

JOURNÉE
TECHNIQUE

Fabrication additive

Comment construire
une prévention adaptée ?



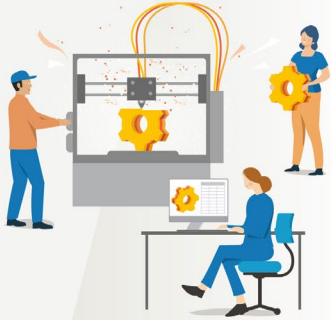
Emissions et expositions aux aérosols métalliques

Sébastien Bau – 17 05 2022

Mardi 17 mai 2022
Paris – Maison de la RATP

JT INRS FABRICATION ADDITIVE - 17/05/2022

Introduction, Contexte et Objectifs



- Potentiel d'exposition aux différentes étapes
- De nombreux paramètres influent sur le niveau d'exposition
 - procédés, matériaux, quantités, durée, fréquence, EPC/EPI
 - 3 phases du procédé + maintenance



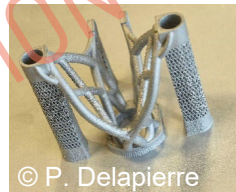
© P. Delapierre



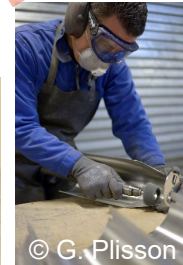
© G. Kerbaol



© P. Delapierre



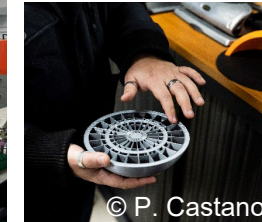
© P. Delapierre



© G. Plisson



© G. Kerbaol



© P. Castano



© P. Delapierre

Pré-production

- Récupération poudre
- Transfert poudre
- Pesée poudre
- Alimentation machine

Production

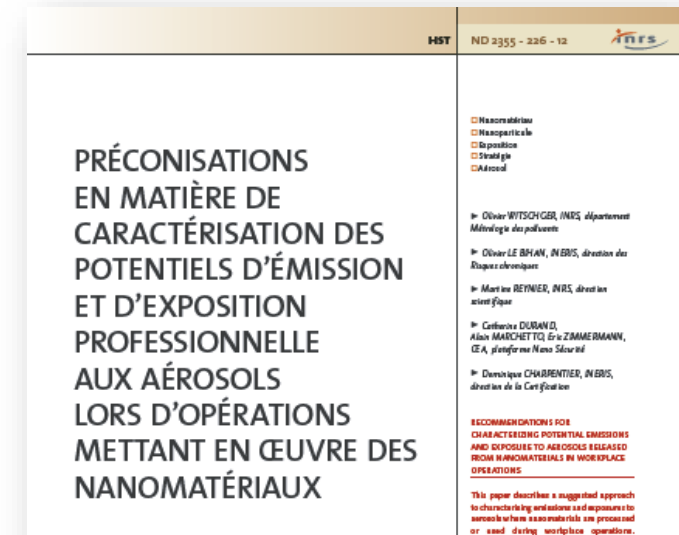
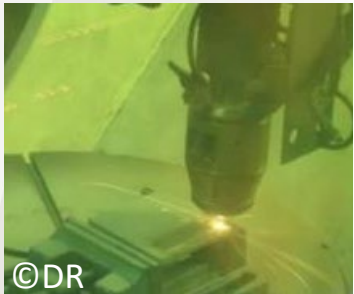
Finition

- Ouverture & Récupération pièce
- Nettoyage pièce
- Finition pièce
- Récupération poudre & recyclage

Exemple d'une campagne de mesurage



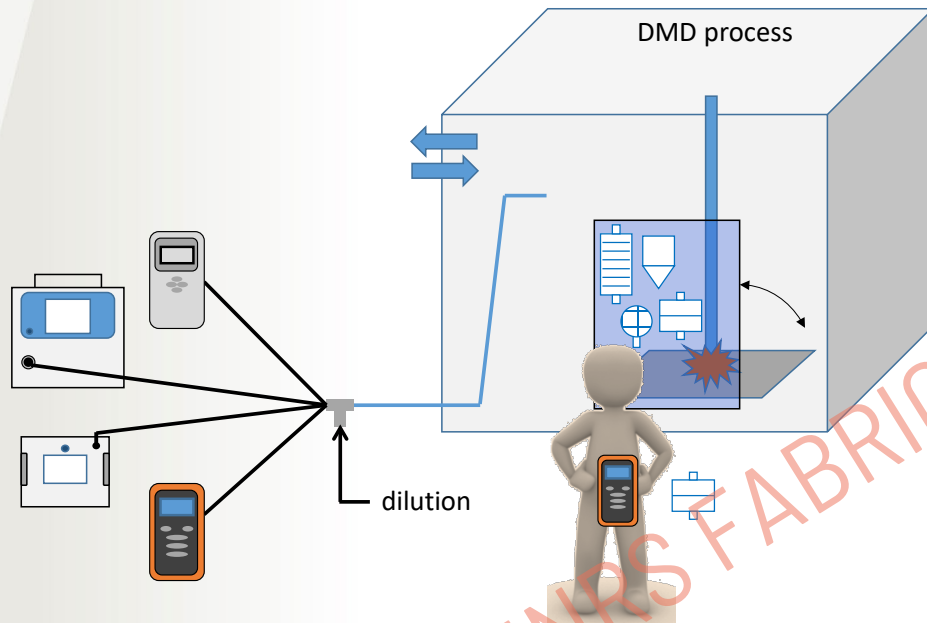
- Procédé : CLAD (Boisselier D. and Sankaré S., Physics Procedia 39: 455-463, 2012)
 - 2 buses : débit matière faible "10 VX" (5 g/min), élevé "24 VX" (17 g/min)
 - 2 matériaux : Inconel 625 et Inox 316L
- Principales caractéristiques recherchées
 - concentration en particules (nombre + masse)
 - distribution des particules (nombre + masse)
 - propriétés physico-chimiques des particules
- Préconisations INRS/INERIS/CEA (ND 2355)
 - approches multi-points et multi-paramètres



Exemple d'une campagne de mesure

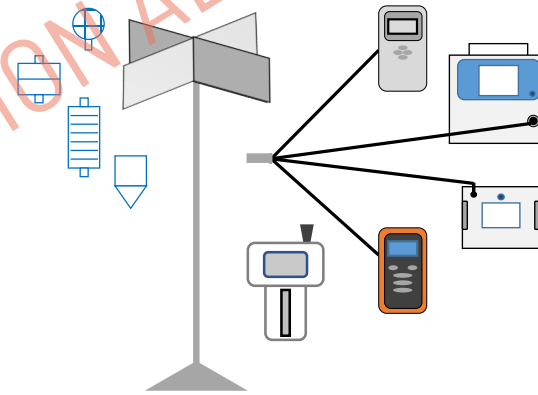


- Stratégie de mesure
 - couplage prélèvements intégrés + métrologie temps réel (MTR)

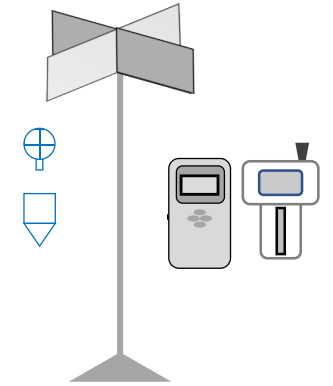


Source (S)

Opérateur (O)



Champ proche
(1,2 m de la porte, H ≈ 1,2 m)

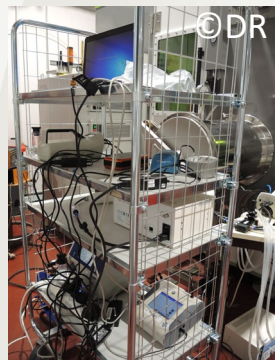


Champ lointain
(5,2 m de la porte, H ≈ 1,6 m)

Exemple d'une campagne de mesure



- Stratégie de mesure
 - couplage prélèvements intégrés + métrologie temps réel (MTR)



Source (S)



Opérateur (O)



Champ proche
(1,2 m de la porte, H ≈ 1,2 m)













Champ lointain
(5,2 m de la porte, H ≈ 1,6 m)

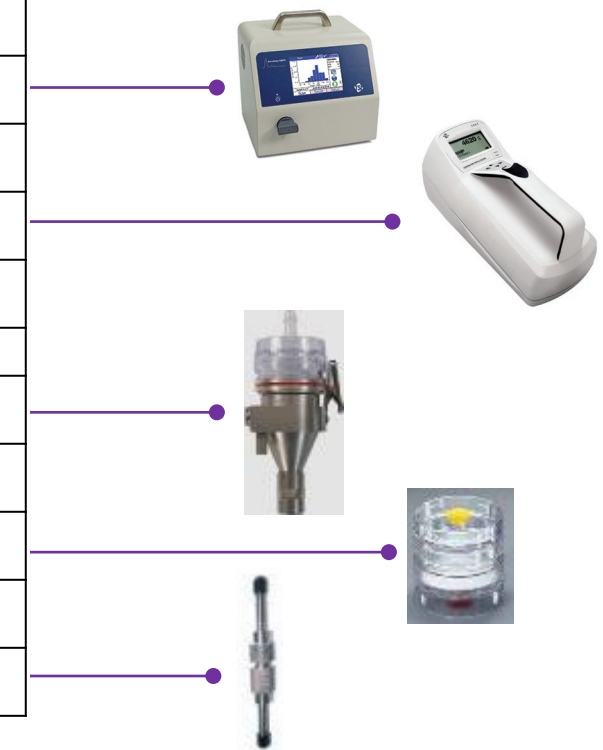
Exemple d'une campagne de mesure



• Stratégie de mesure

	Concentration en N
	Distribution en N
	Concentration en M
	Distribution en M
	Microscopie électronique

		Source	Opérateur	Champ proche	Champ lointain
• Instrument de mesure en temps réel					
	DiSCmini (Testo)	X	X	X	
	Nanoscan (TSI 3910)	X		X	
	Optical Particle Sizer (OPS, TSI 3330)	X		X	
	Condensation Particle Counter (CPC, TSI 3007)	X		X	X
	Optical Particle Counter (HH3016-IAQ, Lighthouse)			X	X
• Dispositif d'échantillonnage (prélèvement intégré)					
	Respirable fraction (GK2.69, BGI)	X		X	X
	Inhalable fraction (Button Sampler, SKC)	X		X	X
	Inhalable fraction (CFC, Millipore, for Cr ^M analysis)	X	X	X	
	Cascade impactor (SIOUTAS, SKC)	X		X	
	Mini Particle Sampler (MPS, Ecomesure)	X			



Exemple d'une campagne de mesurage



• Stratégie de mesure



ETUDES & SOLUTIONS

Notes techniques

MESURE EN TEMPS RÉEL DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AUX NANOPARTICULES : PERFORMANCES ET EXEMPLE D'APPLICATION DU DISCMINI

Ces dernières années, l'utilisation de dispositifs individuels de mesure en temps réel, tels que le DISCMINI, s'est fortement développée dans le cadre de l'évaluation de l'exposition par inhalation aux nanoparticules. Des travaux de l'INRS ont permis d'évaluer la fiabilité de ces appareils. Cet article présente les résultats d'expérimentations menées en laboratoire et au cours d'une campagne de mesures conduite en entreprise.

HST 262 (01/21)

MétroPol

inrs

Prélèvement des aérosols par cyclone

OBJECTIFS

Cette fiche décrit une méthode de prélèvement d'un aerosol soit en fraction alvéolaire, soit en fraction thoracique par un dispositif de type cyclone. La définition de ces fractions conventionnelles est donnée par les normes EN 481 [1] et ISO 7708 [2]. Un exemple d'utilisation de la méthode est le mesurage en individuel de l'exposition d'un travailleur à des polluants particulaires renfermant une substance pour laquelle existe une valeur limite d'exposition professionnelle relative à la fraction alvéolaire ou à la fraction thoracique.

ETUDES & SOLUTIONS

Notes techniques

UNE NOUVELLE METHODOLOGIE POUR VÉRIFIER LES COMPTEURS DE NOYAUX DE CONDENSATION

Les compteurs de noyaux de condensation, instruments de mesure en temps réel de la concentration en nombre des particules submicroniques d'aérosols dans l'air, présentent de nombreux avantages. Afin de vérifier les performances des instruments disponibles sur le marché, l'INRS a mis au point une méthode, basée sur le principe des compteurs de noyaux de condensation, qui permet d'évaluer la fiabilité de ces appareils.

HST 247 (06/17)



HST 256 (09/19)

ACTUALITES

ÉMISSIONS, DISTRIBUTIONS ET ANALYSES CHIMIQUES DE PARTICULES ULTRAFINES ISSUES DE DIVERS PROCÉDÉS INDUSTRIELS

De nombreux procédés industriels émettent dans l'atmosphère des lieux de travail des particules ultrafines (PUF), qu'il s'agisse de procédés thermiques ou de procédés mécaniques. Les prélèvements de PUF sur impacteurs en cascade permettent de collecter, puis de caractériser chimiquement ces aérosols ultrafines en fonction de la taille des particules, contribuant ainsi à améliorer la connaissance de leur toxicité potentielle.



MétroPol

inrs

Prélèvement des aérosols par cassette fermée

Contexte

Le dispositif de prélèvement dit « cassette fermée » est largement utilisé pour évaluer l'exposition des travailleurs aux aérosols par inhalation. Le plus souvent, il s'agit de la fraction inhalable, qui est l'une des trois fractions d'exposition professionnelle. Dans tous les dispositifs de prélèvement, la cassette fermée présente des limites qu'il convient de connaître en tant qu'utilisateur direct ou indirect. Cette fiche présente de manière détaillée la cassette fermée, détaille ses performances et rappelle les bonnes pratiques et les préconisations de l'INRS.

Chrome VI M-43

MétroPol

inrs

Mesure en temps réel de la concentration en nombre d'un aérosol submicronique au moyen d'un compteur de noyaux de condensation

CONTEXTE

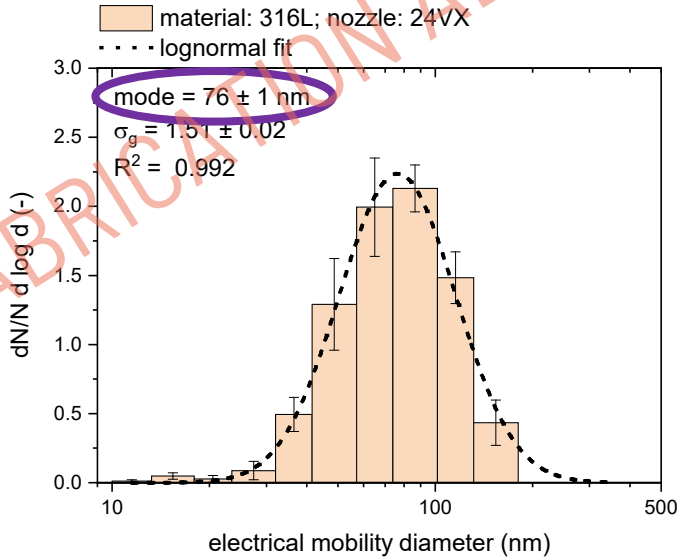
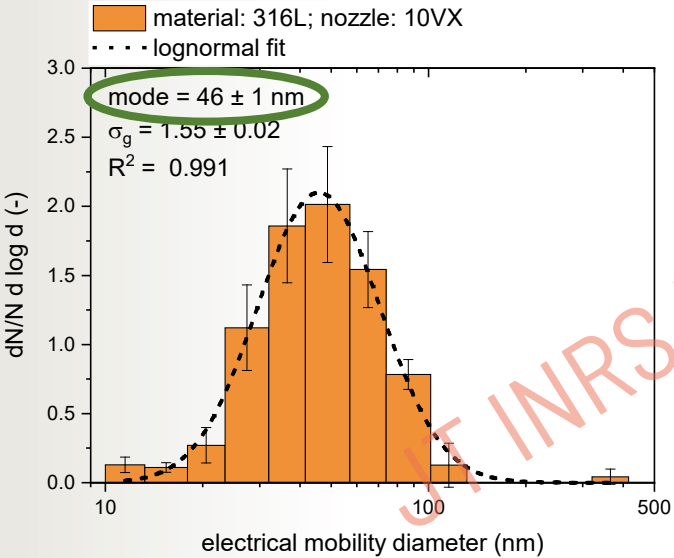
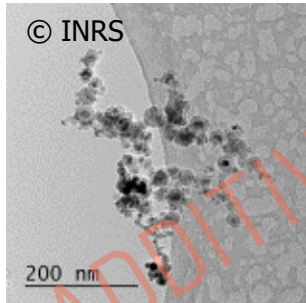
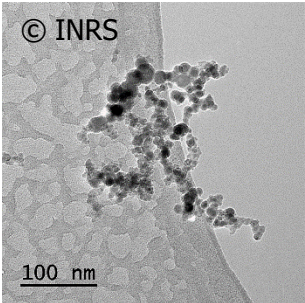
Un compteur de noyaux de condensation (CNC) offre la possibilité de mesurer en temps réel le nombre de particules submicroniques en suspension dans l'air. Ces appareils sont disponibles sur le marché, parmi lesquels des modèles dédiés à des mesures de terrain. Sur la base d'un CNC pris en compte, l'INRS a mis au point une méthode, basée sur le principe de fonctionnement des CNC, leur mise en œuvre et les possibilités de traitement des données obtenues.



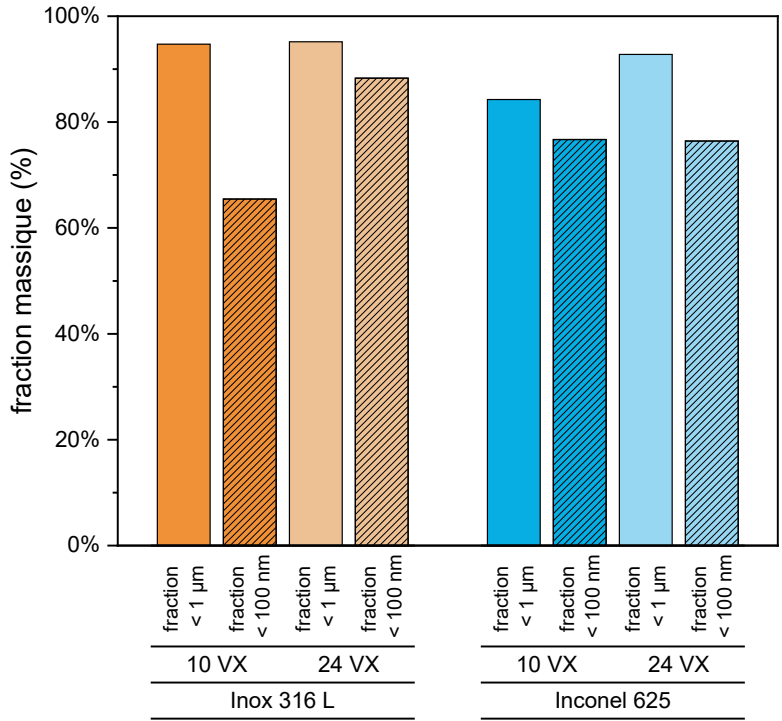
Exemple d'une campagne de mesure



- Caractérisation de la source (émission)



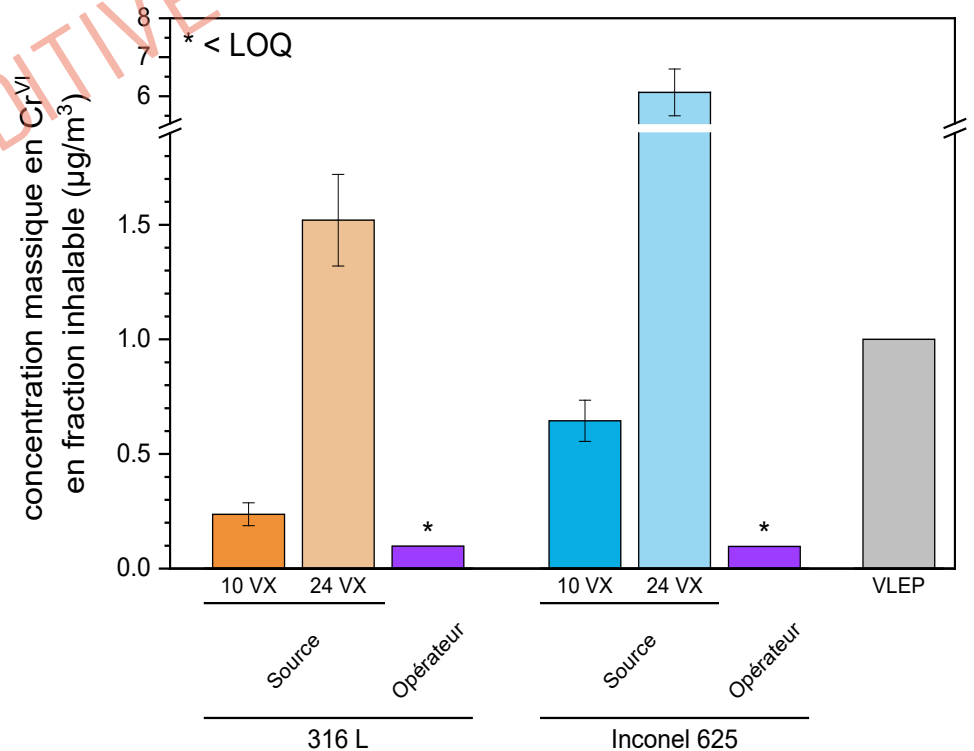
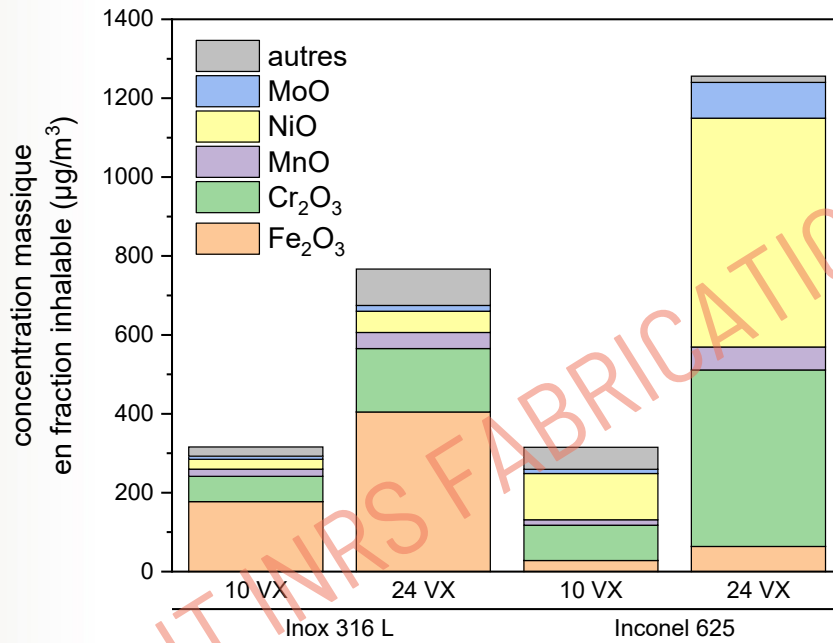
NB : fractions < 100 nm estimées par inversion des données (Bau & Witschger, JPCS, 2013)



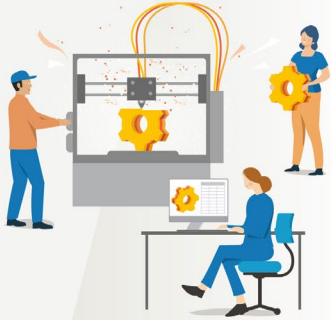
Exemple d'une campagne de mesure



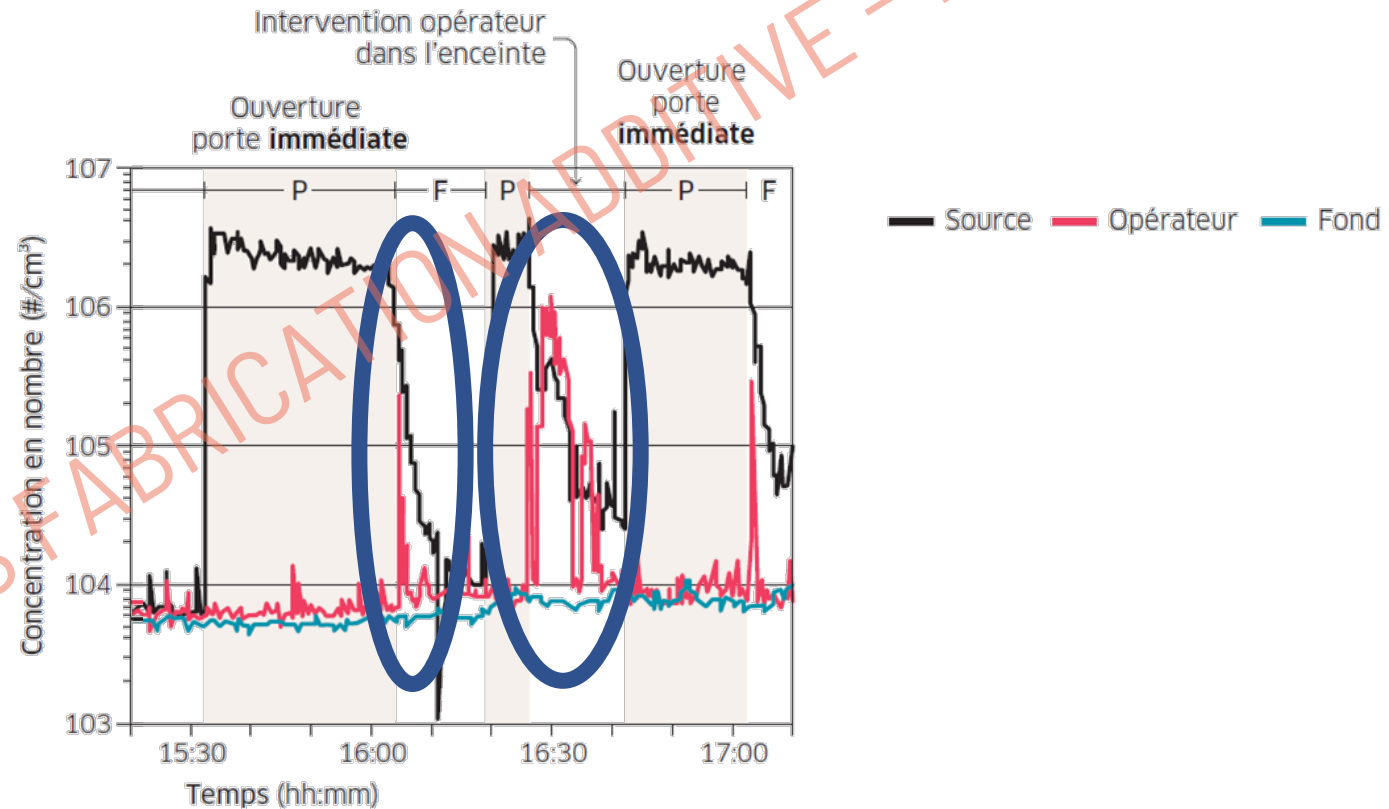
- Caractérisation de la source (émission) et quantification des expositions au Cr^{VI}



Exemple d'une campagne de mesure



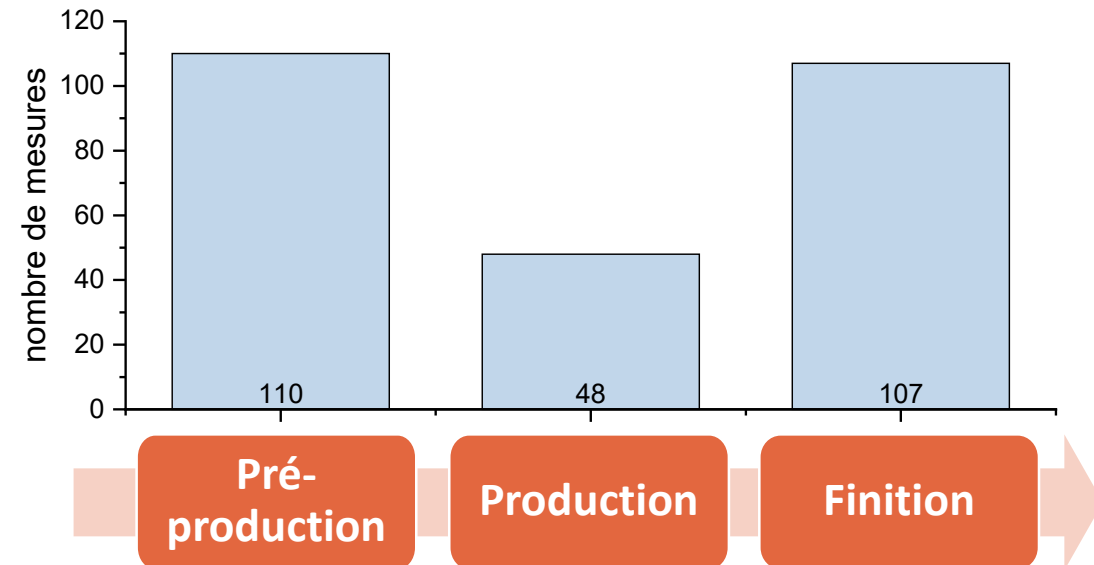
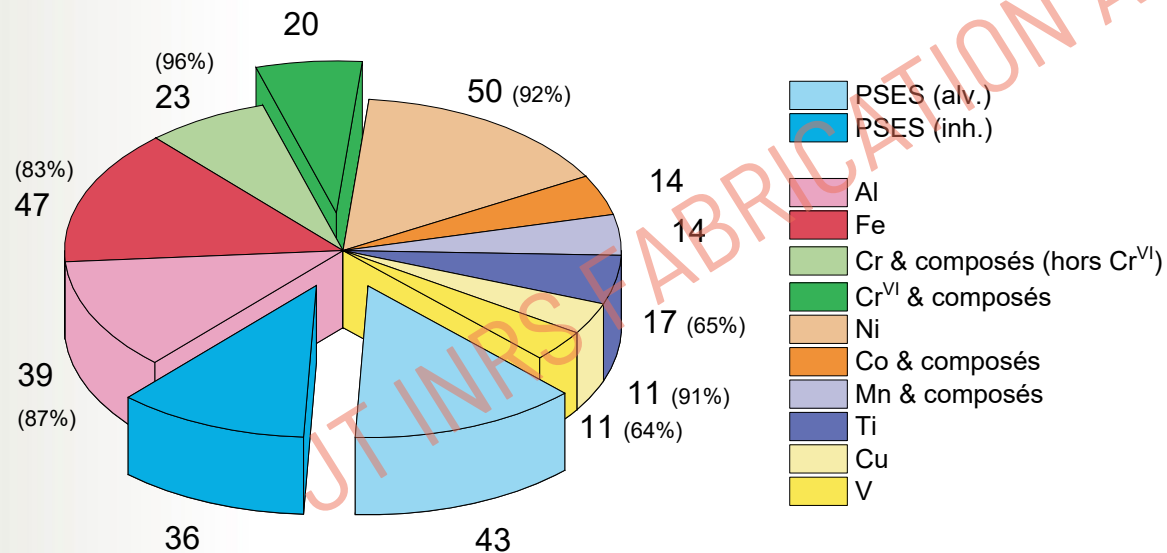
- Périodes d'exposition ?
 - phases de finition : récupération pièce



Base de données partagées INRS/CEA



- Données de campagnes de mesurages et de la littérature
 - mieux connaître les niveaux d'exposition et les étapes exposantes
 - pertinence des solutions de prévention retenues
- Sur 325 mesures collectées, 265 (82 %) concernent l'exposition au cours de l'une des trois phases, et 25 % les PSES



Diagnostics d'exposition



- Méthodologie adoptée : ALTREX & EN 689 (2018)
 - la majorité des diagnostics concluent à des expositions plutôt maîtrisées
 - de nombreuses valeurs d'exposition par prélèvement < LoQ



ISSN 0335-3931

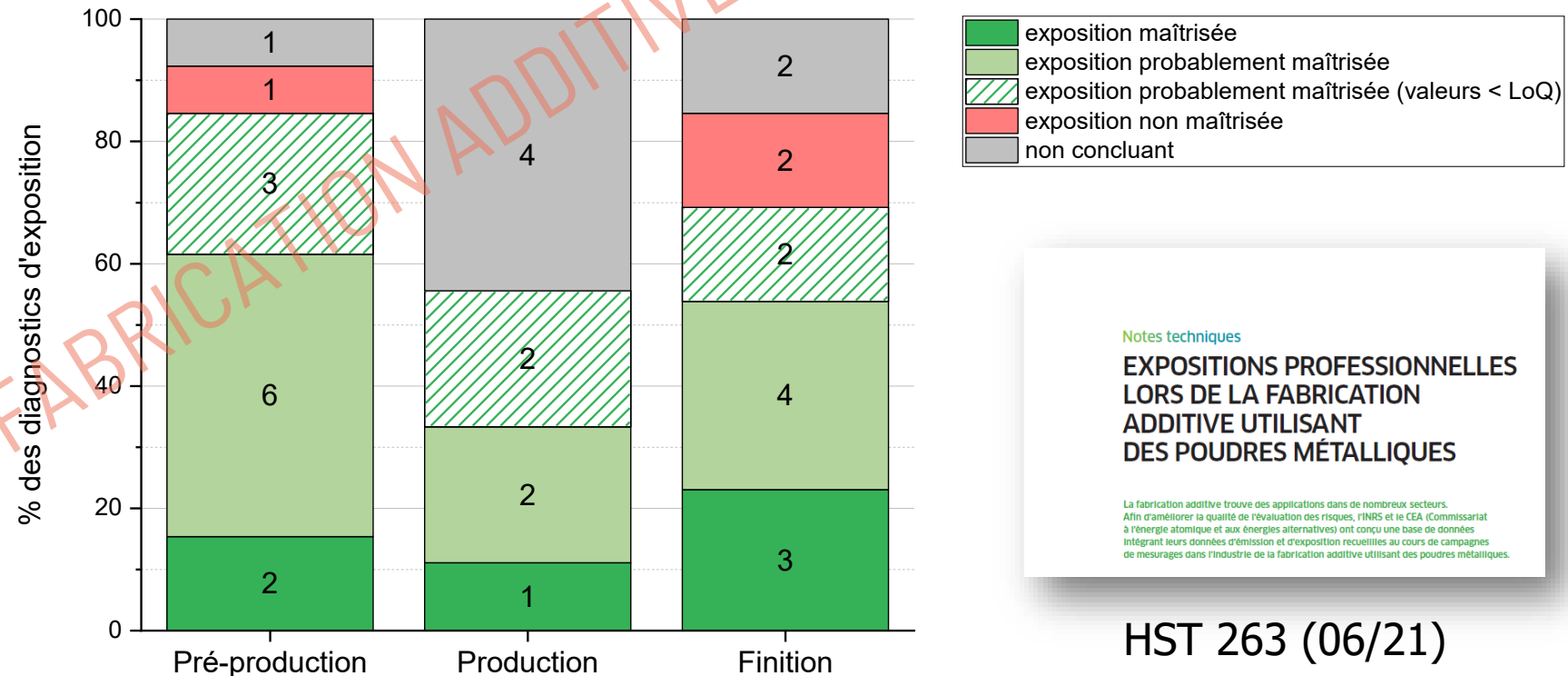
norme française

NF EN 689
Mai 2018

Indice de classement : X 43-279

ICS : 13.040.30

Exposition sur les lieux de travail — Mesurage de l'exposition par inhalation d'agents chimiques — Stratégie pour vérifier la conformité à des valeurs limites d'exposition professionnelle



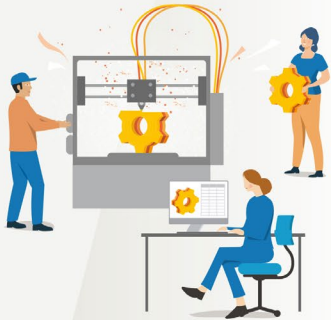
Notes techniques

EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES LORS DE LA FABRICATION ADDITIVE UTILISANT DES POUDRES MÉTALLIQUES

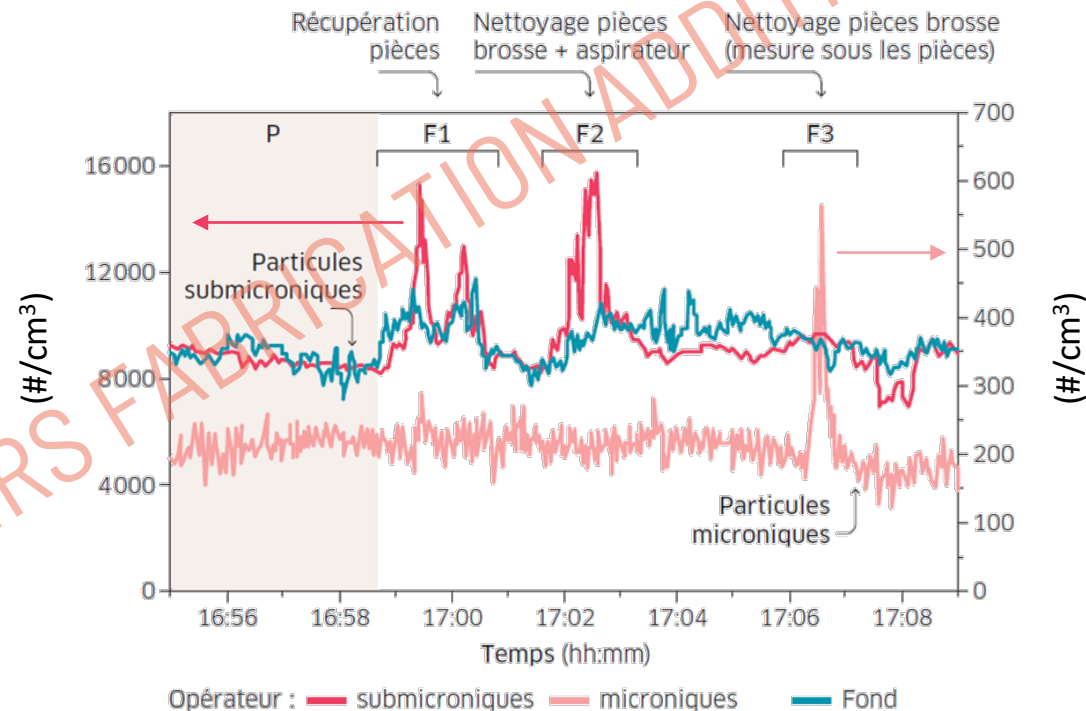
La fabrication additive trouve des applications dans de nombreux secteurs. Afin d'améliorer la qualité de l'évaluation des risques, l'INRS et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ont conçu une base de données intégrant leurs données d'émission et d'exposition recueillies au cours de campagnes de mesurages dans l'industrie de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques.

HST 263 (06/21)

Diagnostics d'exposition



- Méthodologie adoptée : ALTREX & EN 689 (2018)
 - la majorité des diagnostics concluent à des expositions plutôt maîtrisées
 - de nombreuses valeurs d'exposition par prélèvement < LoQ
 - recours à la MTR afin d'identifier d'éventuels pics d'exposition



Notes techniques

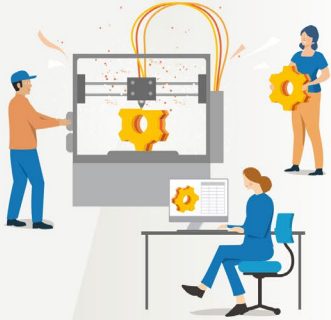
EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES LORS DE LA FABRICATION ADDITIVE UTILISANT DES POUDRES MÉTALLIQUES

La fabrication additive trouve des applications dans de nombreux secteurs. Afin d'améliorer la qualité de l'évaluation des risques, l'INRS et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ont conçu une base de données intégrant leurs données d'émission et d'exposition recueillies au cours de campagnes de mesurages dans l'industrie de la fabrication additive utilisant des poudres métalliques.

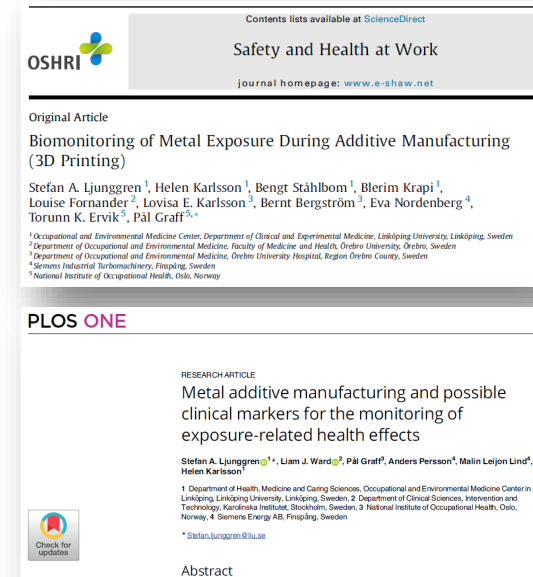
HST 263 (06/21)



- Phases de production : opérateurs peu exposés
 - les procédés utilisant des poudres métalliques fonctionnent souvent sous atmosphère contrôlée → enceinte de production étanche
- Phases de pré-production et de finition : expositions maîtrisées ou probablement maîtrisées dans 20 situations sur 26 (77 %)
 - ces observations sont étayées par les résultats de MTR
- Il existe des situations où l'exposition est importante (> VLEP), pour des substances classées CMR comme le cobalt
- Autres opérations potentiellement exposantes
 - nettoyage de la machine, maintenance, changement des filtres, etc.
- Inciter au port d'EPI lors d'opérations potentiellement exposantes



- Systématiser le couplage prélèvement conventionnel et MTR
- Etude pilote épidémiologique
 - Evaluer la faisabilité d'une étude épidémiologique des effets sur la santé d'une exposition aux particules ultrafines émises lors de la FAM
 - Terrains : grand groupe, TPE/PME, plateforme
 - Population d'étude (recrutement sur la base du volontariat)
 - Exposés (30 salariés) : opérateurs FAM exclusivement, activités de production et de pré/post production
 - Non exposés (20 salariés) : administration, toute autre activité « non exposante »
 - Suivi des salariés en entreprise sur 3 jours avec prélèvements d'échantillons biologiques → dosage des biomarqueurs (sang, urines, examens du souffle)
 - Période d'interventions en entreprise : 2023 - 2024





- INRS

- Davy Rousset, Raphaël Payet, François-Xavier Keller, Karine Gerardin, Hélène Poirot, Cosmin Patrascu, Frédéric Clerc

- CEA Grenoble

- Joséphine Steck, Cécile Philippot, Sébastien Artous

