



Compte-rendu du débat INERIS – Société civile

Nanomatériaux : métrologie et caractérisation tout au long du cycle de vie – Focus sur l'étape clé de la fin de vie

13 octobre 2015

Sommaire

Liste des participants	3
Contexte	4
Points clés de la présentation	5
Éléments complémentaires apportés lors de la discussion	8
Documents	9
INERIS en bref	10
Contacts INERIS	10

Liste des participants

Participants

Prénom	Nom	Organisme
Philippe	Bourlitzio	Avicenn
Olivier	Cahen	Cnanos
Guillaume	Flament	Nanotechia
Francis	Glémet	CNMSE
Gérald	Hayotte	CFDT
Danielle	Lanquetuit	Avicenn
Pierre	Laroche	CGT
Jean-Yves	Leber	ESF
Philippe	Rolland	ATC
Charlotte	Lepitre	FNE

INERIS

Prénom	Nom	Organisme
Christophe	Didier	Directeur scientifique adjoint
Céline	Boudet	Responsable ouverture et dialogue avec la société
Olivier	Le Bihan	Ingénieur à la Direction des risques chroniques
Ginette	Vastel	Directrice de la Communication
Emeric	Frejafon	Responsable Task Force Nanos
Benoît	Schnuriger	Ingénieur à la Direction des risques chroniques
Philippe	Hubert	Directeur des risques chroniques

Contexte

Les travaux de l'INERIS sur la nanosécurité

Acteur du dispositif Nano-INNOV présenté en 2009 par le Ministère de la Recherche pour mettre en place une stratégie d'innovation dans les nanotechnologies, l'INERIS mène des travaux sur la nanosécurité. Ses équipes pluridisciplinaires étudient les risques liés aux nanomatériaux, pour la santé humaine (toxicologie), la préservation de l'environnement (écotoxicologie) et la sécurité des installations industrielles (sécurité des procédés – incendie, explosion). L'Institut développe également des outils de mesure et de caractérisation des nanoparticules, notamment dans l'air ambiant. Enfin, son expertise en certification a conduit l'INERIS à s'impliquer dans l'évaluation de la sécurité de laboratoires et d'unités de production.

L'INERIS s'est doté, avec le soutien financier du Conseil Régional de Picardie, d'une plateforme expérimentale unique en France, composée de laboratoires et de locaux à empoussièremment de nanoparticules contrôlé. Opérationnelle en 2015, cette plate-forme sécurisée est dédiée à la métrologie des nanomatériaux et à la caractérisation des potentiels de danger de ces substances, en particulier dans le cadre de la sécurité des procédés industriels. Elle doit permettre, entre autres, d'étudier :

- ✚ le développement d'outils de mesure et de caractérisation adaptés aux nanomatériaux ;
- ✚ les paramètres physiques et l'analyse chimique des nanoparticules à des fins en toxicologie et en comportement physique ;
- ✚ les paramètres de sécurité (inflammabilité, explosivité...) des nanoparticules ;
- ✚ le potentiel d'émission de nanoparticules dans l'air ambiant par des matériaux et produits tout au long de leur cycle de vie (fabrication, utilisation, fin de vie) ;
- ✚ le comportement des nanomatériaux pulvérulents dans l'air ambiant (potentiel de dispersion...) ;
- ✚ la qualification et la certification des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) de protection des opérateurs qui interviennent dans les laboratoires et les milieux industriels utilisant des nanoparticules.

Focus sur le projet NanoFlueGas : Caractérisation et réduction des émissions particulaires issues de l'incinération des déchets contenant des nanomatériaux manufacturés

L'INERIS, les Mines de Nantes et Trédi, filiale du groupe Sécché Environnement ont conduit, avec le soutien de l'Ademe, le projet NanoFlueGas (2011-2014), qui constitue l'une des premières études exploratoires sur la sécurité des nanomatériaux en fin de vie, notamment dans le cadre de la filière incinération. L'objectif est de mieux appréhender, sur la base de l'étude de trois déchets, les mécanismes d'émission de nano-charges dans le processus de combustion. Par ailleurs, le projet se propose d'évaluer l'efficacité, vis-à-vis des nanomatériaux, des systèmes d'épuration des effluents gazeux utilisés dans les installations modernes d'incinération de déchets.

Ces travaux exploratoires montrent, d'une part, que la nanostructure de certains déchets peut être transférée dans les émissions brutes en sortie de four qui sont générées par le processus de combustion. D'autre part, les premiers résultats indiquent que les systèmes d'épuration de type filtre à manche font preuve d'une bonne efficacité pour traiter ces émissions contenant des nanoparticules.

Ces résultats sur les mécanismes de transfert permettent de dégager plusieurs axes de recherche futurs :

- ✚ continuer à explorer la thématique incinération en approfondissant les résultats obtenus et en élargissant les travaux à une gamme plus large de déchets ;
- ✚ poursuivre les développements analytiques pour la caractérisation des déchets et des résidus de combustion ;
- ✚ explorer la question de la gestion des résidus solides que sont les mâchefers, ainsi que la gestion des solides résiduels issus de l'épuration des fumées ;
- ✚ étudier les formulations successives d'un produit dès sa conception, dans la perspective de modifier la part nano-structurée des effluents issus du traitement du produit devenu déchet.

Points clés de la présentation

Après une introduction générale sur la caractérisation des nanomatériaux, le projet NanoFlueGas a été présenté.

La première étape du projet a consisté en l'identification des gisements et la sélection de déchets représentatifs pour mener l'expérimentation.



2. Gisements et déchets

Première étape du Projet : l'identification des gisements et la sélection de déchets représentatifs, pour mener l'expérimentation

A la recherche de **déchets de nanomatériaux manufacturés**, c'est-à-dire de substances fabriquées intentionnellement pour avoir de nouvelles propriétés, et ayant une ou plusieurs dimensions caractéristiques externes dans le domaine du nanomètre (1-100 nm).

Etude des gisements	Production annuelle nationale de nanoparticules (toutes applications) > 1,2 Mt : 40% sous forme de silice (peintures, détergence, cosmétique...), 39% sous forme d'alumine (cosmétique, catalyse, vernis...), 20% sous forme de noir de carbone (composants électroniques, pneus, encres équipements sportifs...), 1% sous forme de TiO ₂ (peintures, crèmes solaires, détergents...).
Sélection et Echantillonnage	Trois types de Déchets Dangereux (issus des Ménages et Artisans – DDMA– et des Activités Economiques –DDAE–, flux > 50 t/an) sous trois formes physiques différentes :

- un résidu de carbone (poudre)
- un résidu organo-silicé (polymère)
- un résidu de peinture en phase aqueuse (liquide)

Présentation NERIS – 21/09/2014



Le développement et le couplage innovant d'outils de caractérisation (granulométrie, morphologie et chimie) a permis de confirmer la présence (suspectée) de nano-charges dans les trois types de déchets réels sélectionnés, mais aussi de les qualifier en tant que combustibles.

Deux dispositifs expérimentaux instrumentés ont été développés pour approcher les conditions et bonnes pratiques mises en œuvre dans l'industrie de l'incinération.

La deuxième étape a consisté à étudier le comportement dans le four des déchets ainsi que les aérosols émis. Pour cela, un pilote d'incinération à échelle réduite a été réalisé dans un laboratoire nano-sécurisé.

3. Comportement dans le four, aérosols émis

Challenges à relever



11

- ☞ Réalisation d'un **pilote d'incinération** à échelle réduite dans un laboratoire **nanosécurisé**
- ☞ Conditions de fonctionnement réalistes ⇔ **cahier des charges Trédi**
 - Température
 - Turbulence
 - Oxygénation
 - Temps de résidence
- ☞ **Prélèvement et mesurage à chaud** en temps réel des fumées : aérosol et gaz de combustion
- ☞ **Prélèvement et analyse** différée par microscopie électronique



Réhabilitation NERIS – 21/03/2014



Les résultats pour les trois types de déchets sont présentés dans les dispositifs suivantes.

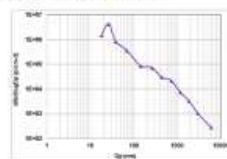
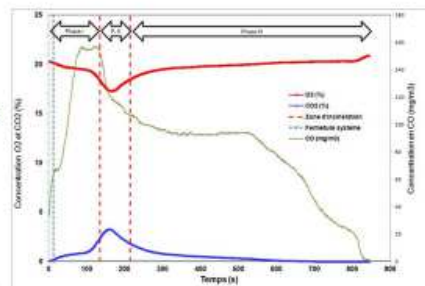
3. Comportement dans le four, aérosols émis

Poudre de Carbone



13

- Composition du déchet
 - > 98% de carbone
- Comportement : combustion complète
 - résidu (« mâchefers ») ~0
 - CO en faible niveau en marche normale
- Aérosol
 - Moins de 10% de la matière
 - Dominé par les particules < 100 nm



Réhabilitation NERIS – 21/03/2014



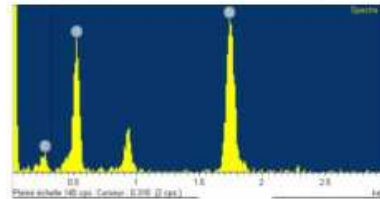
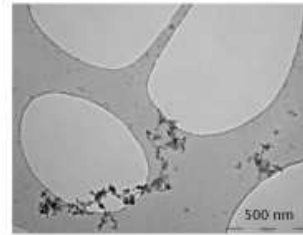
3. Comportement dans le four, aérosols émis

Déchets de peinture



14

- Composition du déchet
 - nano-charge de silice SiO_2
 - % minoritaire
- Comportement
 - Inflammation immédiate (COV) malgré matrice aqueuse
 - résidus (« mâchefers »)
- Emissions
 - Aérosol dominé par les particules < 100 nm
 - majoritairement : nano-silice SiO_2



Présentation AERIS - 21/03/2014



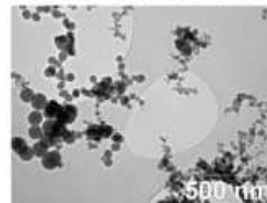
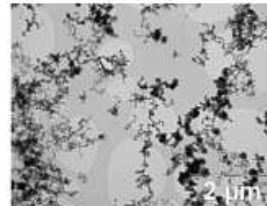
3. Comportement dans le four, aérosols émis

Déchets de polymère



15

- Composition du déchet
 - nano-charge de silice SiO_2 , minoritaire
 - matrice : contient du silicium
- Comportement
 - démarrage rapide de la combustion (COV)
 - résidus (« mâchefers »)
- Emissions
 - Aérosol concentré
 - Dominé par les particules < 100 nm
 - majoritairement : nano-silice amorphe
 - 2 nano-silices :
 - Issue de la nano-charge
 - ou issue de la transformation du Si de la matrice



Présentation AERIS - 21/03/2014



La troisième étape a consisté à évaluer l'efficacité des lignes de traitement des fumées vis-à-vis des aérosols émis lors de l'incinération de déchets contenant des nanomatériaux. Cette étape a été également réalisée en laboratoire nanosécurisé sur la base d'un pilote de traitement à échelle réduite. Le diamètre médian en nombre des particules générées est de 70 nm.



Présentation INERIS - 21/05/2014



L'efficacité totale de rétention ainsi que l'efficacité fractionnelle de rétention sont supérieures à 96% et restent stables dans le temps au cours du colmatage et quelle que soit la fraction granulométrique.

Eléments de discussion

Le registre RNano n'étant pas opérationnel au moment du projet et ne portant que sur certains paramètres, l'identification des gisements de déchets n'a pas pu se faire par ce biais.

La discussion porte dans un premier temps sur les suites à donner au projet car la variabilité des déchets ne se limite pas à trois déchets types.

L'approche doit être systématisée et doit intégrer l'étude des résidus car un produit nano-structuré peut être détruit pendant l'incinération ou transféré vers les aérosols ou encore vers les résidus dont la gestion deviendrait problématique. Si du « tout venant » arrive sur une usine d'incinération, on aura les 3 scénarios en permanence.

Il faudra également dans le futur travailler sur l'optimisation des paramètres (valeur avec le meilleur rendement environnemental tenant compte de la diversité des déchets).

On peut identifier dans la fraction lixiviable la part de nanos issue d'un produit. Par exemple, des lixiviats ont été fabriqués à partir de produits cosmétiques et le transfert des nanos dans l'eau a été étudié. Dans les eaux qui finissent en station, plusieurs études rapportent des augmentations titane, zinc, argent sous forme nano. Il y a une étude en cours sur les boues de STEP. La mobilité des nanos titane et fer est par ailleurs très faible : il y a peu de transfert dans les sols et les nappes. Des études sont en cours avec le CEREGE sur le site d'Ardevie.

L'INERIS travaille aussi sur les enjeux de la surveillance environnementale autour d'unités industrielles mettant en œuvre des nanos qui met en œuvre des moyens métrologiques lourds.

Dans un second temps, les travaux que l'INERIS a publié sur l'abrasion et le vieillissement sont cités par les associations car ils sont parmi les seuls à démontrer que les matrices recouvrant les nanos sur certains produits de consommation afin d'éviter leur relargage finissent parfois et sous certaines conditions à perdre de leur efficacité. L'éco-conception reste toutefois une piste d'intérêt majeur, même si des questions sont soulevées sur la durée de vie des encapsulations. Il pourrait être intéressant de faire des analyses coût-bénéfice avec d'autres types de traitement.

Il existe donc de nombreuses sources, voies et modalités d'exposition de l'homme aux nanos. Aussi, dans un troisième temps, les études toxicologiques sont abordées, en particulier celles portant sur le comportement des nanos une fois dans le corps humain. Certaines commencent à montrer que les nanos passent les barrières biologiques comme l'intestin. Les publications devraient commencer à sortir en 2016 et permettre à terme de fixer des doses maximales autorisées.

Il faut toutefois rester prudents car le 1^{er} enjeu reste l'identification du « nano-objet » : les outils ont bien progressé, mais la caractérisation n'est pas si simple. Il faudra ensuite être capable de mesurer la dose à l'organe cible puis définir des marqueurs d'effet et enfin comprendre les mécanismes qui relient la dose à l'effet.

Documents

- Fiche ONG transmise par e-mail avant la réunion : Nanomatériaux : métrologie et caractérisation tout au long du cycle de vie – Focus sur l'étape clé de la fin de vie, disponible sous : <http://www.ineris.fr/fr/propos-de-lineris/espace-ong/d%C3%A9bats>
- Le dossier de presse du projet NanoFlueGas : <http://www.ineris.fr/centredoc/dp-nanofluegas-1427985077.pdf>

INERIS en bref

Domaines d'expertise de l'INERIS :

RISQUES CHRONIQUES

Évaluation de la toxicité et de l'écotoxicité des substances chimiques. Modélisation et surveillance des atteintes à l'homme et à l'environnement générées par les pollutions, les champs électromagnétiques et dues aux installations et aux activités humaines. Réduction de la pollution des milieux ambiants et sols pollués.

RISQUES ACCIDENTELS

Évaluation des risques (incendie, explosion, rejets toxiques, foudre...) liés aux installations industrielles, aux procédés, aux produits, ainsi qu'aux infrastructures et systèmes de transports (tunnels, ports...). Maîtrise des risques par les dispositions technologiques et organisationnelles. Appui technique dans la mise en œuvre des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT).

RISQUES DU SOL ET DU SOUS-SOL

Évaluation et prévention des risques de mouvement de terrain liés aux anciennes exploitations (mines ou carrières), aux stockages souterrains ou à certains sites naturels (versants rocheux, talus, falaises...). Surveillance et auscultation des massifs rocheux ou des ouvrages. Évaluation des risques liés aux eaux souterraines et aux émanations gazeuses du sol.

SÉCURITÉ DES ÉQUIPEMENTS ET DES PRODUITS

Connaissance et classification des produits énergétiques et autres produits dangereux. Fiabilité des dispositifs technologiques de sécurité. Évaluation de la conformité réglementaire et normative des systèmes, matériels et produits dont les produits explosifs et pyrotechniques.

CONSEIL EN MANAGEMENT DES RISQUES

Conseil et accompagnement dans la mise en place de systèmes de management Hygiène, Santé, Sécurité, Environnement (HSSE). Aide à l'intégration des systèmes de management QHSE. Développement d'outils de diagnostic et analyse des causes humaines et organisationnelles après un accident. Suivi et diagnostic réglementaires.

Portail INERIS : www.ineris.fr

Contacts INERIS

Ginette Vastel, Directrice de la communication

ginette.vastel@ineris.fr / 03 44 55 66 08

Céline Boudet, Responsable ouverture et dialogue avec la société

celine.boudet@ineris.fr / 03 44 55 65 95