Projet CaRPE : caractérisation et réduction des émissions des procédés poudres métalliques - hautes énergies

Olivier Le Bihan, A.G. Darut, Martin Morgeneyer, F. Lezzier, F. Devestel, A. Vion, C. Berguery, F. Morvan, J. Roquette, Sébastien Dieu, et al.

▶ **To cite this version:**

Olivier Le Bihan, A.G. Darut, Martin Morgeneyer, F. Lezzier, F. Devestel, et al.. Projet CaRPE : caractérisation et réduction des émissions des procédés poudres métalliques - hautes énergies. 32. Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2019), Jan 2019, Paris, France. 10.25576/ASFERA-CFA2019-16671 . ineris-03319910

HAL Id: ineris-03319910
https://ineris.hal.science/ineris-03319910

Submitted on 13 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROJET CaRPE : CARACTERISATION ET REDUCTION DES EMISSIONS DES PROCEDES POUDRES METALLIQUES - HAUTES ENERGIES

O. Le Bihan[1]*, A. G. Darut[2], M. Morgeneyer[3], F. Lezzier[4], F. Devestel[5], A. Vion[6], C. Berguery[7], F. Morvan[7], J. Roquette[8], S. Dieu[1], B. Schnuriger[1], et A. Vignes[1]

[1]INERIS, 60550, Verneuil-en-Halatte, France
[2]UBFC, ICB-PMDM-LERMPS UMR6303, 90010 Belfort, France
[3]UTC, rue du Dr. Schweitzer, CS 60319, 60203 Compiègne, France
[4]APS Coating, rue de la Mare Blanche, 77186 Noisiel, France
[5]Phosphoris MP-Filter, 4, place Louis Armand, 75012 Paris, France
[6]BV PROTO, Rue de Leupe, 90400 Sévenans, France
[7]TOYAL, route de Lescun, 64490 Accous, France
[8]Blue Industry and Science, 208 B rue La Fayette, 75010 Paris, France,
*Courriel de l'orateur : olivier.le-bihan@ineris.fr

TITLE

CaRPE Project: characterization and remediation of emissions from process based on metallic powders and high energy

ABSTRACT

High temperature processes related to metal powders (e.g. atomization, thermal spraying) lead to the production and release of metal particles, which are partly nano-sized. There is a lack of knowledge with respect to the properties of these emissions and with respect to their management (collection, confinement or treatments). The CaRPE project aims at bridging the current knowledge gaps in this area. A network of various stakeholders, both form the private as well as the public sector, will join their efforts to address current challenges in the field of process engineering, process use, emission risk analysis, metrology and clean process design and support a sustainable development of these technologies.

RESUME

Les procédés métallurgiques à haute température (ou « la mise à haute température de métaux par des procédés ») tels que l'atomisation, la projection thermique ou la fabrication additive, entraînent la production d'effluents métalliques particulaires, composés pour partie de nanoparticules. Il existe un besoin en matière de connaissances, tant au niveau des propriétés de ces émissions, qu'en matière de gestion, c'est-à-dire de captage ou confinement, et de traitement. Le projet CaRPE se propose de contribuer à ce développement de connaissances, en rassemblant des acteurs de différentes spécialités (chercheurs en génie des procédés, utilisateurs de procédés, spécialistes de l'analyse de procédés en matière de risque d'émission, et enfin spécialistes en gestion des effluents) afin de répondre aux défis posés et promouvoir un développement toujours plus sûr de ces procédés.

KEYWORDS: Thermal spraying, metal particles, stack emissions, diffuse emission / **MOTS-CLÉS:** Projection thermique, particules métalliques, émissions canalisées, émissions diffuses

1. INTRODUCTION

Les législations actuelles (e.g. Directive IED 2010/75/UE transposée au niveau français via les décrets 2013-374 et 2013-375 du 2 mai 2013, Rubrique ICPE 3XXX) poussent à réduire les émissions dans l'environnement que ce soient sous forme de gaz ou de particules. C'est notamment le cas pour les industries utilisant des procédés relevant de la métallurgie des poudres.

Parmi les différents procédés existants, la projection thermique est sans doute celui présentant les configurations les plus nombreuses tant en matière de sources énergétiques (plasma, flamme, arc électrique) que de matériaux utilisés (métaux, céramiques, polymères, composites, etc.). Le principe de cette technologie consiste à utiliser une source de chaleur pour fondre la matière première qui peut être sous forme de poudre principalement, ou bien de fil. Ainsi, les émissions sont très diversifiées en termes de gaz générés (phénomènes d'ionisation, de recombinaison, de combustion, etc.), de particules émises (matériau, granulométrie, réactivité, etc.). De plus l'éventail de réactions peut être plus ou moins complexe.

Un autre procédé énergétique qui utilise également de la poudre et qui est actuellement en plein essor est la fabrication additive, et notamment la fusion sélective par laser de lits de poudres métalliques (technologie dite SLM). La source d'énergie est cette fois-ci un rayonnement laser ; elle est appliquée sur une poudre pour mettre celle-ci en fusion, avec production de vapeurs métalliques. Les opérations sont réalisées en chambre fermée pendant la phase de production.

Le point commun de ces deux procédés est l'utilisation d'une poudre comme matière première. Dans le cas de métaux, un des procédés utilisés pour concevoir cette poudre, à partir d'un bain liquide en fusion, est l'atomisation. Un jet de gaz vient souffler en surface du bain en fusion, ou sur un jet liquide en écoulement

en fonction des techniques, pour générer des gouttelettes qui se solidifient rapidement formant ainsi la poudre.
Dans ces trois cas, les procédés sont généralement équipés d'un système de gestion des effluents : cependant, on dispose de relativement peu d'informations sur les performances de ce système, et ce d'autant plus que les caractéristiques de ces émissions sont peu connues. Par ailleurs, la problématique des émissions de gaz et particules ne concerne pas que le cœur du procédé : l'enjeu est de prendre en compte l'ensemble de la chaîne de fabrication notamment les étapes de pré- et post-process.
C'est pourquoi ce projet vise à documenter les connaissances scientifiques et industrielles sur les différentes émissions de ces procédés, en considérant toute la chaîne de fabrication de la poudre (précurseur) jusqu'au produit final. Les différentes zones et actions existantes susceptibles d'engendrer des émissions, seront recherchées, caractérisées puis évaluées en matière de captage/confinement et traitement des effluents, afin de connaître et de discuter l'efficacité globale de prise en charge des effluents. Enfin, le développement ou la modification/optimisation d'un système sera mené(e) pour une à trois installations.

2. ETAT DE L'ART

Relativement peu d'études scientifiques ont été trouvées dans la littérature, en ce qui concerne la connaissance des émissions des procédés de métallurgie des poudres. Les études disponibles publiquement à ce jour sont pour l'essentiel centrées d'une part sur la description du métier de la projection thermique en termes de procédés, matériaux et applications (Mater, 2012 ; Savary 2014), et d'autre part sur la caractérisation des émissions pour quelques couples de matériaux. Quelques études commencent à voir le jour dans le domaine de la fabrication additive (Graff, 2017).

2.1. Projection thermique et émissions

Une enquête détaillée de l'INRS a établi une cartographie des installations de projection thermique en France en étudiant les procédés utilisés, les matériaux employés et les secteurs d'activités visés (Savari, 2014). Il apparaît que le procédé le plus présent est la projection à l'arc électrique puis la flamme. Les matériaux dominants qui ressortent de cette étude sont notamment les alliages zinc-aluminium, alliages base nickel et nickel chrome.
Une thèse a également été menée sur les émissions d'un des procédés à savoir la projection arc fil, émettrice de vapeurs métalliques dans le but de mieux filtrer les effluents (Grippari, 2012). Les mesures effectuées montrent un nombre important de particules de diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm.
L'INRS met également en garde face à la grande quantité de particules ultrafines inférieures à 100 nm générées par le procédé arc fil, et avance la nécessité de remettre en question les techniques de captage et filtration en place, afin de bien traiter cette nature d'effluents (Bemer, 2010 ; Savary, 2015). L'INRS a également publié quelques données d'émissions (Savary, 2015 ; Bemer, 2010) sur un alliage NiCr et quelques éléments sur l'aluminium et le zinc avec plusieurs procédés (premier niveau d'information). D'autres matériaux comme l'acier inox, les revêtements de carbure (WC) avec une matrice de cobalt sont aussi assez utilisés.
Une étude menée par la CARSAT a mesuré des niveaux 15 fois supérieurs à la VLEP chrome 6 dans le cas de la projection de matériaux contenant du chrome ou des oxydes de chrome (Carsat, 2013).
Une étude a comparé trois procédés de projection en matière de résidus de matériaux (cobalt, chrome et nickel) dans les urines de projeteurs (Chadwick, 1997). Le procédé plasma se révèle le plus émissif. Des mesures ont été faites dans une entreprise de projection thermique grecque pour qualifier la qualité de l'air (Petsas, 2006). Il ressort que les concentrations en particules et métaux lourds sont prédominantes pendant les phases de nettoyage et maintenance de l'enceinte de projection.
Un document de l'INRS recense certains polluants identifiés pour les procédés de projection flamme, arc électrique et plasma (INRS, 2012) à savoir des oxydes de fer, nickel, cuivre, cobalt et du dioxyde d'azote.
La société internationale de projection thermique met à dispositions des documents sur les risques autour du procédé et les protections à mettre en place (TSS, 2016). Cependant, ces documents donnent seulement une vision globale des problématiques rencontrées et n'apportent pas de réponse précise aux questions de sécurité.

2.2. Emissions gazeuses

Au cours du projet, les gaz générés/créés pendant la projection seront identifiés et quantifiés au moyen d'un analyseur de gaz conçu par un des partenaires. L'un des intérêts de cette approche sera de pouvoir s'adapter à une grande diversité des gaz produits, montrée par la bibliographie.
A titre d'exemple, des gaz susceptibles de se former ont été modélisés pour le procédé High Velocity Oxyd-Fuel (Hériaud, 2013) : CO_2, CO, NO, etc. Il en résulte de multiples réactions pendant la combustion (flamme) par exemple (INRS, 2012). Une étude allemande a mené des analyses sur les procédés flamme, plasma et arc électrique (BGHM, 2012) ; parmi les gaz observés, on relève NO_2, O_3, etc.

Il est à noter que les procédés sous atmosphère contrôlée à basse pression (200 mbar) ou très basse pression (1 mbar) ne sont pas renseignés ; ils sont pourtant propices à la vaporisation des métaux durant la projection. Dans le cas du cuivre, plusieurs procédés peuvent être utilisés (arc fil, plasma, cold spray), avec pour chacun a priori des émissions différentes.
En conclusion, on relève une grande diversité d'émissions gazeuses, une connaissance de leur nature relativement limitée (beaucoup reste à faire), et enfin la nécessité de promouvoir la prise en compte de ces émissions dans le réglage des procédés afin de chercher à les réduire.

2.3. Fabrication additive et émissions

Il existe également quelques articles sur les dangers d'émission des procédés de fabrication additive. Des études sur les imprimantes 3D plastiques démontrent l'émission de nanoparticules (Stephen, 2013, Azimi 2016). Par contre les données sur la fusion sélective de métaux manquent. La plupart des installations industrielles de fabrication additive métallique auraient une ventilation intégrée mais l'étape de récupération de la pièce avec ouverture de la machine présenterait des risques d'émission (Guimon, 2013). Une étude sur les différentes installations de fabrication 3D, dont les métalliques, a montré la génération de fines particules au travers de l'étude de poudres déjà utilisées dans le process (Mellin, 2016). Une équipe suédoise a effectué des analyses autour du procédé de fabrication 3D d'une entreprise venant de s'équiper dans le but de connaitre les dangers. Des mesures à différentes étapes ont été réalisées comme par exemple à l'ouverture de la porte du procédé, nettoyage de l'intérieur, chargement en poudre, etc. Les premiers résultats montrent la présence de fines particules inférieurs à 300 nm lors des phases de nettoyage du procédé. L'utilisateur évolue dans un environnement soumis aux émissions et notamment dans la gamme 300 nm – 10 µm. Cependant l'étude ne s'est intéressée qu'à un matériau et une granulométrie de poudre.

3. OBJECTIFS ET STRUCTURE DU PROJET

Les objectifs scientifiques et techniques du projet sont tout d'abord de définir avec plus de précision la place occupée (et à venir) par ces procédés dans l'industrie française, de déterminer les principales caractéristiques techniques en termes d'émission (gestion des effluents), et de caractériser ces émissions.
Les efforts de caractérisation des émissions réalisés au sein de CaRPE s'inscriront dans la lignée des efforts menés à ce jour par l'INRS (Savary, 2015 ; Bemer, 2010). La sélection des matériaux s'appuiera également sur une enquête menée par l'INRS (Savary, 2014) qui permet d'identifier les matériaux les plus étudiés. C'est le cas par exemple du couplage ZnAl -déjà en partie abordé- mais qui peut être également mis en œuvre par projection HVOF ou avec le procédé Cold Spray (usage qui se développe actuellement).
Sur la base de cette première phase de travail ; il sera alors possible d'identifier des pistes d'amélioration (réduction des émissions), et d'en sélectionner à des fins de test (1 à 3 scénarios) notamment en améliorant les captages et le traitement des effluents.
Il s'agira également de rechercher des pistes pour réduire les émissions du procédé lui-même, ce qui nécessitera de se pencher sur les principes physiques au cœur des procédés mais aussi de s'intéresser à des phénomènes tel celui de la pulvérulence des poudres métalliques (émissions en amont ou en aval du cœur de procédé).
Enfin, une phase importante consistera à diffuser l'ensemble des résultats aux différentes communautés afin de les sensibiliser sur les potentiels risques face à ces émissions. Trois procédés sont donc présélectionnés : au premier chef, la projection thermique ; au second chef, l'atomisation de poudres ; enfin, la fabrication additive.

Remerciements
Ce travail est financé par l'ADEME dans le cadre du dispositif CORTEA. La contribution de l'INERIS est co-financée par le Ministère de l'Environnement (programme 190, DRC 07).

Références

Azimi P., D. Zhao, C. Pouzet, N. E. Crain, B. Stephens, Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments, Environ. Sci. Technol., 50 (2016)

Bémer D., R. Régnier, I. Subra, B. Sutter, M. T. Lecler, Y. Morele, Ultrafine Particles Emitted by Flame and Electric Arc Guns for Thermal Spraying of Metals, Ann. Occup. Hyg., 54 (2010)

Chadwick J. K., H. K. Wilson, M. A. White, An investigation of occupational metal exposure in thermal spraying processes, Science of The Total Environment, 199(1-2) (1997)

Gautier M., B. Savary, Projection thermique : état des lieux en 2012, Hygiène et sécurité au travail, 236 (2014)

Graff P., B. Stahlbom, E. Nordenberg, A. Graichen, P. Johansson, H. Karlsson, Evaluating Measuring Techniques for Occupational Exposure during Additive Manufacturing of Metals, A Pilot Study, Volume 21, Number S1, Journal of Industrial Ecology, 2017

Grippari F., Caractérisation et filtration des aérosols nanostructurés : application aux fumées de projection thermique des métaux, Université de Loraine, thèse, 2012

Guimon M., La fabrication additive, un empilement de risques ? Hygiène et sécurité du travail, 233 (2013)

Hériaud-Kraemer H., Ghislain Montavon, Christian Coddet, Sylvaine Hertert, Hervé Robin, Harmful risks for workers in thermal spraying: A review completed by a survey in a French company, Journal of Thermal Spray Technology December 2003, Volume 12, Issue 4, pp 542–554

INRS, Les fumées de soudage et des techniques connexes, ED6132, 2012

Mater G., B. Savary, « Projection thermique : état des lieux en 2012 », Hygiène et sécurité du travail n°236, septembre 2014

Petsas N., G. Kouzilos, G. Papapanos, M. Vardavoulias, A. Moutsatsou, Worker Exposure Monitoring of Suspended Particles in a Thermal Spray Industry, Journal of Thermal Spray Technology, 16 (2007)

Savary B., Panorama de la projection thermique en France : Résultats de l'enquête de 2012, INRS, NS 326, 2014

Stephens B., P. Azimia, Z. El Orcha, T. Ramosa, Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers, Atmospheric Environment, 79 (2013)

TSS 2016 – Thermal Spray Society, Environment, Health and Safety Guidelines, http://www.asminternational.org/web/tss/technical/safety-guidelines, consulté en octobre 2016.