

Anticiper les émissions accidentelles et chroniques de nanomatériaux manufacturés et leur devenir dans l'environnement : le projet NanoFASE

Contributeurs

Bruno DEBRAY,

Jean-Marc
LACOME,

Olivier
AGUERRE-CHARIOL,
Isaline FRABOULET,

Alexis VIGNES,

Benjamin
TRUCHOT

/

Collaborateurs

Eric CLIMENT
et Pascal FEDE,
(Institut
de mécanique des
fluides
de Toulouse)

Les nanomatériaux sont des matériaux composés de nano-objets (nanoparticules) de dimension nanométrique (inférieure à 100 nm). Ils peuvent être libres, agrégés, agglomérés, liés à une matrice ou incorporés dans un liquide. Au cours de leur cycle de vie, les nanomatériaux sont susceptibles de relarguer des nano-objets suivant des mécanismes très variés (Figure 1).

Dans le cadre du projet européen NanoFASE (<http://nanofase.eu/>), l'Ineris s'est intéressé aux scénarios d'émission chronique et accidentelle au cours des premières phases du cycle de vie, à savoir la synthèse des nanoparticules et leur incorporation dans des matériaux [1]. Au cours de ces étapes, les nanoparticules existent généralement sous forme de poudre, forme la plus émissive. C'est durant ces étapes que les flux d'émission localisés sont potentiellement les plus importants et susceptibles de conduire localement aux concentrations les plus élevées dans l'air et les milieux. D'un point de vue environnemental, il est donc essentiel de pouvoir qualifier et quantifier ces émissions. Les résultats obtenus par d'autres partenaires [2] tendent toutefois à montrer que la contribution des émissions au cours des premières étapes du cycle de vie ne représente qu'une très faible part due au flux global de nanomatériaux dans l'environnement, qui sera principalement issu des émissions diffuses au cours des étapes d'utilisation des matériaux et pendant leur fin de vie.

Un premier inventaire des procédés de synthèse de nanoparticules a été effectué, ainsi qu'une analyse générique des risques sur des configurations typiques de procédés de production de nanoparticules courantes : dioxyde de titane, noir de carbone et silice nanométrique. Il en ressort que les risques d'émission accidentelle sont principalement concentrés sur les phases de transfert et manipulation interne qui suivent la synthèse des particules et sont relativement similaires pour ces trois types de nanomatériaux. Parmi les scénarios les plus probables figure la fuite de canalisation de transport. En particulier, le cas d'un transport pneumatique conduit potentiellement aux conséquences les plus importantes en termes

de quantité de matière rejetée et de zone impactée par les retombées. Ce scénario s'est déjà produit sur un site industriel mettant en œuvre du noir de carbone, conduisant à des retombées à plusieurs kilomètres autour du site (ARIA 43049).

Dans le cadre d'une évaluation des risques associés aux activités de production et de transformation de nanomatériaux, il serait donc utile, pour un tel scénario, de disposer de modèles permettant d'évaluer les quantités rejetées, les concentrations et la distribution granulométrique des particules en fonction de la distance depuis le point d'émission. Une première étude bibliographique [3] a montré qu'il n'existait pas de modèle adapté permettant de prendre en compte les phénomènes d'agglomération au cours des premiers instants de la dispersion, en aval de la brèche.

Travaux

L'Ineris a développé, dans le cadre de la thèse de doctorat de Hong Duc Le [4], un modèle spécifique en utilisant l'approche eulérienne-lagrangienne du code CFD¹ Code_saturne. Ce travail visait à simuler les transformations des nanoparticules et leurs évolutions spatio-temporelles. Ces particules sont soumises à de très nombreuses forces et phénomènes, notamment dans le champ proche d'un rejet accidentel. Les travaux ont porté sur les phénomènes jugés prépondérants au regard du scénario prioritaire de fuite sur une canalisation de transport et sur leur étude de sensibilité. Ils ont abouti à la simulation de formes complexes (non sphériques) d'agglomérats de nanoparticules par un modèle fractal afin d'appréhender de manière réaliste les forces de traînée auxquelles ces agglomérats sont soumis dans une hypothèse d'écoulement turbulent. Cette simulation a également permis d'étudier la fragmentation des agglomérats dès lors que la vitesse de rejet est élevée. Un nouveau modèle a été mis au point [4] : il simule la probabilité de collision des agglomérats, ce qui permet d'appréhender leur interaction (agglomération, fragmentation, rebond...). Les développements, pour certaines parties du modèle, ont été validés par les résultats d'expérimentations

disponibles. Pour d'autres, du fait de l'absence de résultats expérimentaux, la cohérence scientifique a été vérifiée par des comparaisons avec des approches théoriques.

Le modèle développé permet de reconstituer l'évolution des concentrations et leur granulométrie dans le cadre de scénarios de rejets accidentels massifs (WP4) ou de scénarios d'émissions chroniques.

En effet, le modèle peut être couplé à des outils de dispersion atmosphérique plus conventionnels pour évaluer la distribution des concentrations de nanoparticules et leurs devenir et retombées dans le champ lointain (WP6).

Dans le cas d'émissions chroniques, il s'agit des gaz de process et des débits de ventilations des locaux de production, qui sont filtrés avant rejet par les cheminées du site. Les quantités émises sont très dépendantes du procédé de production mais aussi de l'efficacité des dispositifs de filtration et de traitement d'air mis en place. Les nanoparticules subissent aussi des transformations au cours des étapes de traitement d'air qui, à ce stade, ne sont pas bien connues et documentées [5].

L'Ineris a développé une méthodologie faisant appel à une gamme très variée d'instruments (prélèvements sur filtre, ELPI, MPS, impacteurs, nanobadge...) afin de mesurer et caractériser les émissions d'installations industrielles et de détecter et mesurer la présence de nanoparticules dans l'air ambiant autour de ces installations. Cette méthode permet aussi de quantifier et caractériser les retombées au sol et dans les eaux de surface. Les concentrations mesurées dans les milieux environnementaux autour du site peuvent être comparées aux prédictions obtenues par la modélisation.

Application

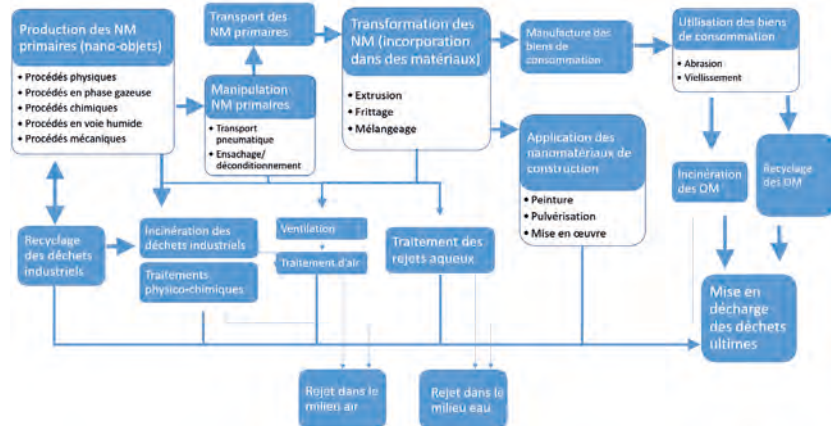
Cette méthodologie a été appliquée sur deux sites industriels produisant et mettant en œuvre des nanomatériaux, en France et au Danemark. Les résultats de ces campagnes sont en cours d'exploitation. Les premières valeurs obtenues sont très basses, notamment au regard des nombreux autres types de particules présents dans l'environnement, d'origine naturelle ou anthropique. D'un point de vue qualitatif, ces campagnes de mesure ont permis de montrer que les particules évoluaient très peu après leur émission.

¹ Computational Fluid Dynamics.

ABSTRACT /

The development of the nanomaterials industry leads to putting an increasing number of manufactured nanomaterials on the market. In order to better anticipate future risks on the environment, the European Union is financing the project NanoFASE (<http://nanofase.eu/>) relative to the study of the environmental fate of nanomaterials in the environment. The project aims at developing an integrated exposure framework that allows all stakeholders to assess the environmental fate of nano releases from industrial nano-enabled products along their lifecycle. Ineris is involved in two work packages dedicated to estimating the emissions of ENM along their life cycle (WP4) and modelling the air dispersion of ENM emitted from different processes (WP6). Ineris develops a catalogue of emission scenarios from industrial activities, both in normal and accidental situations. It also develops a series of models for estimating the consequences in terms of air concentration and ground deposition of such emission scenarios. Ineris also performed a series of measurements around industrial plants to obtain data for checking the consistency of the developed models.

Figure 1 / Cycle de vie des nanomatériaux – source Ineris.



Références

[1] John A.C.; Kupper M.; Manders-Groot A.M.M.; Debray B.; Lacomme J.-M.; Kuhlbusch T.A.J. Emissions and possible environmental implication of engineered nanomaterials (ENMs) in the atmosphere. *Atmosphere*, 2017, 8 (5): p. art. 84.

[2] Gottschalk F. and Nowack B. The release of engineered nanomaterials to the environment. *J. Environ. Monit.*; 2011, 13, 1145.

[3] Le H.D.; Lacomme J.-M.; Vignes A.; Debray B.; Truchot B.; Fedeb P.; Climent C. E. A few fundamental aspects related to the modelling of an accidental massive jet release of nanoparticles. 15th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. 2016.

[4] Le H.D.; Modelling of nanoparticles laden jet from a conveying pipe leakage, thèse de doctorat soutenue le 04-06-2018 à l'Ineris à Verneuil-en-Halatte, dans le cadre de l'École doctorale mécanique, énergétique, génie civil et procédés (Toulouse), en partenariat avec l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse (laboratoire).

[5] Le H.D.; Sommerfeld M.; Fedeb P.; Climent E.; Truchot B.; Debray B.; Lacomme J.-M.; Vignes A. Collision probability coefficient between an agglomerate and a spherical particle and between two agglomerates by Monte-Carlo method. Submitted to *Journal Powder Technology*, 2018.