

Groupe de travail « Elimination des nanodéchets »

Document de travail

**Elimination sûre et respectueuse de l'environnement
des déchets**

**provenant de la fabrication
ainsi que de la transformation industrielle ou artisanale
des nanomatériaux synthétiques**

**Version pour un test pratique
septembre 2010**

Mandant: OFEV

Mandataire: Terra Consult Berne

Auteur: Mathias Tellenbach-Sommer

Groupe de travail « Elimination des nanodéchets »

Document de travail

Elimination sûre et respectueuse de l'environnement
des déchets

provenant de la fabrication
ainsi que de la transformation industrielle ou artisanale

des nanomatériaux synthétiques

Mandants: Andreas Weber et André Hauser, OFEV

Mandataire: Terra Consult Berne

Auteur: Mathias Tellenbach-Sommer

Adresses de contact:

OFEV
André Hauser
Division Déchets, substances, biotechnologie
CH-3003 Berne
Tél. +41 31 323 13 35
andre.hauser@OFEV.admin.ch

Terra Consult Berne
Mathias Tellenbach
Homburgstrasse 26 F
CH-3612 Steffisburg
Tél. +41 33 437 31 53 Mobile +41 79 270 46 50
mtellenbach@bluewin.ch

Contenu

1.	Introduction.....	5
1.1.	Plan d'action Nanomatériaux synthétiques	5
1.2.	Document de travail.....	5
2.	Généralités sur les nanomatériaux	6
2.1.	Propriétés physiques et chimiques	6
2.2.	Risques potentiels liés à la manipulation de nanomatériaux ¹⁾	8
2.3.	Grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques.....	9
3.	Elimination des nanodéchets	10
3.1.	Nanodéchets	10
3.2.	Nanodéchets spéciaux	10
3.3.	Principes généraux de l'élimination des nanodéchets.....	13
3.4.	Mesures de précaution selon le principe TOP concernant la manipulation de nanodéchets.....	14
3.5.	Mesures en vue de l'élimination.....	15
4.	Méthodes d'élimination	15
4.1.	Conditionnement des nanodéchets.....	16
4.2.	Méthodes d'élimination	16
4.3.	Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche.....	18
4.4.	Exigences posées aux entreprises qui éliminent des nanodéchets spéciaux	18
4.5.	Questions spécifiques destinées aux participants du test pratique.....	19
5.	Annexes	20
5.1.	Glossaire	20
5.2.	Publications	21
5.3.	Liens.....	22
5.4.	Etudes de cas.....	22

Membres du groupe d'accompagnement

Office fédéral de l'environnement OFEV:	Andreas Weber
	André Hauser
	Ernst Furrer
Office fédéral de la santé publique OFSP:	Christoph Studer
CCE, Conférence suisse des chefs des services et offices cantonaux de protection de l'environnement, représentée par:	
- Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt:	Gertrud Engelhardt
- Canton de Vaud, Service des eaux, sols et assainissement:	Jean-Michel Zellweger
ECO-SWISS, l'organisation de l'économie suisse pour la protection de l'environnement:	Daniel Christen
Secrétariat d'Etat à l'économie SECO – Produits chimiques et travail:	Livia Bergamin
SSIC Chimie Pharma Suisse:	Richard Gamma
SUVA Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents:	Christoph Bosshard
SVI Institut Suisse de l'Emballage:	Wolfgang Durrer
SWICO – Der Wirtschaftsverband für die digitale Schweiz:	Paul Brändli
swissmedic – Institut suisse des produits thérapeutiques – Groupe de travail Nanotechnologie:	Beat Schmid
Swissmem, Industrie suisse des machines, des équipements électriques et des métaux:	Christine Roth
	Sonja Studer
TVS Textilverband Schweiz:	Manfred Bickel
ASED Association suisse des exploitants d'installations de traitement des déchets:	Pierre Ammann
VSLF / USVP / Union suisse de l'industrie des vernis et des peintures:	Matthias Baumberger
VSMR Association suisse de recyclage du fer, du métal et du papier:	Markus Fehr
ZPK Association de l'industrie suisse de la cellulose, du papier et du carton:	Martin Häberli
	Arthur Burkhalter

1. Introduction

1.1. Plan d'action Nanomatériaux synthétiques

Le Conseil fédéral suisse a adopté son Plan d'action Nanomatériaux synthétiques¹ le 9 avril 2008. Celui-ci vise à développer, au cours des prochaines années, une attitude responsable en matière de nanomatériaux synthétiques, qui tienne compte à la fois des intérêts économiques et de la protection des consommateurs, des salariés et de l'environnement. Il prévoit un renforcement de la recherche sur les risques, le développement de la communication et la promotion de la recherche en matière d'applications de la nanotechnologie contribuant à la protection des ressources et à la protection de la santé, ainsi que des mesures juridiques dans divers domaines. Il propose notamment d'introduire, pour les fabricants et les importateurs de nanomatériaux, l'obligation d'effectuer des contrôles autonomes. Il prévoit également des prescriptions sur l'élimination des produits contenant des nanomatériaux synthétiques. En effet, pour reprendre les termes du Plan d'action, « [des] nanoparticules dangereuses sont susceptibles d'être libérées dans l'environnement ou de nuire au recyclage de matériaux composites et de plastiques lors de l'élimination de produits contenant des nanomatériaux synthétiques. Il faut développer les procédures pour assurer une élimination appropriée des nanomatériaux synthétiques. » (Plan d'action, page 13)

1.2. Document de travail

Fin 2008, l'OFEV a institué le groupe de travail « Elimination des nanodéchets ». Y sont représentés les cantons (CCE représentée par les offices de protection de l'environnement des cantons BS et VD), des services fédéraux (OFEV, seco, SUVA, swissmedic) ainsi que des associations industrielles (chimie, textiles, métaux/machines, électronique, papier, emballages, peintures/vernis) et des associations de la gestion des déchets (incinération des ordures ménagères, recyclage des ferrailles, élimination des déchets spéciaux). Dans un premier temps, le groupe de travail a élaboré le présent document devant constituer la base d'une aide à l'exécution concernant une élimination sûre et respectueuse de l'environnement des déchets provenant de la fabrication ainsi que de la transformation industrielle ou artisanale de nanomatériaux synthétiques.

Dans sa version actuelle, le présent document entend montrer aux entreprises qui fabriquent, transforment ou éliminent des nanomatériaux comment elles doivent, sur la base des connaissances actuelles, manipuler les déchets contenant des nanoparticules ou des nanobâtonnets libres ou susceptibles d'être libérés (« nanodéchets »). Il s'agit de traiter selon les règles de l'art les refus de fabrication, déchets de production ou résidus provenant de la recherche ou du développement, qui, du fait de leur nature, de leurs quantités et de leur concentration en nanoparticules ou nanobâtonnets, requièrent des mesures spécifiques. Le projet ne porte pas sur l'élimination des biens de consommation contenant des nanomatériaux, car il n'est actuellement pas possible de justifier des mesures spécifiques faute de connaissances d'une part sur la nature et les quantités de produits de ce type et d'autre part sur le comportement des nanomatériaux lors de l'incinération dans des UIOM ou de leur élimination dans d'autres installations.

¹ Téléchargement: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=fr>
(www.environnement-suisse.ch/div-4002-f)

Le groupe de travail a mis en lumière des lacunes de connaissances considérables concernant la nature des nanodéchets et leurs quantités ou encore le comportement des nanomatériaux dans les installations de traitement des déchets. Avant de pouvoir rédiger une aide à l'exécution destinée aux autorités compétentes, il est nécessaire de combler ces lacunes le mieux possible. C'est pourquoi le groupe de travail propose d'effectuer un test pratique avec le présent **document de travail** auquel participeront non seulement les entreprises de fabrication ainsi et de transformation industrielle ou artisanale de nanomatériaux, mais aussi les entreprises actives dans la gestion des déchets (élimination des déchets spéciaux, usines d'incinération des ordures ménagères, installations d'incinération de déchets spéciaux, etc.).

L'OFEV et la direction de projet externe tiennent à remercier vivement les membres du groupe de travail qui ont accompagné et soutenu l'élaboration du présent document pour leur précieuse collaboration et leur regard critique.

2. Généralités sur les nanomatériaux

2.1. Propriétés physiques et chimiques

Selon les définitions de l'ISO², on entend par **nanomatériaux** soit des **matériaux nanostructurés**, soit des **nano-objets**.

Les **nano-objets (objets nanométriques)** sont des matériaux qui ont une, deux ou trois dimensions spatiales à l'échelle nanoscopique (approximativement **1 – 100 nm**). Les **nano-feuillets**, les **nanobâtonnets** ou **nanofibres** et les **nanoparticules** en sont des exemples typiques.

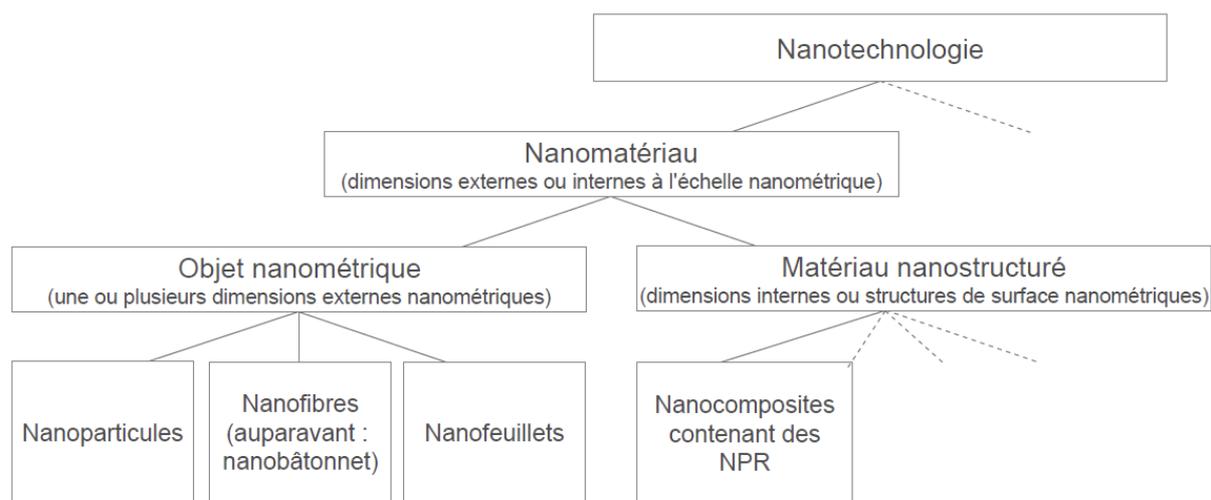
- Les **nanoparticules** (nanoparticles) sont des nano-objets dont les **trois dimensions spatiales** sont à l'échelle nanoscopique (p. ex. les fullerènes composés de carbone ainsi que le noir de carbone (carbon black), les boîtes quantiques [parfois appelées points quantiques, de l'anglais « quantum dots »] en matériaux semi-conducteurs ou le nano-argent métallique).
- Les **nanobâtonnets** (nanorods) ou **nanofibres** (nanofibers) ont **deux dimensions spatiales** à l'échelle nanoscopique (p. ex. les nanotubes de carbone NTC, c'est-à-dire des dispositions d'atomes de carbone en forme de tube, ou des nanofils [nanowires], d'un diamètre de quelques dizaines de nanomètres, fabriqués avec des métaux comme le cobalt, l'or ou le cuivre, ou avec du silicium).
- Les **nanofeuillets** ou **nanocouches** (nanolayers) n'ont qu'**une seule dimension spatiale** à l'échelle nanoscopique (p. ex. couches de graphite).

Les **matériaux nanostructurés** ont une **structure interne à l'échelle nanoscopique**. Des exemples types sont des agrégats et des agglomérats d'objets nanométriques ou des composites contenant des objets nanométriques.

² ISO/TC 229: ISO/TS27687, Nanotechnologies – terminology and definitions for nanoparticles, Geneva 2007

Les risques liés à l'utilisation de nanomatériaux (élimination incluse) proviennent essentiellement **des nanoparticules et des nanobâtonnets (NPR, de l'anglais nanoparticles and – rods)**. L'abréviation NPR est utilisée tout au long du présent document comme cela a été le cas dans le document de l'OFSP et de l'OFEV intitulé « Grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques »³, qui peut servir d'aide à l'évaluation des mesures de précaution nanospécifiques à prendre lors de la manipulation de nanodéchets (cf. chapitre 2.4.).

La figure 1 ci-dessous a été reprise des « Instructions concernant l'usage d'une grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques ».



Source : ISO TS 27687

Figure 1: les nanomatériaux contenant des NPR sont significatifs au regard des questions d'élimination abordées par le présent document. (Source: OFSP/OFEV: Instructions concernant l'usage d'une grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques, version 2.0, 2010)

Du point de vue chimique, les nanomatériaux peuvent être des oxydes, des sels, des métaux et des composés organiques, soit à l'état pur, soit en mélanges. Selon les propositions de l'ISO (TR 2885, « Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies »; cf. bibliographie au chapitre 5), les nanomatériaux sont classés en premier lieu selon leur composition chimique, la forme n'étant prise en compte qu'en second lieu:

- a. corps composés uniquement de carbone (p. ex. fullerènes, noir de carbone, nanotubes de carbone);
- b. oxydes (oxydes de métaux ou silicates sous diverses formes parfois très complexes; exemples: les bâtonnets [nanorods] sous forme de brosses [nanobrushes], de ressorts [nanosprings] ou de courroies [nanobelts]);
- c. métaux (en tant que nanoparticules ou nanofils [nanowires]);

³ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=fr> Version 2, 2010

- d. semi-conducteurs (généralement en tant que boîtes quantiques [aussi appelées points quantiques, de l'anglais « quantum dots »]);
- e. polymères organiques (fibres linéaires ou ramifiées [appelés dendrimères]);
- f. « Nanomatériaux d'inspiration biologique » (nanomatériau comprenant des substances biologiques incluses ou adsorbées; micelles, liposomes, particules de protéine).

Les composés carbonés, l'argent, les silicates, l'oxyde de titane, l'oxyde de zinc ou l'oxyde de cérium constituent des exemples de nanomatériaux significatifs du point de vue quantitatif (Source: Grundlagenbericht [OFEV/ OFSP], cf. bibliographie en annexe, contenant une évaluation de données datant de 2006).

Le même document cite les champs d'application suivants:

- médecine et produits pharmaceutiques
- denrées alimentaires et emballages
- textiles
- cosmétiques
- électronique
- matériaux de construction, matériaux composites
- produits chimiques ménagers et appareils ménagers
- substances auxiliaires agricoles

2.2. Risques potentiels liés à la manipulation de nanomatériaux⁴⁾

Conformément au principe de précaution, les atteintes qui pourraient nuire à l'environnement et à la santé doivent être minimisées par une utilisation responsable des nanomatériaux (cf. art. 1, al. 2, LPE).

Les risques pour la santé, la sécurité et l'environnement peuvent provenir en premier lieu de nanomatériaux contenant des nanoparticules et des nanobâtonnets libres ou susceptibles d'être libérés (NPR libres ou susceptibles d'être libérés).

En raison des propriétés particulières des NPR, il faut admettre principalement les risques potentiels suivants:

- a) les nanoparticules peuvent traverser des barrières biologiques et passer, par exemple, des poumons directement dans le système circulatoire (translocation);
- b) la grande surface spécifique (surface/masse) des nanoparticules peut provoquer une augmentation de la réactivité des substances toxiques;
- c) dans des cas particuliers, la réduction de la taille des particules peut entraîner une plus grande biodisponibilité;
- d) les nanoparticules peuvent présenter des propriétés chimiques et physiques différentes de celles du même matériau à l'échelle microscopique ou macroscopique. Bien entendu, ce

⁴⁾ Le résumé est basé sur les publications suivantes: « Grundlagenbericht zum Aktionsplan Synthetische Nanomateriellen », Berne, 2007 (OFEV/OFSP) et « Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials », London, 2007 (British Standards BSi) - (cf. bibliographie en annexe).

sont justement les matériaux qui sont fabriqués en raison de leurs nouvelles propriétés qui présentent le risque d'effets nouveaux;

e) certains NTC (nanotubes de carbone, carbon nanotubes [CNT] en anglais) et nanofils peuvent, en raison de leurs dimensions (rapport des dimensions des côtés), exercer, dans les poumons, des effets analogues à ceux des fibres d'amiante;

f) le risque de coup de poussière doit être pris en compte (comme c'est le cas pour toute application de substances combustibles sous forme pulvérulente).

2.3. Grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques

La grille de précaution, publiée en première version en 2008 par l'OFSP et l'OFEV dans le cadre du Plan d'action, constitue une aide pour évaluer les précautions à prendre en manipulant des nanomatériaux et des nanodéchets ⁵⁾. Depuis avril 2010 elle est disponible dans sa nouvelle version 2.0. La version électronique permet de simplifier considérablement le remplissage et l'évaluation de la grille de précaution. ⁶⁾

Le principe est présenté en ces termes dans les instructions concernant l'usage de la grille de précaution:

La grille de précaution aide les différents secteurs économiques à estimer les mesures « nanospécifiques » à prendre, ainsi qu'à identifier les sources éventuelles de risques lors de la production, de l'utilisation et de l'élimination des nanomatériaux synthétiques.

Une classification doit mettre en évidence les mesures à prendre:

*« **Classe A** »: Les besoins en termes de précaution « nanospécifique » liés aux matériaux, produits et applications examinés peuvent être considérés comme faibles, même en l'absence d'étude complémentaire.*

*« **Classe B** »: Des besoins en termes de précaution « nanospécifique » existent. A titre préventif, il est nécessaire de contrôler les mesures existantes, de procéder à des études complémentaires ou, le cas échéant, de prendre des mesures de réduction des risques concernant la production, l'utilisation et l'élimination. (Instructions concernant l'usage d'une grille de précaution, version 2.0, 2010, page 7)*

et

Dans les cas où aucune estimation n'est possible en fonction des réponses proposées (p. ex., faible, moyen, élevé) parce que l'information n'est pas disponible, il faut utiliser la valeur qui implique au final les mesures de précaution les plus poussées. (Instructions concernant l'usage d'une grille de précaution, version 2.0, 2010, page 14)

⁵⁾ Téléchargement: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=fr>
(www.environnement-suisse.ch/div-4002-f)

⁶⁾ <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=fr>

3. Elimination des nanodéchets

3.1. Nanodéchets

Le présent document de travail concerne les déchets produits lors de la fabrication ou de la transformation industrielle ou artisanale de nanomatériaux contenant des **nanoparticules ou des nanobâtonnets NPR libres ou susceptibles d'être libérés** (cf. figure 1). Ces déchets sont appelés **nanodéchets**.

Ne sont traités que les déchets de **nanomatériaux synthétiques** (*manufactured nanomaterials, engineered nanomaterials*), produits **lors de la fabrication ou de la transformation**. Il s'agit par exemple de déchets de production, de refus de fabrication, de résidus de filtration, de chiffons souillés par des nanoparticules ou de solvants ou de résidus provenant de la recherche et du développement, nécessitant la prise de mesures nanospécifiques de par la nature des NPR, leur quantité et leur concentration.

Le document de travail ne concerne pas l'élimination de biens de consommation contenant des nanomatériaux, car il n'est actuellement pas possible de justifier la prise de mesures d'élimination spécifiques en raison du manque de connaissances sur la nature de ce type de produits, sur les quantités ou encore sur le comportement des nanomatériaux lors de l'incinération dans des UIOM ou lors de leur élimination dans d'autres installations.

Il ne porte pas non plus sur les matériaux nanométriques issus de processus techniques en tant que « produits secondaires » (poussières ultra-fines, suie, etc.), car ceux-ci ne sont pas produits comme des types de déchets séparés et ne sont pas éliminés à part.

Pour l'essentiel, les nanodéchets comprennent les catégories suivantes:

- a. déchets de nanomatériaux purs (nanoparticules ou nanobâtonnets NPR);
- b. objets souillés par des NPR et qui sont éliminés, par exemple récipients, chiffons ou équipements de protection jetables;
- c. suspensions liquides de NPR qui sont éliminées comme déchets;
- d. déchets de matériaux solides contenant des NPR pouvant être libérés par frottement, ou des nanostructures si faiblement liées à la surface qu'elles seront libérées ou lessivées lors de manipulations prévisibles (élimination incluse).

3.2. Nanodéchets spéciaux

Les prescriptions de la Confédération sur les mouvements des déchets (OMoD)⁷ définissent les déchets spéciaux comme suit: « Les déchets qui, pour être éliminés de manière respectueuse de l'environnement, requièrent, en raison de leur composition ou de leurs propriétés physico-chimiques ou biologiques, un ensemble de mesures techniques et organisationnelles particulières même en cas de mouvements à l'intérieur de la Suisse ».

⁷ Ordonnance du 22 juin 2005 sur les mouvements de déchets (OMoD, RS 814.610) et ordonnance du DETEC du 18 octobre 2005 concernant les listes pour les mouvements de déchets (LMD, RS 814.610.1) http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610.html
http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610_1.html

Dans le présent document de travail, les nanodéchets correspondant à ces critères (cf. chapitre 3.2) sont appelés nanodéchets spéciaux. La figure 2 présente une vue d'ensemble de la classification des nanodéchets.

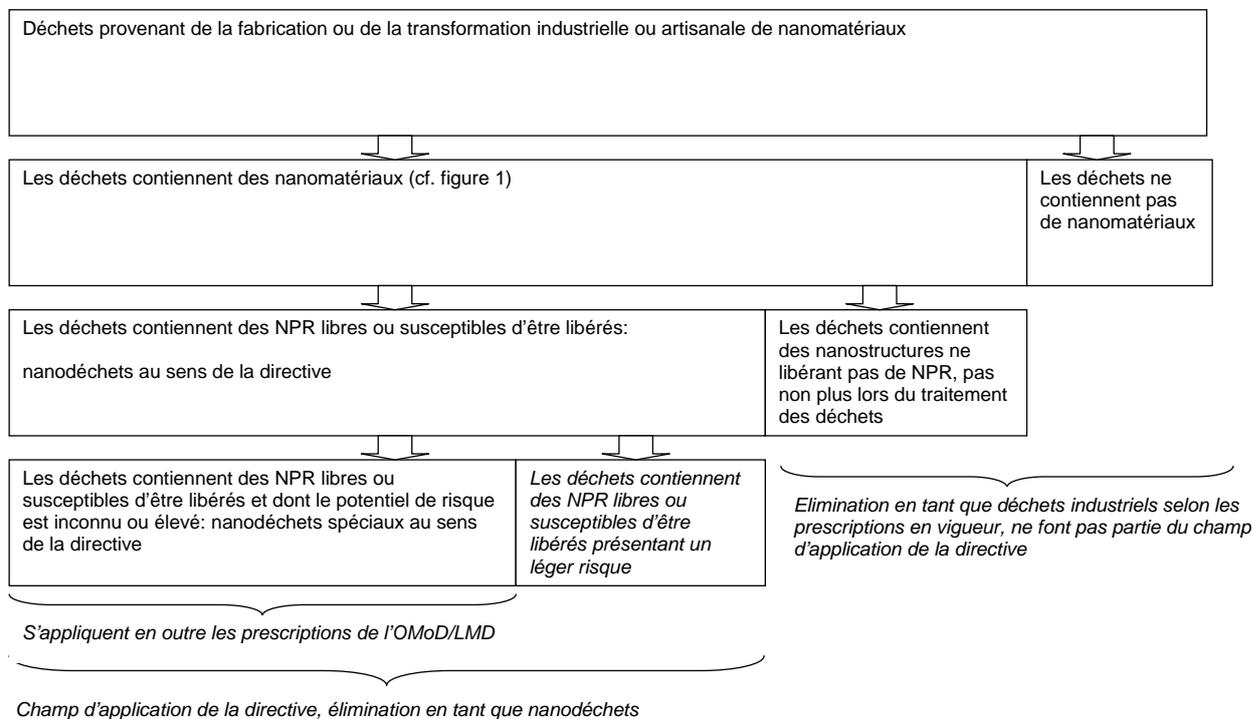


Figure 2 Champ d'application de la directive et classification des nanodéchets

Selon les prescriptions suisses⁸, les déchets spéciaux ne peuvent être remis qu'à des entreprises habilitées à les réceptionner (art. 4 OMoD). En outre, il n'est pas permis de les mélanger avec d'autres déchets (art. 5 OMoD). C'est pourquoi il est nécessaire de les soumettre à des contrôles appropriés avant de les éliminer avec les ordures ménagères ou les déchets industriels. Les déchets sont considérés comme déchets spéciaux si, en raison de leur quantité, de leurs propriétés ou de leur nature, ils peuvent constituer un danger pour la sécurité au travail, l'environnement ou la santé, ou pour la sécurité de l'exploitation des installations. Comme exemples classiques, on citera les boues contenant des métaux lourds provenant de l'industrie galvanique, les solvants et résidus de distillation de l'industrie chimique, les déchets de colorants et de vernis, les huiles usagées, les poussières de filtres provenant de l'incinération des déchets.

⁸ Ordonnance du 22 juin 2005 sur les mouvements de déchets (OMoD, RS 814.610) et ordonnance du DETEC du 18 octobre 2005 concernant les listes pour les mouvements de déchets (LMD, RS 814.610.1) http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610.html http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610_1.html

Les prescriptions de l'**ordonnance fédérale sur les mouvements de déchets (OMoD)** et celles de l'**ordonnance du DETEC concernant les listes pour les mouvements de déchets (LMD)**⁹ s'appliquent également aux nanodéchets classés comme déchets spéciaux.

Selon l'OMoD/LMD, les nanodéchets provenant de la fabrication ou de la transformation industrielle ou artisanale de nanomatériaux ne sont pas a priori des déchets spéciaux, sauf si l'un des deux critères ci-après est rempli. Ainsi, des nanodéchets contenant des nanoparticules ou des nanobâtonnets libres ou susceptibles d'être libérés, sont considérés comme des déchets spéciaux si,

- en raison de leur composition et de leurs propriétés chimiques, ils doivent être classés comme toxiques, dangereux ou nuisibles à l'environnement, ou si,
- en raison de leurs propriétés nanospécifiques, des effets sur la santé, la sécurité ou l'environnement ne peuvent pas être exclus ou si ceux-ci sont inconnus.

La grille de précaution (chapitre 2.3.) offre aux entreprises la possibilité de procéder à une première estimation quant à la nécessité d'agir en matière de nanodéchets lorsqu'aucune autre méthode ne permet de les classer comme déchets spéciaux. Elle ne livre pas une évaluation définitive au sens d'une évaluation de risques. La grille doit être remplie et évaluée spécifiquement pour l'élimination afin que les mesures à prendre en vue de l'élimination des déchets puissent être estimées. Les nanodéchets appartenant à la classe B selon la grille de précaution (« Des besoins en termes de précaution « nanospécifique » existent. »), doivent être déclarés comme étant des nanodéchets et éliminés selon les prescriptions correspondantes sauf si les soupçons de risque ont été infirmés par des évaluations complémentaires spécifiques. Cette manière de procéder pour décider si les nanodéchets sont des déchets spéciaux constitue une solution transitoire. Elle sera réexaminée lorsque les bases scientifiques seront mieux étayées.

La liste des déchets de la LMD ne comporte pas de codes spécifiques pour les nanodéchets. C'est pourquoi le groupe de travail propose d'attribuer l'un des codes généraux suivants aux nanodéchets issus de la fabrication et de la transformation industrielle ou artisanale de nanomatériaux synthétiques qui sont à classer comme déchets spéciaux, mais dont les propriétés ne correspondent à aucun code de la liste OMoD/LMD:

16 03 03 S Déchets d'origine minérale contenant des substances dangereuses;

16 03 05 S Déchets d'origine organique contenant des substances dangereuses.

La remise de déchets spéciaux en quantités supérieures à 50 kg doit être accompagnée d'un document de suivi (art. 6 OMoD). Dans tous les cas, même s'il s'agit de petites quantités ne nécessitant pas de document de suivi, il doit être garanti que le preneur dispose des informations nécessaires à une élimination sûre et respectueuse de l'environnement (p.ex. fiche de données de sécurité, informations au sens de la grille de précaution, etc.) afin qu'il puisse

⁹ Ordonnance du 22 juin 2005 sur les mouvements de déchets (OMoD, RS 814.610) et ordonnance du DETEC du 18 octobre 2005 concernant les listes pour les mouvements de déchets (LMD, RS 814.610.1) http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610.html
http://www.admin.ch/ch/f/rs/c814_610_1.html

prendre les mesures nécessaires lors de la manipulation des nanodéchets (art. 6, al. 3 OMoD).

Le détenteur de déchets spéciaux ne peut remettre ceux-ci à une entreprise d'élimination des déchets qu'avec une autorisation cantonale (art. 8 OMoD). L'autorisation doit comporter de manière explicite les conditions de la réception des nanodéchets spéciaux (voir les critères au chapitre 4.1.) (art. 10 OMoD). Les exportations de déchets spéciaux nécessitent une autorisation de l'OFEV; celle-ci n'est octroyée que s'il est garanti que l'élimination à l'étranger se fera selon les mêmes critères que ceux en vigueur en Suisse (art. 15 OMoD).

3.3. Principes généraux de l'élimination des nanodéchets

Objectif

L'élimination des nanodéchets doit être respectueuse de l'environnement (art. 30, al. 3 LPE).

Prétraitement des nanodéchets sur place

Les entreprises fabricant ou transformant des nanomatériaux doivent prendre des mesures visant à réduire la quantité de déchets. Les nanodéchets seront autant que possible traités sur place par des méthodes adaptées et dans des installations appropriées afin qu'ils perdent leur caractère nanoscopique (p.ex. dissolution de nanomatériaux métalliques dans des bains acides appropriés, frittage à haute température).

Gestion des déchets

Les entreprises fabricant ou transformant des nanomatériaux contenant des particules ou des bâtonnets (NPR) libres ou susceptibles d'être libérés doivent mettre en place une gestion des déchets garantissant que les déchets sont enregistrés, documentés, emballés et acheminés vers l'élimination avec toute la précaution voulue. Les étapes du processus générant les déchets et les mesures à prendre à l'intérieur de l'entreprise en matière de sécurité, de santé et de protection de l'environnement doivent être consignées et le respect des procédures doit être garanti. Les sources possibles de nanodéchets contenant des NPR libres ou susceptibles d'être libérés doivent être identifiées et les mesures de protection appropriées définies dans des manuels ou autres documents.

Réduction de l'exposition des collaborateurs et des émissions dans l'environnement

A chaque étape d'un processus utilisant des nanodéchets présentant un potentiel de risque important ou dont les effets sont inconnus, l'exposition des collaborateurs, la libération des nanomatériaux (en tant que poussières ou aérosols) et les émissions dans l'environnement doivent être minimisées au maximum. L'exposition est déterminée par la concentration des nano-objets dans l'air et la durée d'action. Le risque peut être réduit en évitant la formation de poussières ou d'aérosols et en veillant à de courtes durées d'exposition.

Les nanodéchets doivent autant que possible être conditionnés sous forme de dispersions, de pâtes, de granulés, de compounds, etc. et non sous forme pulvérulente. Le potentiel de risque peut ainsi souvent être réduit lors des manipulations ultérieures (transport, alimentation d'installations, élimination).

3.4. Mesures de précaution selon le principe TOP¹⁰ concernant la manipulation de nanodéchets

Les mesures de protection ci-après sont fondées sur les recommandations de la SUVA sur les nanoparticules et la santé au travail, sur les lignes directrices du BAUA/VCI pour les activités liées à des nanomatériaux aux postes de travail ainsi que sur divers rapports et recommandations issus du projet nanosafe (cf. Publications et Liens, chapitre 5).

Mesures aux postes de travail

Lors de la manipulation de nanodéchets, on appliquera les mesures ci-après correspondant aux recommandations provisoires de la SUVA sur les nanoparticules et la santé au travail.

Mesures de protection techniques

- Utiliser des appareils fermés.
- Eviter la production de poussières ou d'aérosols.
- Aspirer les poussières ou les aérosols directement à la source.
- Prévoir une purification de l'air vicié aspiré (filtre HEPA H14 en cas de refoulement de l'air dans le local de travail).
- Le cas échéant, séparer les locaux de travail et adapter la ventilation des locaux (légère dépression).
- Nettoyer uniquement par aspiration avec des appareils appropriés ou par voie humide, ne pas souffler.

- Utilisation de **nanoparticules inflammables**:
appliquer de plus les mesures de protection contre les explosions pour les poussières nanométriques en quantité explosible. L'énergie d'activation minimale des nanomatériaux combustibles peut être réduite! Les exigences en matière d'hygiène du travail devraient normalement limiter les risques d'explosions de poussières à l'intérieur des systèmes fermés.
- Utilisation de **nanoparticules réactives ou à effet catalytique**:
éviter au surplus tout contact avec des substances incompatibles.

Mesures de protection organisationnelles

- Minimiser la durée d'exposition.
- Minimiser le nombre de personnes exposées.
- Limiter l'accès.
- Informer le personnel sur les risques et sur les mesures de protection (consignes internes).

Mesures de protection individuelle (si la formation d'aérosols et/ou le contact avec la peau ne peuvent pas être évités au moyen de mesures techniques)

- Appareil de protection respiratoire avec un filtre de classe P3

¹⁰ Voir le glossaire en annexe

- Gants de protection (si les gants sont à usage unique, il est recommandé d'en mettre deux l'un sur l'autre)
- Lunettes de protection fermées
- Vêtements de protection avec capuche (non tissés)
- Instructions en matière de décontamination

3.5. Mesures en vue de l'élimination

Tous les objets d'équipement entrant en contact avec des NPR doivent être pris en compte. Ainsi, par exemple, les éponges ou les chiffons utilisés dans des opérations de nettoyage doivent être éliminés en tant que nanodéchets, tout comme les racloirs et spatules utilisés puis nettoyés avec des chiffons et des solvants. (Selon NanoSafe, Final Report 6.1.5, cf. Bibliographie)

Les nanodéchets considérés comme déchets spéciaux peuvent uniquement être repris par les fournisseurs dans le cadre de retours de marchandises ou acheminés vers les entreprises d'élimination des déchets disposant, comme l'exige l'OMoD, d'une autorisation cantonale correspondante (cf. chapitre 3.2.). (art. 4 en liaison avec art. 8 OMoD)

Les nanodéchets doivent être enregistrés, entreposés et documentés séparément. Il n'est pas permis de les mélanger à d'autres déchets de l'entreprise de fabrication ou de transformation (art. 5 OMoD).

Les nanodéchets doivent être emballés de manière à ce que, lors des manipulations et du transport, aucun NPR ne puisse être libéré. Sont recommandés des sacs en plastique double placés dans des caisses solides. Les sacs en plastique et les caisses doivent comporter les indications nécessaires aux entreprises de transport et d'élimination, en particulier l'indication qu'il s'agit de nanodéchets contenant des nanoparticules et des nanobâtonnets libres ou susceptibles d'être libérés.

Lors du transport de nanodéchets, les dispositions de l'ADR/SDR¹¹ doivent être respectées.

4. Méthodes d'élimination

En ce qui concerne les recommandations relatives aux processus d'élimination possibles pour les nanodéchets, le groupe de travail ne se fonde que sur des considérations de plausibilité techniques et scientifiques, aucune méthode d'élimination sûre et établie n'étant connue à ce jour pour ce type de déchets.

Les nanodéchets et les nanodéchets spéciaux doivent être éliminés de manière respectueuse de l'environnement. Les mesures à prendre lors de l'élimination doivent notamment tenir compte des caractéristiques matérielles et du potentiel de risques effectifs des déchets ainsi que des techniques les plus récentes. Ces mesures ne peuvent pas être définies de manière générale à l'avance.

Lors de la remise de nanodéchets contenant des NPR libres ou susceptibles d'être libérés, il doit être garanti que l'entreprise réceptrice dispose des informations nécessaires pour une

¹¹ Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR, RS 0.741.621); ordonnance du 29 novembre 2002 relative au transport des marchandises dangereuses par route (SDR, RS 741.621).

élimination sûre et respectueuse de l'environnement (p. ex. fiche de données de sécurité, informations selon la grille de précaution, documents de suivi dans le cas de nanodéchets spéciaux, art. 6 OMoD).

4.1. Conditionnement des nanodéchets

Les nanodéchets qui sont produits doivent être autant que possible conditionnés sur place ou, le cas échéant, dans l'entreprise d'élimination des déchets de manière à ce qu'ils se présentent sous forme de dispersions, de pâtes, de granulés, de compounds, etc. et non pas sous forme pulvérulente. Ainsi, la libération de NPR peut être réduite lors des traitements ultérieurs.

Les nanodéchets doivent être préparés de manière à éviter la libération de NPR lors de l'alimentation des installations de traitement des déchets (installations d'incinération, fours de cimenteries, traitements physico-chimiques).

4.2. Méthodes d'élimination

Principe

Les mesures à prendre en vue d'une élimination respectueuse de l'environnement au sens de l'art. 30, al. 3, LPE doivent être définies en fonction des propriétés des nanomatériaux afin de minimiser les émissions dans l'environnement lors du traitement et de garantir que les résidus ne présentent plus de NPR libres ou susceptibles d'être libérés. Toutes les prescriptions du droit environnemental doivent être respectées. Les déchets combustibles doivent être incinérés conformément à l'art. 11 OTD.

Stockage dans des décharges contrôlées

Les réglementations de l'OTD¹² sur le stockage définitif de déchets dans les décharges contrôlées ne prennent en compte aucune caractéristique nanospécifique des déchets. Est interdit le dépôt de déchets combustibles et donc également celui de nanodéchets organiques. En outre, il est interdit de stocker les déchets explosibles et les déchets infectieux, les sous-produits animaux ainsi que les déchets devant être traités conformément à la législation relative à la protection contre les radiations (art. 32, al. 2, OTD). On ne dispose d'aucune donnée sur le comportement des nanodéchets dans le corps de la décharge. Des études complémentaires devront montrer que, grâce à un conditionnement approprié ou au traitement des eaux de percolation, les NPR ne peuvent parvenir dans les cours d'eau. Il doit en outre être garanti, pour des raisons de protection de l'environnement et des travailleurs, qu'aucun NPR ne peut être libéré lors de l'enfouissement des déchets. Tant que des résultats sûrs n'ont pu être établis, il est recommandé aux cantons qui octroient des autorisations (selon l'OTD pour ce qui est de l'autorisation d'aménager ou d'exploiter une décharge contrôlée et selon l'OMoD pour ce qui est de l'autorisation de réceptionner des déchets spéciaux), et aux exploitants des décharges d'étudier les risques potentiels de manière approfondie.

¹² Ordonnance du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets (OTD, 814.600)

Elimination des nanodéchets dans des usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)

En Suisse, les usines d'incinération des ordures ménagères disposent de systèmes de purification des gaz modernes et efficaces, basés sur les techniques les plus récentes. Dans la situation actuelle, on peut admettre que les nanomatériaux arrivant dans les UIOM en petites quantités, par l'intermédiaire de biens de consommation courants collectés en tant que déchets urbains, sont brûlés dans les fours ou extraits des fumées et éliminés avec les poussières de filtres ou les résidus du lavage des fumées.

Il convient toutefois de ne pas éliminer de grandes quantités de nanodéchets ou de nanodéchets spéciaux d'origine industrielle ou artisanale dans les UIOM. A l'heure actuelle, on ne sait pas encore comment les NPR fortement concentrés se comportent dans la chambre de combustion et dans le système de purification des fumées des UIOM. Des études complémentaires devront montrer si des NPR remis aux UIOM à des concentrations élevées peuvent être émis dans l'environnement ou peuvent impliquer des risques lors de l'élimination de scories ou de résidus de filtres. Tant que des résultats sûrs n'ont pu être établis, il est recommandé aux cantons qui octroient des autorisations (selon l'OMoD) ainsi qu'aux exploitants des décharges d'apprécier les risques potentiels de manière approfondie.

Autres méthodes d'élimination des nanodéchets

A l'heure actuelle, on ne connaît aucun procédé d'élimination des nanodéchets sûr et établi. Sur la base de considérations d'ordre technique et scientifique, on peut admettre que les méthodes d'élimination ci-après entrent en ligne de compte pour les différentes classes de nanodéchets. Dans la plupart des cas, des études et des tests complémentaires sont cependant encore nécessaires:

Composés de carbone (p. ex. NTC, fullerènes):

Combustion dans des installations d'incinération à haute température appropriées, dans certains cas également dans des fours à ciment (après conditionnement approprié, p.ex. dispersion dans des huiles usagées et introduction directe dans la flamme primaire). La stabilité thermique de certaines structures synthétiques carbonés (NTC) peut poser problème.

Oxydes (oxydes métalliques et silicates):

Lors du frittage à haute température, des agrégats n'ayant plus de caractère nanospécifique peuvent se former.

Métaux

Traitement thermique aux fins d'oxydation ou de frittage.

Traitement chimique (dissolution dans des acides appropriés, traitement en tant que solution métallique acide).

Cas particuliers

Dans le cas de NPR comme les semi-conducteurs (quantum dots), les polymères organiques et les NPR comportant des substances biologiques incluses ou adsorbées (micelles, liposomes, particules de protéines présentant un potentiel de risque élevé), l'élimination dans une installation d'incinération des déchets à haute température appropriée peut se révéler nécessaire.

Recyclage de nanomatériaux

Afin de ménager les ressources, on saluera les efforts de recyclage et de réutilisation des nanomatériaux. A l'heure actuelle, on ne connaît pas de méthodes standards ni de procédés commerciaux.

4.3. Lacunes dans les connaissances et besoins de recherche

A l'heure actuelle, les connaissances sur les questions d'élimination des nanodéchets sont très lacunaires, notamment dans les domaines suivants:

- Nature et quantités de nanomatériaux présents dans des lignes de production et des flux de déchets déterminés (analyse de flux de matériaux)
- Techniques d'élimination adaptées à certains nanodéchets
- Risque de libération de NPR à partir de composites lors du traitement des déchets (p. ex. lors du broyage)
- Les nanotubes de carbone et les autres structures carbonées sont-ils détruits lors de l'incinération des déchets?
- Comment peut-on, d'un point de vue technique, économique et écologique, judicieusement recycler certains nanomatériaux, notamment ceux contenant des NPR libres ou susceptibles d'être libérés ?

4.4. Exigences posées aux entreprises qui éliminent des nanodéchets spéciaux

Les entreprises d'élimination de déchets réceptionnant des nanodéchets spéciaux en vue de leur élimination doivent disposer à cet effet d'une autorisation cantonale (art. 8 OMoD). L'autorisation ne sera octroyée que s'il est garanti que l'entreprise respecte les conditions mentionnées ci-dessous (art. 10 OMoD). En l'état actuel des connaissances, il convient de recommander aux autorités octroyant l'autorisation de contacter les services correspondants de la SUVA afin que la conformité des postes de travail et la réalisation d'éventuels examens préventifs en médecine du travail soient garanties. Les exigences ci-après, proposées par le groupe de travail, concernent la protection de l'environnement, la sécurité et la santé.

- Les nanodéchets spéciaux doivent être réceptionnés dans un autre local que les autres déchets et enregistrés, préparés et traités dans l'entreprise dans une ligne spécifique avant d'être, le cas échéant, transmis.
- L'entreprise doit disposer d'une stratégie de traitement des nanodéchets et d'un système de gestion correspondant afin d'assurer une élimination sûre et respectueuse de l'environnement, cahiers des charges et règles internes à l'appui; le personnel sera dûment formé.
- Seuls des collaborateurs ayant suivi une formation spécifique et travaillant si possible en petite équipe endosseront la responsabilité de réceptionner et d'éliminer les nanodéchets spéciaux.

- Il n'est pas autorisé de mélanger des nanodéchets spéciaux à d'autres déchets spéciaux sauf si, dans le cadre du processus d'élimination, un traitement spécifique nécessite l'utilisation d'autres déchets (p.ex. suspension dans des huiles usagées avant la combustion dans une installation d'incinération à haute température).
- Les postes de travail auxquels on manipule des nanodéchets spéciaux doivent être équipés de manière à empêcher, autant que possible, une exposition du personnel aux poussières ainsi que les émissions de poussières.
- Les collaborateurs doivent disposer d'un équipement personnel de protection et l'utiliser. Celui-ci doit être contrôlé régulièrement et entretenu, voire remplacé.
- Mesure régulière des concentrations en nanoparticules dans l'air ambiant durant les heures de travail et les heures de fermeture.
- Le comportement en cas d'accident doit être préparé et exercé. Les services d'intervention compétents doivent être informés de la présence de nanodéchets afin qu'ils puissent intervenir de la manière la plus appropriée (p. ex. mousse au lieu de l'eau à jet plein).

4.5. Questions spécifiques destinées aux participants du test pratique

Il est primordial d'associer à cette démarche les entreprises et les organisations confrontées journallement à la rapide évolution des nanotechnologies, raison pour laquelle la présente version préliminaire est soumise à un test pratique devant notamment fournir des réponses aux questions suivantes:

- Types et quantités de déchets dans l'entreprise ?
- Une enquête/analyse globale a-t-elle été effectuée au sujet des nanodéchets ?
- Elimination actuelle des nanodéchets et ressources utilisées à cet effet ?
- Du point de vue des entreprises et des organisations, les questions essentielles de la gestion des déchets sont-elles abordées dans le présent document ?
- Des lacunes dans les connaissances abordées dans le présent document peuvent-elles être comblées grâce aux expériences des entreprises et des organisations ?
- Le document contient-il des données qui, du point de vue des entreprises et organisations concernées, doivent être considérées comme erronées ?
- Dans quels domaines les entreprises et les organisations ont-elles besoin d'informations supplémentaires ?
- A-t-on déjà utilisé certaines méthodes d'élimination ou de recyclage des nanomatériaux ?

5. Annexes

5.1. Glossaire

BAUA	Deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, http://www.baua.de/cln_135/de/Startseite.html
Boîte quantique	Cf. « quantum dots »
CCE	Conférence Suisse des chefs des services et offices cantonaux de protection de l'environnement; http://www.kvu.ch/
Cérium	Élément chimique, métal des terres rares, numéro atomique 58, symbole Ce
Compounds	Mélanges de corps purs de base auxquels ont été incorporés des matières de charge, des agents renforçants ou autres additifs afin d'empêcher que les composants ne se séparent.
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (Ministère suisse de l'environnement)
Exposition	Exprime le degré d'exposition d'un organisme à un agent actif; dépend entre autre de la concentration, de la durée et de l'efficacité de la substance.
Frittage	Traitement thermique par lequel les grains d'un mélange sont soudés en une masse solide par chauffage à une température inférieure au point de fusion
Fullerènes	Molécules sphériques composées d'atomes de carbone (p. ex. C ₆₀) constituant une variété (allotropique) de l'élément carbone (à côté du diamant et du graphite)
LMD	Ordonnance (suisse) concernant les listes pour les mouvements de déchets (liste des déchets)
Nano	Préfixe indiquant le milliardième (10 ⁻⁹)
NanoSafe	Projet intégré (économie et universités), soutenu par l'UE, pour une fabrication et une application sûres des nanomatériaux.
Noir de carbone	Suie, carbone nanoscopique amorphe provenant de combustions incomplètes
NPR	Nano Particles and Rods, nanoparticules et nanobâtonnets
NTC	Nanotubes de carbone, structures carbonées de synthèse

OFEV	Office fédéral de l'environnement, un office du DETEC; http://www.bafu.admin.ch/index.html?lang=fr
OFSP	Office fédéral de la santé publique, un office du Département fédéral de l'intérieur (Ministère de l'intérieur); http://www.bag.admin.ch/index.html?lang=fr
OMoD	Ordonnance (suisse) sur les mouvements de déchets
OTD	Ordonnance (suisse) sur le traitement des déchets
Quantum dots	« Points quantiques » aussi appelés « boîtes quantiques » en français; structures semi-conductrices nanoscopiques
SUVA	Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents; http://www.suva.ch/
TOP	Principe TOP, principe de base de la sécurité au travail; priorité des mesures: mesures de protection Techniques, Organisationnelles et Personnelles
UIOM	Usine d'incinération des ordures ménagères
VCI	Verband der Chemischen Industrie Deutschland

5.2. Publications

Conseil fédéral suisse: Plan d'action Nanomatériaux synthétiques, Berne, 2008 <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00574/index.html?lang=fr>

Office fédéral de l'environnement OFEV, Office fédéral de la santé publique OFSP: Synthetische Nanomaterialien -Risikobeurteilung und Risikomanagement. Grundlagenbericht zum Aktionsplan, Berne, 2007; www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html

OFEV/OFSP, Grille de précaution pour les nanomatériaux synthétiques et Instructions concernant l'usage d'une grille de précaution, Berne, 2008. <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=fr>

British Standards BSi: Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials, PD6699-2, London 2007; <http://shop.bsigroup.com/en/Browse-By-Subject/Nanotechnology/Guidance-for-nanotechnology/> (téléchargement gratuit, enregistrement nécessaire)

BAuA/VCI Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz, Frankfurt 2007; http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf

The Royal Society & The Royal Academy of Engineering: Nanoscience and nanotechnologies, London, July 2004 <http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>

ISO/TC 229: ISO/TS27687, Nanotechnologies – terminology and definitions for nanoparticles, Geneva, 2007 (téléchargement au prix de CHF 180.-) http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983&published=on&includesc=true

ISO/TC229: ISO/TR 2885, Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies, Geneva 2008 (téléchargement au prix de CHF 58.-) http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983&published=on&includesc=true

Nano-inventaire: nanoparticules aux postes de travail en Suisse; Kaspar Schmid, Brigitta Danuser et Michael Riediker, Institut universitaire romand de Santé au travail IST, Lausanne, 2009
http://www.suva.ch/ist_nanoinventory.pdf (en anglais; résumés en allemand et en français sur la page Internet de la SUVA relative à la nanotechnologie)

5.3. Liens

SUVA Pro, Nanoparticules et santé au travail
http://www.suva.ch/fr/suvapro/branchenfachthemen/nanopartikel_an_arbeitsplaetzen.htm

SUVA; Nanotechnologie:
<http://www.suva.ch/home/unternehmen/spezialthema/nanotechnologie.htm> (Cette adresse de la SUVA conduit entre autres au document « Nano-inventaire » [en anglais] et aux résumés correspondants en allemand et en français)

Nanotechnologie sur le site Internet de l'OFSP:
<http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/index.html?lang=fr>

Nanotechnologie sur le site Internet de l'OFEV:
<http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01393/index.html?lang=fr>

Projet Nanosafe:
<http://www.nanosafe.org/scripts/home/publigen/content/templates/show.asp?L=EN&P=55&vTicker=alleza>

5.4. Etudes de cas

(Il est prévu d'introduire, dans la version finale de l'aide à l'exécution projetée, un ou deux exemples de cas concrets résultant des expériences et des retours d'informations liés aux tests pratiques. Toute proposition est bienvenue.)