoire (EPR)** : Ils sont utilisés en plus d'autres mesures de maîtrise du risque, tels que les permis de travail et la ventilation par extraction pour protéger les travailleurs dans des situations spécifiées ([Elaine M.P. et al., 2004](#)).



Health & Safety Executive
Reducing risks,
protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals
hsedirect

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

Home

Help

Worked Example

ADVICE ON HOW TO PROTECT YOURSELF AND OTHERS

Your assessment code : SL25503750

Process name : None specified

Task : Mixing

Having assessed the 1 chemical used in this task, COSHH Essentials has calculated that you need to use control approach "[Special](#)". This is based on the highest hazard found.

Your chemical has been allocated the [control approach](#) "Special". This means that it is highly hazardous and you need special advice.

You may want to consider using a less hazardous chemical. Please speak to your supplier to see if there is another chemical you can use which will do the job satisfactorily or if you can use the chemical in a less hazardous form, eg use pellets instead of a powder.

You may also want to think about modifying the process, for example using less of the chemical or a lower process temperature.

This will reduce the risk to your workers and make control simpler and cheaper.

You can find more information in [Seven steps to successful substitution of hazardous substances](#) (this is on the subscription area of hsedirect).

The guidance sheets listed below give you advice on areas such as design and equipment, maintenance, examination and testing, cleaning and housekeeping, personal protective equipment, training and supervision.

You should now print off the guidance sheets and also print off the summary of your assessment for your records. The summary will also give you important information about what you should do to put the advice into practice and other action you may need to take.

Please note: The summary and guidance sheets provided below are [PDF files](#). To view these files, you have to have Adobe® Acrobat Reader installed. If you do not have Acrobat Reader installed, click the button  to download and install the latest version. THIS SOFTWARE HAS BEEN CHECKED FOR VIRUSES AND IS COMPLETELY SAFE TO DOWNLOAD.

Download the summary of your assessment here : 

Recommended control approach : Special			
Task Name	Guidance Sheet Title	Number	Download
General tasks	General principles	G401	
General	Health Surveillance	G402	

Your task involves Chemicals causing harm via skin contact. Hence the following Guidance Sheets are also recommended

Task Name	Guidance Sheet Title	Number	Download
General	General advice	S100	
General	Selection of personal protective equipment	S101	

<<Back [New assessment](#) >>

Figure 19 : L'interface de la cinquième étape

4.3 Format liée à un logiciel (Control Banding Tool Version2 6-18-09) :

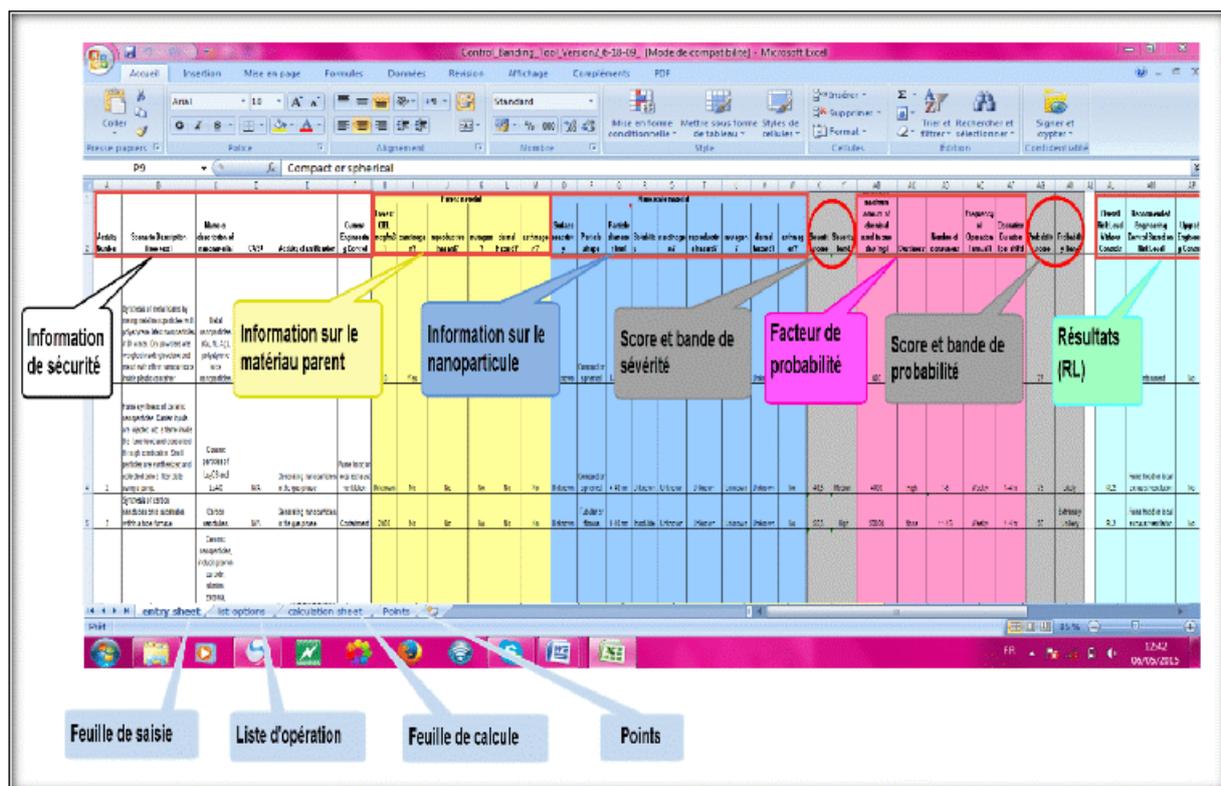


Figure 20 : interface principale du logiciel Control_Banding_Tool (format liée à un logiciel)

4.3.1 principe et description :

❖ Principe :

Ce système consiste à calculer un score de sévérité du nanomatériau (compris entre 0 et 100) à mettre au regard d'un score de probabilité d'exposition (également compris entre 0 et 100) afin de déterminer le niveau de score de risque. Ce modèle considère une exposition majoritairement par voie respiratoire mais prend également compte la voie d'exposition dermale (Anses., 2014).

❖ Description :

Le CB Tool, définit la bande de contrôle pour une tâche particulière suivant le niveau de risque (RL) global, déterminé par un score de « gravité » et un score de « probabilité ». Le score de gravité est établi par la somme des points attribués aux facteurs suivants : chimie de surface, forme des particules, diamètre des particules, solubilité, cancérogénicité, toxicité pour

la reproduction, mutagénicité, toxicité cutanée, et potentiel de danger du nanomatériau et du macromatériau d'origine.

Le score de probabilité globale est basé sur les éléments suivants :

- Quantité estimée des nanomatériaux utilisés pendant la tâche
- Formation de poussières ou de gouttelettes
- Nombre d'employés soumis à des expositions similaires
- Fréquence de l'opération et durée de l'opération (**John H., 2012**).

Parent material hazard (Maximum possible points: 30)											
OEL (mg/m ³)		carcinogen?		reproductive hazard?		mutagen?		dermal hazard?		asthagen?	
< 10	10	Yes	4	Yes	4	Yes	4	Yes	4	Yes	4
10 - 100	5	No	0	No	0	No	0	No	0	No	0
101 - 1000	2,5	Unknown	3	Unknown	3	Unknown	3	Unknown	3	Unknown	3
Unknown	7,5										
> 1000	0										

Nanoseale material hazard (Maximum possible points: 70)																		
Surface reactivity	Particle shape	Particle diameter (nm)			Solubility		carcinogen?	reproductive hazard?	mutagen?	dermal hazard?	asthagen?	Severity score	Severity band	Band score				
		10	1-10 nm	10	Insoluble	<0	Yes	6	Yes	6	Yes	6	Yes	6	75-100	Very high	100	
High	10	Tubular or fibrous	10	1-10 nm	10	Insoluble	<0	Yes	6	Yes	6	Yes	6	Yes	6	75-100	Very high	100
Medium	5	Anisotropic	5	1-40 nm	5	Soluble	5	No	0	No	0	No	0	No	0	51-75	High	75
Low	0	Concave or spherical	0	>40 nm	0	Unknown	7,5	Unknown	4,5	Unknown	4,5	Unknown	4,5	Unknown	4,5	26-50	Medium	50
Unknown	7,5	Unknown	7,5	Unknown	7,5											0-25	Low	25

Cette approche regroupe les nanomatériaux en trois groupes de risque :

- Connus pour être inerte
- Réactivité et fonction sont comprises
- Propriétés inconnues

La durée d'exposition est décrite comme longue (>4 heures/jour), moyenne (1 à 4 heures/jour), courte (<30min) ou inconnu (**John H., 2012**).

Chapitre I.I.I

Partie d'application (cas d' Al_2O_3)

1. Contexte de manipulation des nanoparticules (cas d' Al_2O_3) dans le domaine alimentaire :

1.1 Définition :

L'oxyde d'aluminium est un composé chimique de l'aluminium et de l'oxygène. Aussi connu comme l'alumine, de formule chimique Al_2O_3 , il est naturellement présent dans la bauxite. Sa structure est illustrée dans la **figure 21**.

Dans sa survenant le plus souvent sous forme cristalline, appelé corindon ou α -oxyde d'aluminium, mais il mise en forme a tendance à être en plusieurs phases (γ , δ , ϵ , η , θ , ζ , ...) (**Belkharchouche D.,2010**).

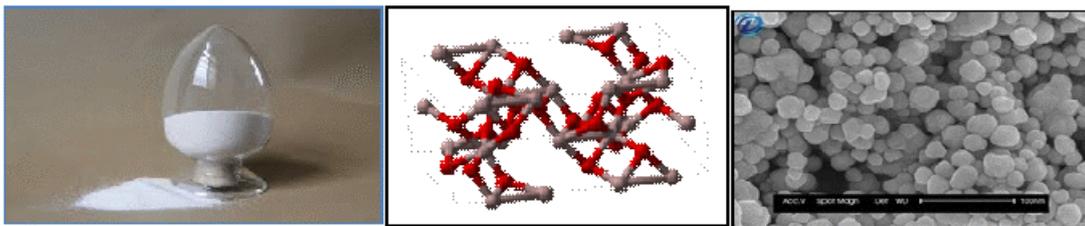


Figure 21: A gauche : L'alumine à l'état naturelle. Au milieu, Structure de l'alumine. A droite, Nano-alumine (**Belkharchouche D.,2010**).

1.2 Propriétés de l'alumine (Al_2O_3):

Au vu des nombreuses propriétés physico-chimiques d'oxyde d'aluminium (basse densité, grande malléabilité, bonne conductivité électrique et chimique, résistance à la corrosion, à la traction...), il est utilisé pour des applications variées notamment dans l'agroalimentaire l'emballage, ainsi que dans le traitement des eaux. Les propriétés de l'alumine sont :

- Une bonne fluidité
- Excellente isolation électrique (1×10^{14} à $1 \times 10^{15} \Omega\text{cm}$)
- Résistance mécanique modérée à extrême (300 à 630 MPa)
- Très haute résistance à la compression (2000 à 4000 MPa)
- Haute dureté (15 à 19 GPa)
- Conductivité thermique modérée (20 à 30 W/ mK)
- Haute résistance à la corrosion et à l'usure
- Bonnes propriétés de glissement
- Faible densité (3, 75 à 3, 95 g/cm^3) embryologie
- Température d'exploitation sans charge mécanique 1000 à 1500°C.
- Bio-inertie et compatibilité alimentaire [3].

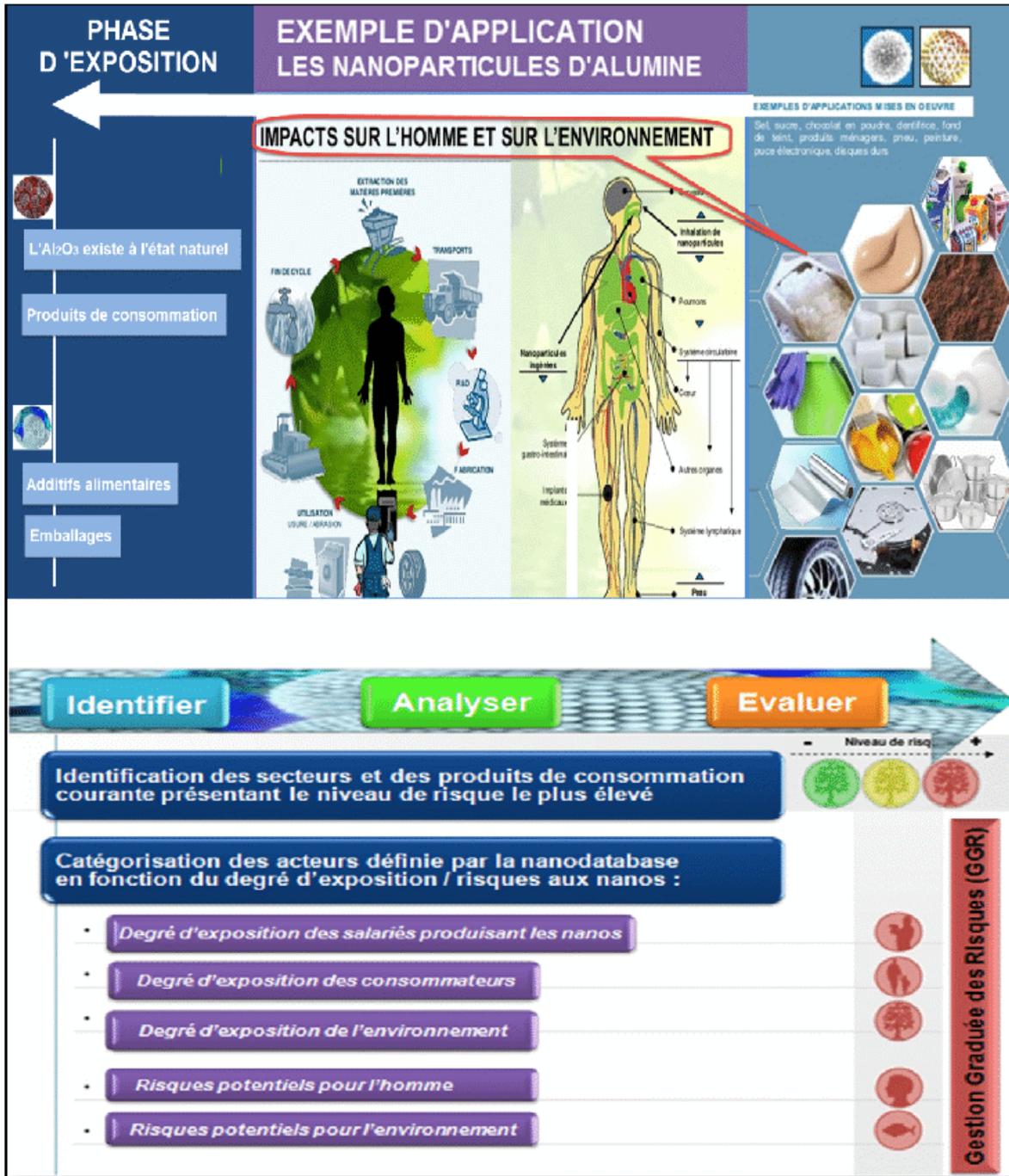
1.3 L'utilisation de l'alumine:

L'alumine est omniprésent dans notre quotidien, on en trouve dans les sodas contenus dans les canettes en aluminium, dans la nourriture acide en contact avec du papier d'aluminium, dans les déodorants/anti transpirants, l'eau du robinet, produits cosmétiques, additifs alimentaires tels que E173, 520, 521, 523, 541, 554, 555, 556, 559 et E55, colorants alimentaires, divers aliments comme le pain, les biscuits ou la charcuterie, ustensiles de cuisine, médicaments antiacides, vaccins et même dans le lait infantile [4].

Tableau 9: les informations de sécurité d'oxyde d'aluminium (ECHA, 2010)

Identification	
Nom	Oxyde d'aluminium
Synonymes	Alumine, Alundum, Alumina, Alumine calcinée, Trioxyde de dialuminium, α - Alumine, β - Alumine, γ - Alumine
Aspect	Solide ou Poudre, blanche à grise claire, inodore.
Symbole	Al ₂ O ₃
N ^o . CAS (Chemical Abstract Service)	1344-28-1
Numéro CE	215-691-6
Propriété physique	
Point de fusion	2046°C
Point d'ébullition	2700°C
Point de congélation	2072°C
Densité à 20°C	2,7 g/ml
Solubilité dans l'eau à 20°C	Non soluble
Valeur limite	VLE= 6 mg/m ³
Toxicologie	
Texte intégral des R-phrases	<p>R14/15- Réagit violemment au contact de l'eau en dégageant des gaz extrêmement inflammables.</p> <p>R40- Effet cancérigène suspecté — preuves insuffisantes.</p> <p>R48/23- Toxique: risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation.</p> <p>R21/22- Nocif par contact avec la peau et par ingestion.</p> <p>R34- Provoque des brûlures.</p> <p>R36/38- Irritant pour les yeux et la peau.</p> <p>R43- Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.</p> <p>R42/43- Peut entraîner une sensibilisation par inhalation et par contact avec la peau.</p> <p>R53- Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.</p>

2. Application :



Cette étude est basée sur deux formats de la GGR fournis à l'utilisateur. Un format s'applique aux milieux de travail généraux par les professionnels et un autre format peut être utilisé par les non professionnels.

Avant de déclencher le processus de gestion graduée des risques, il est nécessaire de répondre à des questions préliminaires voir figure ci-dessous :

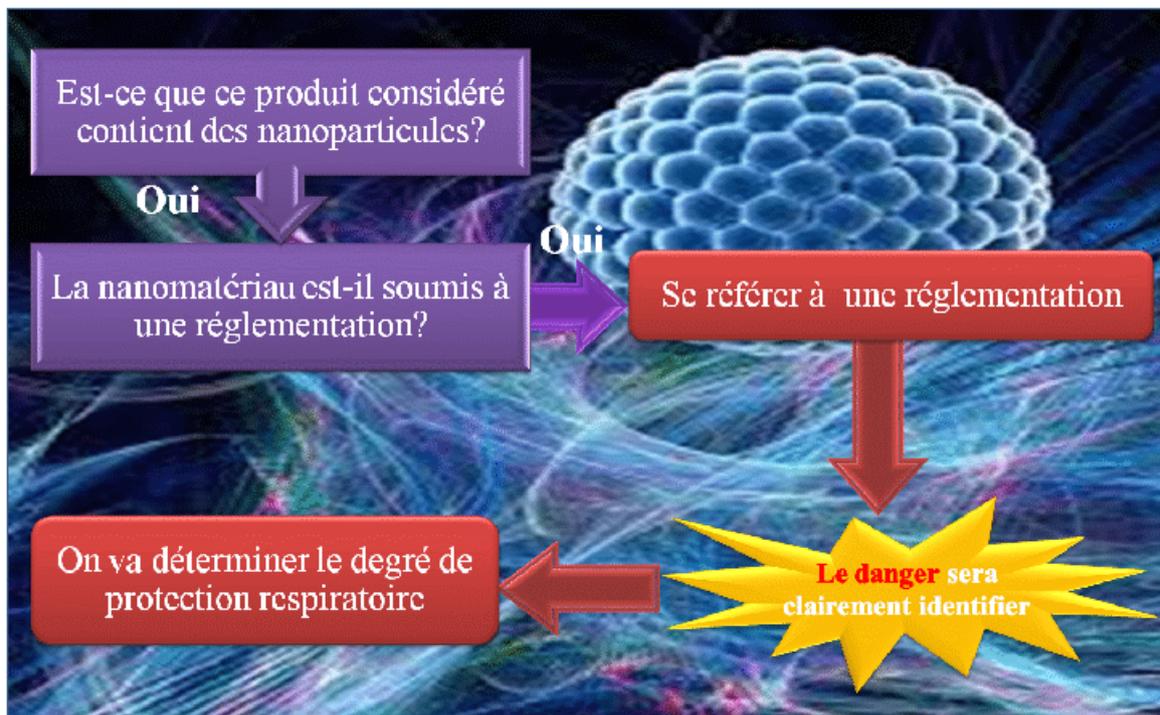


Figure 22: Questions préliminaires (Amirouche M., Tahraoui R., 2015)

2.1 Choix des nanoparticules :

Il existe une grande diversité de nanoparticules déjà commercialisées qu'il serait intéressant de tester. Dans cette étude nous avons choisi de nous consacrer plus particulièrement aux nanoparticules d'oxyde d'Aluminium (Al_2O_3). Ces nanoparticules ont été choisies pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, elles se présentent spontanément sous forme d'une dispersion stable de nanoparticules de 7 nm lorsqu'elles sont dans l'eau.

Ce sont donc des nanoparticules adaptées à une étude fondamentale sur la compréhension des interactions purement dues aux nanoparticules.

En outre, elles sont de plus en plus largement utilisées (et envisagées) dans de nombreux produits alimentaires commerciaux et notamment comme additifs et emballages alimentaires.

Les publications concernant la toxicité des nanoparticules d' Al_2O_3 sur la santé ne sont pas aussi nombreuses (Amirouche M., Tahraoui R., 2015).

2.2 Application par le model COSHH Essentials :

Les différentes étapes après activation du format liée au site:

✚ L'étape de l'identificatin de la tache et de la substance

Health & Safety Executive
HSE Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals hsdirect

GETTING STARTED

You have 4 choices:

1. Find out what the law says and how COSHH Essentials works (we recommend that you choose this option first if you have not used COSHH Essentials before). [Go](#)
2. Start a new assessment - you need the manufacturer's Safety Data Sheet for the risk phrases (H phrases) from Part 15 and if the substance or product is a liquid, the boiling point from Part 9. If these are missing, contact the manufacturer for the information. [Go](#)
3. Return to an assessment you have completed during the last 30 days. Please enter here the assessment code that was generated by COSHH Essentials. [Go](#)
4. [Direct advice topics](#) [Go](#)

Navigation menu: Home, About COSHH Essentials, Help, Worked Example, HSE, hsdirect, DTI Small Business Service, Environment Agencies

Health & Safety Executive
HSE Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals hsdirect

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

PROCESS AND TASKS

Please complete the following 2 sections, then click 'Go' at the bottom of the page :

1. You may find it helpful for your records to enter a [process name](#) here. This can be a simple description of the job you are doing, eg car spraying or anything that means something to you. You may leave this blank.
2. Please choose a [task](#) from this list by clicking its button. If none of these tasks apply, COSHH Essentials will still give you [general advice](#) to help protect people from the ill effects of chemicals.

Task list:

- Transferring
- Screening
- Weighing
- Pelletising
- Mixing**
- Storing
- Surface coating
- Laminating
- Dust extraction
- Dipping
- Drying
- Sealing

[None of the above](#)

<<Back [Go](#)



Health & Safety Executive
Reducing risks,
protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals
hsedirect

[Process](#) → [How Many](#) → [Chemical Name](#) → [Hazard](#) → [Form](#) → [How Much](#) → [Summary](#) → [Advice](#)

HOW MANY CHEMICALS ARE YOU USING ?

Assessment code **LA18310654**

Process name [food additives/ packaging](#)

Task (1 of 1) [Mixing](#)

COSHH Essentials has given the assessment code **LA18310654** to this assessment. You or your firm cannot be identified in any way from this code. You should keep a copy of this code in case you want to return to the assessment within 30 days. It will be printed out at the end as part of your assessment summary.

You have two choices :

1. Please enter the number of [chemicals or products](#) you are using in this task
2. Sometimes you may be using a mixture made by yourself **before** starting this task. If so, please enter the number of chemicals in the mixture

[<<Back](#)



Health & Safety Executive
Reducing risks,
protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals
hsedirect

[Process](#) → [How Many](#) → [Chemical Name](#) → [Hazard](#) → [Form](#) → [How Much](#) → [Summary](#) → [Advice](#)

CHEMICAL OR PRODUCT NAME

Assessment code **LA18310654**

Process name [food additives/ packaging](#)

Task (1 of 1) [Mixing](#)

Please enter the [chemical name](#) for each of the substances in the assessment: or you may enter the name that appears on the [label](#). Then click on 'Go'. It is not important to COSHH Essentials to get the name exactly right. This is for your records only.

	Chemical or product name	Solid or Liquid
1:	<input style="width: 150px; border: 1px solid red; border-radius: 50%; text-align: center;" type="text" value="Aluminium oxide"/>	<input style="width: 100px; border: 1px solid red; border-radius: 50%; text-align: center;" type="text" value="Solid"/>

[<<Back](#)

✦ L'étape de spécification des risques à la santé reliés à la substance et la tâche

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals hsedirect

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

HOW HARMFUL ?

Assessment code SL25503750
 Process name None specified
 Task (1 of 1) Mixing
 Chemical name (1 of 1) aluminium oxide
 State Solid

You are using 1 chemical

You now need to enter the risk phrase (R-phrase) numbers that appear at section 15 of your safety data sheet. Then click 'Go' at the bottom of the screen. It is very important that you enter the numbers shown and in the right groupings.

Important note : You may have R-phrases on your safety data sheet, which do not appear in the list below. This is because COSHH Essentials only deals with risks to health. Other R-phrases are about safety or environmental risks. Simply choose from your data sheet those R-phrases which do appear in the list so COSHH Essentials can work out a hazard group for the chemical. If none of the numbers on your data sheet appear in the list or there are no R-phrases given, please click in the last box on the list "None of the above R-phrases apply".

<input type="checkbox"/> R20	<input type="checkbox"/> R25/26	<input checked="" type="checkbox"/> R42/43	<input type="checkbox"/> R48/25
<input type="checkbox"/> R20/21	<input type="checkbox"/> R27	<input checked="" type="checkbox"/> R43	<input type="checkbox"/> R49
<input type="checkbox"/> R20/21/22	<input type="checkbox"/> R27/28	<input type="checkbox"/> R45	<input type="checkbox"/> R60
<input type="checkbox"/> R20/22	<input type="checkbox"/> R28	<input type="checkbox"/> R46	<input type="checkbox"/> R61
<input type="checkbox"/> R21	<input checked="" type="checkbox"/> R34	<input type="checkbox"/> R48/20	<input type="checkbox"/> R62
<input checked="" type="checkbox"/> R21/22	<input type="checkbox"/> R35	<input type="checkbox"/> R48/20/21	<input type="checkbox"/> R63
<input type="checkbox"/> R22	<input type="checkbox"/> R36	<input type="checkbox"/> R48/20/21/22	<input type="checkbox"/> R64
<input type="checkbox"/> R23	<input type="checkbox"/> R36/37	<input type="checkbox"/> R48/20/22	<input type="checkbox"/> R65
<input type="checkbox"/> R23/24	<input type="checkbox"/> R36/37/38	<input type="checkbox"/> R48/21	<input type="checkbox"/> R66
<input type="checkbox"/> R23/24/25	<input checked="" type="checkbox"/> R36/38	<input type="checkbox"/> R48/21/22	<input type="checkbox"/> R67
<input type="checkbox"/> R23/25	<input type="checkbox"/> R37	<input type="checkbox"/> R48/22	<input type="checkbox"/> R68 Muta cat 3
<input type="checkbox"/> R24	<input type="checkbox"/> R37/38	<input checked="" type="checkbox"/> R48/23	
<input type="checkbox"/> R24/25	<input type="checkbox"/> R38	<input type="checkbox"/> R48/23/24	
<input type="checkbox"/> R25	<input type="checkbox"/> R40 Carc cat 3	<input type="checkbox"/> R48/23/24/25	
<input type="checkbox"/> R26	<input type="checkbox"/> R40 Muta cat 3	<input type="checkbox"/> R48/23/25	
<input type="checkbox"/> R26/27	<input type="checkbox"/> R41	<input type="checkbox"/> R48/24	
<input type="checkbox"/> R26/27/28	<input type="checkbox"/> R42	<input type="checkbox"/> R48/24/25	

None of the above R-phrases apply.

If you wish to see a full description of what the R-phrases mean click [here](#)

<<Back 36

✦ L'étape de prédiction de l'exposition (trouver l'approche de contrôle)

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals hsedirect

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

HAZARD GROUP

Assessment code SL25503750
 Process name None specified
 Task (1 of 1) Mixing
 Chemical name (1 of 1) aluminium oxide
 State Solid
 R-phrase numbers R21/22, R34, R36/38, R42/43, R43, R48/23

Hazard group E

You are using 1 chemical

Please read this information and then click 'Go' at the bottom of the page.

The chemical aluminium oxide belongs to the hazard group : E

A	B	C	D	E
Least hazardous substances	more hazardous substances			Special cases

The chemical aluminium oxide may also cause harm if in contact with skin or eyes.

Warning : The chemical you are using has been given the high hazard group of E. Before carrying on you may want to consider using a less harmful chemical.

- Please speak to your supplier to see if there is another chemical you can use which will do the job satisfactorily.
- You may want to use the chemical in a less harmful form, eg use pellets instead of powder.
- You may also want to think about changing the process, for example using less of the chemical or a lower process temperature.

This will reduce the risk of ill health to your workers and make what you have to do, simpler and cheaper.

You can find more information in [Seven steps to successful substitution of hazardous substances](#) (This is on the subscription area of hsedirect).

In some circumstances **experts** with detailed information on the chemical can override the hazard grouping. [Click here to do this.](#)

<<Back 36

✦ L'étape de documentation des quantités, la volatilité, l'empoussièrément

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

FORM : HOW DUSTY ?

Assessment code: SL25503750
 Process name: [None specified](#)
 Task (1 of 1): [Mixing](#)
 Chemical name (1 of 1): aluminium oxide
 State: Solid
 R-phrases numbers: R21/22, R34, R36/38, R42/43, R43, R48/23
 Hazard group: E

You are using 1 chemical

What you have to do to protect yourself and others from the ill effects of solid chemicals, depends on how dusty they are. Please choose one of the following, then click 'Go' at the bottom of the page.

Dustiness

Low
eg pellets

Medium
eg crystals or granules

High
eg fine light powders

If you are using a [volatile solid](#) then please check this box and enter the following information.

Operating temperature: 25 °C
 Vapour pressure:
 Reference temperature: 25 °C

<<Back

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

HOW MUCH ARE YOU USING AND HOW OFTEN ?

Assessment code: UE47324522
 Process name: [food additives/packaging](#)
 Task (1 of 1): [Mixing](#)
 Chemical name (1 of 1): aluminium oxide
 State: Solid
 R-phrases numbers: R21/22, R34, R36/38, R42/43, R43, R48/23
 Hazard group: E

You are using 1 chemical

Choose the [quantity used](#) :

Small - grams
 Medium - kilograms
 Large - tonnes

[How many times a day](#) do you carry out this mixing task?

[How long in minutes](#) does the mixing task take?

<<Back

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals **hsedirect**

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

SUMMARY OF USER INPUT

Your assessment code : UE47324522
 Process name : food additives/packaging
 Task : Mixing

Congratulations! You have now input all the information needed for COSHH Essentials to carry out a risk assessment for 1 chemical. You should now print off the control guidance sheets offered to you, check that your controls meet those recommended and follow the actions suggested.

Below is a summary of the information you have input. If you think you have made a mistake or you wish to change any of the information, please click [here](#) to edit the information on this task.

To obtain more details on the summary, click on any of the terms below.

Chemical or product name :	aluminium oxide
R-phrases :	R21/22, R34, R36/38, R42/43, R43, R48/23
State :	Solid
Dustiness :	High
Hazard group :	E
Skin hazard :	Yes
Quantity used :	Small
How many times a day ?	2 times a day
How long does the task take ?	10 minutes

For details of the guidance sheets and other essential information, click on the 'Go' button below.

<<Back

L'étape de développement d'un plan d'action

Health & Safety Executive
Reducing risks, protecting people

COSHH ESSENTIALS

Easy steps to control health risks from chemicals **hsedirect**

Process → How Many → Chemical Name → Hazard → Form → How Much → Summary → Advice

ADVICE ON HOW TO PROTECT YOURSELF AND OTHERS

Your assessment code : SL25503750
 Process name : None specified
 Task : Mixing

Having assessed the 1 chemical used in this task, COSHH Essentials has calculated that you need to use control approach "Special". This is based on the highest hazard found.

Your chemical has been allocated the control approach "Special". This means that it is highly hazardous and you need specialist advice.

You may want to consider using a less hazardous chemical. Please speak to your supplier to see if there is another chemical you can use which will do the job satisfactorily or if you can use the chemical in a less hazardous form, eg use pellets instead of a powder.

You may also want to think about modifying the process, for example using less of the chemical or a lower process temperature.

This will reduce the risk to your workers and make control simpler and cheaper.

You can find more information in [Seven steps to successful substitution of hazardous substances](#) (this is on the subscription area of hsedirect).

The guidance sheets listed below give you advice on areas such as design and equipment, maintenance, examination and testing, cleaning and housekeeping, personal protective equipment, training and supervision.

You should now print off the guidance sheets and also print off the summary of your assessment for your records. The summary will also give you important information about what you should do to put the advice into practice and other action you may need to take.

Please note : The summary and guidance sheets provided below are [PDF files](#). To view these files, you have to have Adobe® Acrobat Reader installed. If you do not have Acrobat Reader installed, click the button to download and install the latest version. THIS SOFTWARE HAS BEEN CHECKED FOR VIRUSES AND IS COMPLETELY SAFE TO DOWNLOAD.

Download the summary of your assessment here :

Recommended control approach : Special			
Task Name	Guidance Sheet Title	Number	Download
General tasks	General principles	G400	
General	Health Surveillance	G402	

Your task involves Chemicals causing harm via skin contact. Hence the following Guidance Sheets are also recommended.

Task Name	Guidance Sheet Title	Number	Download
General	General advice	S100	
General	Selection of personal protective equipment	S101	

<<Back **New assessment >>**

2.3 Application du logiciel (*Control Banding Tool Version2 6-18-09*) :

✚ Identification de la nanoparticule étudiée

Activity Number	Scenario Description (free text)	Name or description of nanomaterial	CAS#	Activity classification	Current Engineering Control
	food additives/packaging	Aluminium oxide	1344-28-1	Other activities that can result in potential exposure to nanomaterials	Containment

Figure 23: L'identification de la tâche et la substance

✚ Le niveau du danger (données toxicologique du matériau parent et de la nanoparticule étudiée)

Lowest OEL (mcg/m3)	Parent material					Nanoscale material								
	carcinogenicity?	reproductive hazard?	mutagenicity?	dermal hazard?	asthma?	Surface reactivity	Particle shape	Particle diameter (nm)	Solubility	carcinogenicity?	reproductive hazard?	mutagenicity?	dermal hazard?	asthma?
Unknown	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Medium	Compact or spherical	1-10 nm	Insoluble	Yes	Yes	Unknown	Yes	Yes

Figure 24: La spécification des risques à la santé reliés à la substance et la tâche

Le niveau d'exposition (durée/quantité)

Estimated maximum amount of chemical used in one day (mg)	Dustiness	Number of Employees with Similar Exposur	Frequency of Operation (annual)	Operation Duration (per shift)	Probability score	Probability band	Overall Risk Level Without Controls	Recommended Engineering Control Based on Risk Level	Upgrade Engineering Control?
Unknown	Medium	Unknown	Daily	< 30 min	6.25	Extremely Unlikely	RL4	Seek specialist advice	Yes

Figure25 : La prédiction de l'exposition (trouver l'approche de contrôle)

La maîtrise du risque

AI	AJ	AK
Total score	Overall Risk Level Without Controls	Recommended Engineering Control Based on Risk Level
150	RL3	Containment
125	RL2	Fume hood or local exhaust ventilation
100	RL2	Fume hood or local exhaust ventilation
150	RL3	Containment
150	RL3	Containment
200	RL4	Seek specialist advice
100	RL2	Fume hood or local exhaust ventilation
175	RL4	Seek specialist advice
50	RL1	General ventilation

Probability

	Extremely Unlikely (0-25)	Less Likely (26-50)	Likely (51-75)	Probable (76-100)
Very High (76-100)	RL3	RL3	RL4	RL4
High (51-75)	RL2	RL2	RL3	RL4
Medium (26-50)	RL1	RL1	RL2	RL3
Low (0-25)	RL1	RL1	RL1	RL2

Severity

RL1: General Ventilation
 RL2: Fume hoods or local exhaust ventilation
 RL3: Containment
 RL4: Seek specialist advice

Figure26 : Le développement d'un plan d'action

3. Résultat et discussion :

3.1 Résultat :

- ✓ Approche de control recommandée: spécial

General principles

Control approach 4

Special

Background

Control approach 4 (special) means you have a situation where you need more specific and specialist advice than provided by COSHH essentials: step 1 to control chemicals. The advice may come from a more detailed HSE guidance document, or you may need to involve an expert, such as a qualified occupational hygienist. An occupational hygienist can give you site-specific advice on your risk assessment, the possibility of substituting the chemical you are using for a less hazardous one, and control measures. It is important that you seek further advice.

COSHH essentials identifies control approach 4 if:

- you are handling chemicals assigned to hazard group 1. These have the potential to cause very serious health effects, such as cancer or asthma, and a safe level of exposure will be difficult to establish. Different types of control will be needed for different chemicals in the group. For certain processes, eg foundry working and woodworking, some relevant sheets have now been included under direct advice (or Part 2 of the published version); or
- you are handling large quantities of chemicals that can easily become airborne and that cause serious health effects. All aspects of handling these substances need to be assessed at a level of detail beyond that provided by COSHH essentials.

Further information

- HSE may have published detailed guidance on your chemical and task. Phone the HSE helpline on 0800 545500 to find out.
- The British Occupational Hygiene Society (BOHS) Faculty of Occupational Hygiene keeps lists of qualified consultants who can help you. Contact BOHS on 0133 209 0007 or at www.bohs.org/
- Chemicals assigned the H-phrases H420 can cause asthma and are covered by Appendix 3 (Control of substances that cause occupational asthma) of the Approved Code of Practice (ACOP) HSE 60463/2002 ISBN 0 7176 2844 6. HSE has also published some relevant guidance (preventing asthma at work: how to control respiratory sensitisers L14 - HSE Books 1994 ISBN 0 7176 0861 9)
- Chemicals assigned the H-phrases H430 or H431 may cause cancer and are covered by Appendix 1 (Control of carcinogenic substances) of Control of Substances Hazardous to Health. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002, Approved Code of Practice and guidance L5 (fourth edition) HSE 60463/2002 ISBN 0 7176 2844 6.

Approche de commande 4 (spécial) signifie que vous avez une situation où vous avez besoin de plus des conseils précis et spécialisé que celui prévu par COSHH Essentials : étapes faciles pour contrôler les produits chimiques . Le conseil peut provenir d'une HSE plus détaillée document d'orientation , ou vous pouvez avoir besoin de faire participer un expert , comme un qualifié hygiéniste du travail . Un hygiéniste du travail peut vous donner des conseils spécifiques au site sur votre évaluation des risques, la possibilité de remplacer le produit chimique que vous utilisez pour un autre moins dangereux, et des mesures de contrôle. Il est important que vous demandiez des conseils supplémentaires.

G402

Health surveillance for occupational asthma

COSHH essentials: General guidance

Control approach 4 Special

Introduction

- Your work involves a substance that can cause occupational asthma. Occupational asthma is a major occupational health problem.
- If you detect an employee's symptoms early enough and reduce their exposure, you will reduce their risk of developing full blown asthma.

Main causes

- Isocyanates (eg two-pack spray paints), flour dust, grain dust, glutaraldehyde, wood dust, latex (powdered natural rubber latex gloves), molten-cooled solder fumes, laboratory animals or glass and metal can all cause occupational asthma.

Occupation

- Bakeries and food processors, beauty services, cleaning services, healthcare services, painters, repairs (including electronics), welders and woodworkers (including forestry) are all associated with occupational asthma.

Planning and preparation

- Plan what you are going to do if a worker shows signs of lung problems and make sure your employees are aware of your plans.

What is health surveillance?

- Health surveillance is collecting and using information about workers' health, related to the substances they use. It helps prevent asthma developing by detecting the early signs.
- Consider using higher level health surveillance first.
- Health surveillance is never an alternative to the proper control of exposure. It is not the same as health screening or health promotion.

Higher-level health surveillance?

- Higher-level health surveillance is required for any of your workers who:
 - are exposed to substances in the main causes (above), or substances and processes where occupational asthma is a known problem;
 - are working with products labelled H42. May cause sensitisation by inhalation (may lead to asthma); or H430/431. May cause sensitisation by inhalation and skin contact; or
 - have a confirmed case of asthma.

• Votre travail implique une substance qui peut provoquer l'asthme qui présente un problème majeur de santé au travail.

• Si vous constatez des symptômes d'un employé assez tôt et de réduire leur exposition, vous pouvez réduire leur risque de développer de l'asthme à part entière.

• Boulangeries et les transformateur alimentaires

• Des soins de beauté

• Services de nettoyage

• Les services de soins de santé

• Des peintres, des réparateurs (y compris électronique), les soudeurs et les travailleurs du bois (y compris la foresterie) sont tous associés à l'asthme professionnel.

- ✓ **Votre tâche implique des produits chimiques causant des lésions par contact de la peau. Par conséquent, les notes d'informations suivantes sont également recommandées**

HSE Health and Safety Executive

S100

COSHH essentials: Harm via skin or eye contact

This information will help employers comply with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (COSHH), as amended, to control exposure to chemicals and protect workers' health. It is also useful for trade union safety representatives. This sheet covers general points on skin exposure. It is important to follow all the points, or use equally effective measures.

Control approach S Supplementary advice

Contact with skin and eyes

- ✓ Liquids and solids can contact skin and eyes in the following ways:
 - direct contact – handling, immersion;
 - splashes and dust or spray settling on the skin; and
 - touching contaminated surfaces, including work clothing.
- ✓ Skin contact is almost inevitable. Once the hands are contaminated, contamination spreads to other parts of the skin or into the mouth by touching or scratching.

Exposure control

- ✓ Reduce the chances of contact with skin or eyes:
 - modify the process to minimise handling;
 - change the physical form – to granules from dusty powders, or to pastes from liquids;
 - segregate clean and dirty areas to reduce the spread of contaminants;
 - provide smooth, impervious, easily cleaned surfaces;
 - launder work clothing regularly;
 - provide clean washrooms, with pre-work creams and after-work creams for skin care;
 - tell workers about the risk and about good personal hygiene;
 - check skin for dryness or sores regularly;
 - clean the workroom regularly;
 - provide eye protection where there are splash risks; and
 - plan how to deal with spillages swiftly and safely.
- ✓ Workers should wash their hands before and after eating, drinking, smoking, using the kitchen or applying cosmetics.
- ✓ See Sheet S101 for advice on selecting protective gloves and S102 for other PPE.

Useful links

- Contact the British Occupational Hygiene Society (BOHS) on 0 1232 298101 or at www.bohs.org for lists of qualified hygienists who can help you.
- Look in the Yellow Pages under 'Health and safety consultants' and 'Health authorities and services' for 'occupational health'.
- Also see www.hse.gov.uk.

• Les travailleurs devraient se laver les mains avant et après manger, de boire, de fumer, d'aller aux toilettes ou de se maquiller.

• Voir fiche S101 pour obtenir des conseils sur la sélection des gants de protection et S102 pour d'autres Equipement de Protection Individuelle (EPI)

HSE

Selection of personal protective equipment

Chemicals causing harm via skin or eye contact S101

General guidance sheet S101

The guidance in this sheet is aimed at employers and the self-employed to help them comply with the requirements of the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (COSHH), by controlling exposure to chemicals and protecting workers' health. The sheet is part of the HSE guidance pack COSHH essentials easy steps to control chemicals. It can be used alongside control approaches 1, 4 when the guidance identifies a chemical to hazard group 5, is where chemicals can cause harm in contact with skin and eyes. This sheet provides advice on the selection and use of personal protective equipment (PPE). It describes the key points you need to follow to provide adequate control and to help ensure exposure is reduced to an acceptable level. Other sheets in the S series provide additional help on specific issues related to substances in group 5. Some chemicals can also be flammable or corrosive. Control equipment must be suitable for these hazards too. Look at the safety data sheet for more information. Depending on the scale of work, releases into the atmosphere may be regulated within the pollution prevention and control (PPC) framework. You should consult your local authority or the Environment Agency in Scotland, contact the Scottish Environment Protection Agency (SEPA). They will advise you if PPC legislation applies to your company, and about air cleaning and discharging emissions into the air. Otherwise, minimise emissions into the air.

Types of PPE

The information you obtained from answering the questions on sheet S100 will help you decide which parts of the body are likely to be exposed to the chemicals in hazard group 5. The list types of clothing that may be required:

- chemical protective gloves;
- coveralls;
- protective footwear;
- face or eye shields;
- respiratory protective equipment (RPE).

Your protective equipment supplier should normally be able to tell you the type of protective material to select. Not all materials give protection against all chemicals. Some chemicals pass through protective materials over a period of time. It is important that you also ask your supplier how frequently the protective equipment needs to be changed. Ensure that the equipment is changed when necessary. Remember to tell your workers and make sure they follow the instructions.

General precautions

- ✓ Check protective equipment for damage both before and after use.
- ✓ Clean and maintain all PPE regularly.
- ✓ Use disposable protective equipment only once and dispose of it safely after use.
- ✓ Wash cotton type overalls on a regular basis.
- ✓ Wash overalls at work or at a specialist laundry. They should not be taken home and washed with the 'family' wash.
- ✓ Store protective clothing in a clean cupboard or locker.
- ✓ Store clean and dirty clothing separately.
- ✓ Provide a good standard of personal washing facilities.



• Des gants de protection chimique

• Combinaisons

• Chaussure de protection

• Ecrans faciaux ou des Yeux

• Equipement de protection respiratoire (EPR)

3.2 Discussion :

Nos résultats confirment les limites des méthodes qualitatives comme démarches de caractérisation de l'exposition aux nanoparticules d'alumine mais précise leur intérêt comme étape initiale dans la démarche d'évaluation des risques.

La recommandation d'utiliser une méthode plutôt qu'une autre dépendra des objectifs fixés à la démarche : faible précision mais plus grande facilité d'utilisation ou précision supérieure mais lourdeur de la démarche ([Persoons R., 2012](#)).

Certaines variables utilisées par plusieurs de ces méthodes qualitatives apparaissent indispensables à inclure afin que les échelles de scores d'exposition reflètent au mieux la possible distribution des expositions. Les variables « Volatilité », « Quantités manipulées », « Procédé » et « Protection collective » semblent constituer des déterminants de l'exposition importants et faciles à intégrer dans le calcul des scores d'exposition.

Nos observations sont en accord avec les positions du « *COSHH Essentials Working Group of the Health and Safety Commission's Advisory Committee on Toxic Substances* » indiquant que ce modèle est plus robuste pour certaines activités que pour d'autres et qu'il est par nature protecteur ([Persoons R., 2012](#)).

Au-delà de l'exposition par ingestion et par inhalation ayant fait l'objet de ce travail, il apparaît important comme perspective d'aller vers la modélisation des doses internes de polluants afin de compléter les données relatives à l'exposition digestive et de se rapprocher de l'estimation du risque sanitaire.

Une des difficultés rencontrées dans le développement de ces formats est de trouver un équilibre entre le nombre de déterminants utilisés (conditionnant la précision du modèle) et la facilité d'utilisation de ces approches. En ce sens, les modèles empiriques sont intéressants car ils permettent théoriquement de définir une liste restreinte de déterminants expliquant une part importante de la variabilité des expositions étudiées. Leur inconvénient principal est qu'ils nécessitent des métrologies individuelles pour valider le choix de ces déterminants.

Deux notions importantes dans l'interprétation des modèles d'exposition sont la variabilité et l'incertitude. La variabilité de l'exposition provient de l'hétérogénéité ou de la diversité spatiale, temporelle ou inter-/ intra-individuelle au sein de la population pour, laquelle l'évaluation des risques est entreprise. L'incertitude reflète quant à elle notre manque ([Persoons R., 2012](#)).

4. Recommandation et perspective :

4.1 Recommandation :

La prudence à l'égard de l'utilisation des nanoparticules d'alumine (Al_2O_3) en alimentation humaine. Elle a préconisé également que la présence de ces substances dans l'alimentation fasse l'objet d'une déclaration systématique et d'une demande d'autorisation de mise sur le marché (**Anses, 2014**).

De nombreux organismes ont proposé des limites d'absorption pour les quantités d'alumine dans les aliments. Ainsi, dans une décision récente, le Comité mixte FAO/OMS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Organisation mondiale de la santé) d'experts des additifs alimentaires a fixé la Dose Hebdomadaire Admissible Provisoire (DHAP) à 0.2 à 1.5 mg d'alumine par kilogramme de poids corporel par semaine. La DHAP s'applique également à tous les composés d'aluminium dans les aliments et les additifs alimentaires. Des études ont montré des risques d'effets toxiques du nano-alumine provoquant une sensibilité du système immunitaire par voie intraveineuse [5].

L'alumine peut provoquer des maladies graves pour l'homme grâce à ces effets néfastes sur la santé :

- Effets neurologiques (maladie d'Alzheimer ainsi que les autres effets neurotoxiques pouvant accélérer le déclin des fonctions cognitives avec l'âge) (**ECHA, 2010**).
- Effets sur les poumons (asthme, réponses inflammatoires pulmonaires, des bronchites chroniques et parfois des fibroses - maladie chronique qui apparaît après une inflammation avec formation de cicatrices fibreuses au niveau des poumons -) [6].
- Effets sur les nourrissons et sur le développement du fœtus (**ECHA, 2010**).
- Cancer (Les données épidémiologiques fournissent des preuves limitées que certaines expositions dans les industries de production d'aluminium entraînent une augmentation des cancers du poumon et de la vessie chez l'homme) [7].
- De fortes doses entraînent une irritation du tractus gastro-intestinal [7].

La substitution d'un produit toxique par un autre, satisfaisant aux mêmes contraintes de production, ne permet pas toujours d'éliminer un danger. Mais souvent, cela permet de diminuer la gravité des effets sur la santé (produit moins toxique) ou de diminuer l'exposition (produit moins volatil), de façon à améliorer considérablement les conditions de travail.

Toutefois, la majorité des scientifiques estime qu'il serait déraisonnable de ne pas continuer les recherches sur la toxicité éventuelle des nanostructures pour la santé, tout en gardant à l'esprit la notion essentielle de détermination de la dose à partir de laquelle les nanoparticules pourraient être toxiques. Le manque de recul vis-à-vis des conséquences des nanotechnologies nous empêche une fois de plus de cerner les véritables risques et effets secondaires encourus (**Bernhard C. A. et al., 2007**).

4.2 Les Perspectives :

Une perspective de ce travail vise à étudier l'influence des comportements individuels sur les niveaux d'exposition professionnelle. L'étude des pratiques professionnelles individuelles (respect des règles d'hygiène et de sécurité, mode opératoire de manipulation des substances) devrait permettre de définir de nouveaux déterminants et de quantifier leur importance relative en comparaison des principaux déterminants déjà utilisés dans les modèles d'exposition.

Pour chacune des tâches étudiées, les variables nécessaires au calcul des indices d'exposition (méthodes qualitatives) ou à l'estimation des niveaux d'exposition (modèles empiriques) ont été recueillies lors d'études de postes effectuées à l'occasion des métrologies individuelles ou lors de visites complémentaires (**Persoos R., 2012**).

Conclusion

Notre travail a permis d'étudier, définir et de caractériser des nanoparticules d' Al_2O_3 dont le but d'estimer leurs effets sur l'homme. Pour cela une étude a été menée montrant l'intérêt des modèles empiriques qualitatifs de GGR pour identifier des déterminants spécifiques d'exposition de l'homme par digestion et par inhalation. Les résultats obtenus de ces modèles (*COSHH Essentials / Control Banding Tool*) permettent d'estimer les expositions en fonction des procédés des déterminants retenus, et en particulier d'identifier les situations qui peuvent être associées à des expositions maximales, orientant le gestionnaire des risques vers les actions de prévention à mener prioritairement. Ces modèles ont permis dans notre étude d'identifier les facteurs prioritaires sur lesquels agir pour maîtriser le niveau d'exposition professionnelle et des consommateurs. La contrepartie à la spécificité de ces modèles est la nécessité d'une étude approfondie des conditions d'activité et la réalisation de nombreuses mesures métrologiques pour sa construction.

Dans la mesure où chacune des approches précédemment décrites présentent des avantages / inconvénients et que la nature des informations mises à la disposition de l'évaluateur de risques varie souvent d'un scénario d'exposition à l'autre.

Au-delà de la performance de ces modèles, il est important de se poser la question de la fiabilité du jugement d'experts dans la saisie des données d'entrée des modèles. En effet, la performance des modèles testés et l'incertitude de leurs prédictions sont intimement liées à la fiabilité des données saisies.

Il peut être conclu de notre étude que le modèle *COSHH Essentials* est le meilleur en termes d'orientation, de gestion de risque, donner des résultats et recommandations. Il fait également l'objet des études de validation pour différents scénarios d'exposition et de polluants aussi que les agents biologiques.

La gestion des risques ne se limite plus à la prévention des accidents. Elle devient une composante indissociable du management des entreprises. Elle matérialise la création de valeur pour toutes les parties prenantes.

Elle fait naître une nouvelle gouvernance et émerger un nouveau métier, celui du gestionnaire global des risques.

Référence bibliographique

● Publications :

1. **Afssa** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. L'Association Nationale des Industries Alimentaires (ANIA) et Plastics *Europe France*.2009. **Etienne M. Gérard J-F. Gouget B. et al.**, « Nanotechnologies et nanoparticules dans l'alimentation humaine et animale ». 29p.
2. **Afsset** : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail. 2006. « LES NANOMATERIAUX : Effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement ».133p.
3. **Afsset** : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail. 2010. « Les nanomatériaux : évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement » Maisons-Alfort.
4. **Alfadul S.M, Elneshwy A.A.** 2010. Use of nanotechnology in food processing, packaging and safety. African Scholarly Science Communication Trust of Food Agriculture Nutrition and Development.10(6) : 2720-2733.
5. **Alain Bensoussan**, 2013. « Nanomatériaux : enjeux et responsabilités pour les industriels ? » Copyright Lexing.38p.
6. **Aness** : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire alimentation, environnement, travail. 2014. « Relatif à la modification des annexes de REACH en vue de la prise en compte des Nanomatériaux ». Maisons-Alfort.
7. **Angélique Simon-Deckers**. 2008. « Biological effects of manufactured nanoparticles : influence of their characteristics ». THESE DE DOCTORAT ; CEA Travail réalisé : CEA Saclay, UMR9956, Laboratoire Pierre Süe F-91191 Gif-sur-Yvette.
8. **Anses** : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire : Alimentation, Environnement, Travail. 2014.Évaluation des risques liés aux nanomatériaux. Maisons-Alfort. 47p.
9. **Belkharchouche D.**2010 Mémoire. « Adsorption du bore par les alumines modifiées » Mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine, 86p.
10. **Berkvens D., Bragard C., Daeseleire, et al** .2012. « Nanotechnologies dans la chaîne alimentaire ». AVIS 04-2012.
11. **Bernhard C.A., Droz P O., Favre O. et al.** 2007. «Introduction a l'hygiene du travail ». 138 p.

12. **Broekhuizen F.A. van et Broekhuizen J.C. van.** 2009. « Les nanoproduits dans le secteur européen de la construction ».
13. **Buzea C., Pacheco, I.I., Robbie, K.** 2007. « Nano materials and nanoparticles : Source and toxicity ». *Bio interphases*, 2(4) : MR17-MR71.
14. **Claude Ostiguy, Gilles Lapointe, Luc Ménard, et al.**, 2006. Les nanoparticules: Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail. RAPPORT R-455.
15. **Claude Ostiguy, Brigitte Roberge, Luc Ménard, Charles-Anica Endo,** 2008. Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse. RAPPORT R-586.
16. **Claude Ostiguy, Michael Riediker, Jérôme Triolet RI, et al.**, 2012. «Développement d'un outil de gestion graduée des risques spécifique au cas des nanomatériaux ». anses N°2008-SA-0407.
17. **Camille Carles.** 2011. « Nanotechnologies et Nanoparticules Leurs effets sur la santé ».
18. **Donaldson K.**2010. « Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium : a review of the hypothesis regarding the role of long fiber retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma ».5-7p.
19. **Dubus J.C., Bosdure E., David M., Stremler Lebel N.** 2010. « Nanoparticules et santé ».
20. **ECHA : Agence Européenne des Produits Chimiques.** 2010. Effets potentiels sur la santé de l'exposition à l'aluminium et à ses composés. Riche de renseignements sur l'aluminium _ 20110728.
21. **Eric Gaffet.** 2011. « Nanomatériaux : une revue des définitions, des applications, des effets sanitaires et des moyens à mettre en œuvre pour un développement sécurisé ». Nanomaterials Research Group – UMR CNRS 5060. 12p.
22. **France Brunelle.** 2011. « Les Nanotechnologies : Un secteur en émergence : promesses et questions! » 4-5p.
23. **GOHNET : The Global Occupational Health Network, Elaine M. Papp, Gerry Eijkemans, Carolyn Vickers.** 2004 « Le réseau mondial pour la santé au travail. Réduire l'exposition des travailleurs grâce à la boîte à outils de gestion des risques professionnels » N° 7.

24. **Hans Bouwmeester, Puck Brandhoff, Hans J.P. Marvin, *et al.***, 2014. « State of the safety assessment and current use of nanomaterials in food and food production ».
25. **Igor Pujalté**. 2011. « Étude in vitro de la toxicité de nanoparticules métalliques (TiO₂, ZnO, CdS) sur la cible rénale ». Thèse de doctorat Université BOrdeaux 2. ANSES .EST-2010-2-087.
26. **INRS : Institut National de la Recherche et de la Sécurité**, 2013 « les Nanomatériaux : Bilan et perspective en santé et sécurité au travail ».
27. **I.U.T : Institut Universitaire de Technologie. Pierre DAVOUST**, 2010 « les nanomatériaux ».
28. **Jacques Lavoie, Eve Neesham-Grenon, Maximilien Debia, *et al.***, 2013. « Développement d'un modèle de gestion graduée du risque pour le choix de la protection respiratoire ». RAPPORT R-766.7-17p.
29. **Jérémy, V.** 2010. « Le règlement 1907/2006 CE (Reach) » 33p.
30. **John H., M.D.**, 2012 « General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratoires » N° 2012-147.
31. **Kyunghee Choi, Erin Court, Abdallah Daar, *et al.*** 2008. « Nanotechnologies, éthique et politique ».
32. **Lama Soubra**. 2008. « Évaluations scientifiques des risques toxiques liés à certaines substances chimiques (additifs alimentaires) et contaminants (mycotoxines) ». Thèse de doctorat, Paris, Institut des sciences et Industriel du Vivant et de l'Environnement, 224p.
33. **Maidment, SC.** 1998. « Occupational hygiene consideration in the development of structured approche to select chemical control strategies » Ann.Occup.Hyg ; 42 :391-400.
34. **Marquart, H.** 2008. « Stoffenmanger :a web-based Control Banding tool using an exposure model ». Ann.Occup.hyg.52 :429-441.
35. **Mathieu Goutayer**. 2008. « Nano-émulsions pour la vectorisation d'agents thérapeutiques ou diagnostiques ; étude de la biodistribution par imagerie de fluorescence in vivo ».
36. **MCE : maison de la consommation et de l'environnement**. 2010 « Introduction au débat public sur les nanotechnology à l'usage des bénévoles des associations de la MCE ».

37. **Mélanie Pailleux**. 2012. « Etude in vitro de la toxicité de nanoparticules de boehmite ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 340p.
38. **Min-Pei Linga, Wei-Chao Linb, Chia-Chyuan Liub, et al.**, 2012. « Risk management strategy to increase the safety of workers in the nanomaterials industry ».
39. **Nemmar A., Hoet PH., Nemery B.** 2006. « Translocation of ultra fine particles. Environ Health Perspect ». 114(4), A211-A212.
40. **OIT : Organisation Internationale du Travail**. 2011. « Système de gestion de la sécurité et de la santé au travail: un outil pour une amélioration continue » 1p.
41. **Olivier Witschger, Olivier Le Bihan, Martine Reynier, et al.**, « Préconisations en matière de caractérisation des potentiels d'émission et d'exposition professionnelle aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux » INRS. HST ND 2355 - 226 – 12.
42. **Pierre Davoust**, 2009-2010. « Les nanomatériaux ».13p.
43. **Renaud Persoons**, 2012. « Etude des méthodes et modèles de caractérisation de l'exposition atmosphérique professionnelle aux polluants chimiques pour l'évaluation des risques sanitaires ». Thèse de doctorat ; Université de Grenoble.
44. **Stéphane Binet, Eric Draï, Sandrine Chazelet, et al.**, 2011. « Risques liés aux nanoparticules et nanomatériaux ». INRS HST 224 – 16.
45. **Terence Newton**, 2014. « Les nano-particules dans les produits de consommation courante et leurs actions sur l'ADN pouvant mener au cancer ! ».
46. **Triolet J., Héry M.** 2009. « Les méthodes d'évaluation des risques chimiques : une analyse critique ». INRS, Hygiène et sécurité du travail. INRS, ND 2312.
47. **Vincent R., Bonthoux F., Mallet G. et al.** 2005. « méthodologie simplifiée du risque chimique : un outil d'aide à la décision ». INRS, ND 2233.

● **Sites internet :**

[1] - Les nanomatériaux : Sécurité au travail

http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports_publics/084000559/0000.pdf. Consulté le 11/08/2014.

[2]- Les nanoparticules

<http://www.irsst.qc.camediaocumentsPubIRSSTR-814.pdf>. Consulté le 11/08/2014.

[3] – les propriétés d'oxyde d'aluminium

http://fr.hwnanomaterial.com/Aluminum-Oxide-Al2O3-Nanopowder_c51. Consulté le 05/05/2015.

[4]- l'utilisation de l'alumine

<http://4emesinge.com/dossier-laluminium-le-scandale-sanitaire-quels-sont-les-dangers-et-comment-sen-protger>. Consulté le 26/04/2015.

[5]-l'exposition aux alumine

<http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/addit/aluminum-fra.php>. Consulté le 16/05/2015.

[6]- les effets de l'aluminium sur la santé

http://www.maxisciences.com/nanoparticule/les-nanoparticules-dangereuses-pour-les-poumons_art2585.html consulté le 16/05/2015. Consulté le 16/05/2015.

[7]-l'effet d'alumine sur les poumons

<http://www.actu-environnement.com/ae/news/commission-europe-avis-CSREN-nanoargent-consultation-risques-toxicite-20284.php4>. Consulté le 20/05/2015.

Annexe

Tableau 10 : Classification des R- phrases selon le système EU

R20 Nocif par inhalation	R41 Risque sérieux de dommages aux yeux
R21 Nocif au contact de la peau	R42 Peut entraîner une sensibilisation par inhalation
R22 Nocif si ingéré	R43 Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau
R23 Toxique par inhalation	R45 Peut causer le cancer
R24 Toxique par contact avec la peau	R46 Peut causer des changements génétiques transmissibles
R25 Toxique au contact avec la peau	R47 Peut causer
R26 Très toxique par inhalation	R48 Risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée
R27 Très toxique au contact de la peau	R49 Peut provoquer le cancer par inhalation
R28 Très toxique si ingéré	R60 Peut altérer la fertilité
R33 Danger d'effets cumulatifs	R61 Peut causer du tort à l'enfant à naître
R34 Cause des brûlures	R62 Risque d'altération de la fertilité
R35 Cause des brûlures sévères	R63 Risque possible d'effets néfastes pour l'enfant à naître
R36 irritant pour les yeux	R64 Peut être nocif pour les bébés allaités
R37 Irritant pour le système respiratoire	R65 Nocif : peut provoquer une atteinte des poumons en cas ingestion
R38 Irritant pour la peau	R66 Exposition répétée peut provoquer la peau dessèchement ou gerçures
R39 Danger d'effets irréversibles très graves	R67 les vapeurs peuvent causer des étourdissements et la somnolence
R40 Des preuves limitées d'un effet cancérigène	R68 Possibilité d'effets irréversibles

Résumé

La nanotechnologie représente un domaine d'activité en pleine expansion qui va permettre la mise au point de matériaux aux propriétés inédites. Le nombre de travailleurs exposés aux nanoparticules devrait s'accroître au cours des prochaines années et ce, dans un contexte où l'impact des nanoparticules sur la santé et la sécurité du travail est actuellement difficile à prévoir et à évaluer les risques de façon quantitative. Des effets toxiques des nanoparticules ont déjà été clarifiés partout dans l'organisme, y compris à l'intérieur des cellules. Une autre particularité des nanoparticules réside dans le fait que la toxicité semble reliée à leur surface.

La sélection d'un appareil de protection contre les nanoparticules peut s'avérer une tâche complexe compte tenu de données toxicologiques. Dans ces circonstances, une méthode qualitative d'évaluation et de gestion du risque fournit une alternative aux méthodes quantitatives utilisées en hygiène du travail. Ce rapport propose des modèles de gestion graduée du risque (COSHH Essentials, Control Banding Tool) pour le choix de la protection contre les nanoparticules utilisées dans le domaine professionnel et alimentaire applicable à l'ensemble des milieux de travail ainsi qu'aux experts membres de sociétés savantes.

Notre étude est suivie d'un scénario d'application étape par étape sur l'Alumine (Al_2O_3), tenant compte de la voie d'exposition (digestive et respiration), l'étude se base essentiellement sur l'identification des dangers, sur une hiérarchie de moyens de maîtrise en intégrant les connaissances spécifiques aux NPs lorsque celle-ci sont disponibles. Elle a pour but de soutenir les laboratoires et les entreprises dans la mise en place de bonnes pratiques pour un travail sécuritaire avec les NPs.

Mots clés : nanoparticules, toxicité, gestion des risques, control banding.