



Risques pour la santé des travailleurs et

rôle des services de prévention et de santé au travail

Dr Laureline Coates

Département Études et Assistance Médicales

INRS

Mardi 17 mai 2022

Paris – Maison de la RATP



Risques pour la santé des travailleurs

Plusieurs types de risques pour les opérateurs de fabrication additive :

- Risque physique
liés à la manipulation de charges lourdes, aux gestes répétitifs, aux postures contraignantes
- Risque de chute/d'accident
liés au travail en hauteur, à la manutention, aux éléments en mouvement de l'imprimante
- Risque liés aux rayonnements optiques, à l'utilisation de laser
- Risque de brûlures lors de l'extrusion de matière
- **Risque toxicologique**
- ...



Risque toxicologique

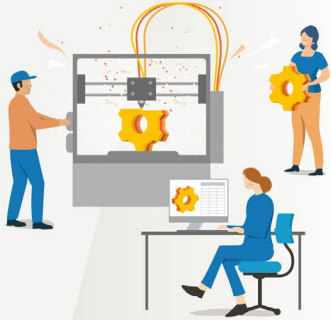
Des substances toxiques peuvent être présentes dans :

- Les matières premières utilisées : isopropanol, méthacrylate de méthyle, nickel, cuivre, cobalt, ...
- Les produits annexes utilisés : fluides de coupe, solvants, agents de sablage (silice cristalline),...
- Les produits émis : particules ultrafines, hydrogène, oxydes métalliques (nickel, cobalt, chrome,...), styrène, acétone,...

Exemples de substances utilisées ou émises	Principaux effets toxiques
Isopropanol	Irritation des yeux ; vertiges ; somnolence
Méthacrylate de méthyle	Allergie cutanée ; irritation de la peau et des voies respiratoires
Styrène	Nocif par inhalation ; ototoxique ; irritant pour la peau et les yeux ; toxique pour la reproduction cat.2 selon le CLP
Nickel et oxydes de nickel	Allergie cutanée ; cancérogène cat.1A (oxydes) ou cat.2 (nickel) selon le CLP
Cadmium et oxydes de cadmium	Atteintes digestives, respiratoires, osseuses et cardio-vasculaires ; cancérogène cat.1B, mutagène et toxique pour la reproduction cat.2 selon le CLP
Cobalt et oxydes de cobalt	Allergies cutanée et respiratoire ; cancérogène et toxique pour la reproduction cat.1B, mutagène cat.2 selon le CLP



[Fiches Toxicologiques](#), [Fiches Demeter](#), [MiXie France](#)



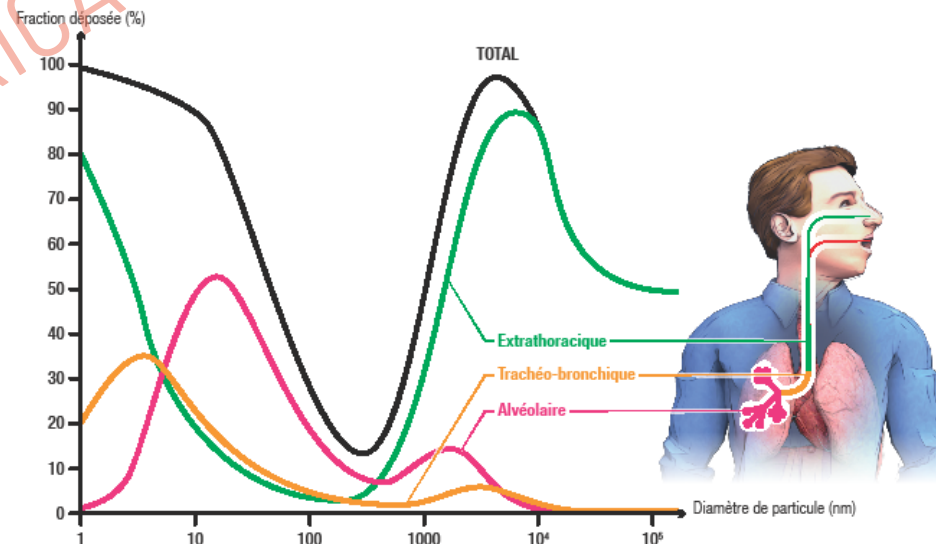
Risque toxicologique

Exposition à un mélange hétérogène :

- Gaz (ex : hydrogène, ozone, composés organiques volatiles et semi-volatiles)
- Particules (ex : particules ultrafines / nanomatériaux)

Scenari d'exposition :

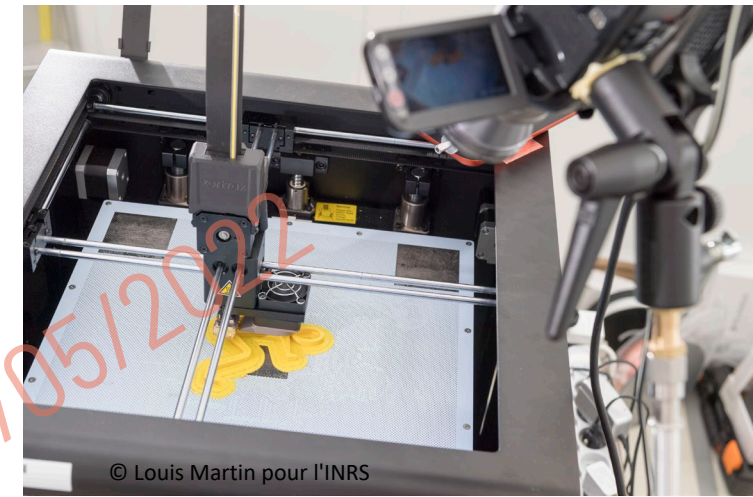
- Inhalation > contact cutané > ingestion > contact oculaire





Risque toxicologique

Fabrication additive plastique



Au niveau expérimental [Farcas 2019 et 2020, Zhang 2019, Stefaniak 2017]

- Cytotoxicité et induction de mort cellulaire (ABS, PC, PLA)
- Induction de stress oxydant (ABS, nylon, PC, PLA)
- ↗ Cytokines et chimiokines pro-inflammatoires (ABS, PC, PLA)
- Modification de la cellularité du liquide de lavage broncho-alvéolaire chez le rongeur (ABS, PLA)
- ↗ Transitoire des plaquettes, des monocytes, de biomarqueurs hépatique et rénal chez le rat (ABS)
- ↗ Pression artérielle moyenne et dysfonction microvasculaire (ABS)

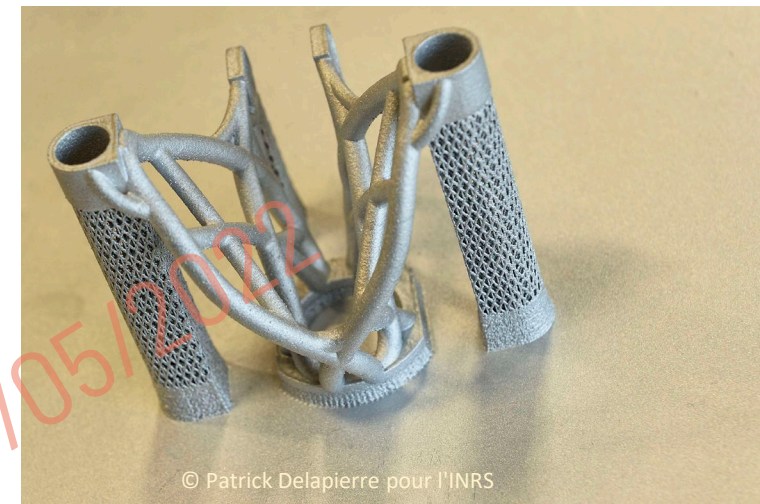
Chez l'Homme [Chan 2020, Gumperlein 2018, House 2017, Johannes 2016, Creytens 2017]

- Symptômes respiratoires, cutanés et céphalées (ABS, nylon, PLA)
- ↗ Fraction exhalée de NO et gêne rapportée pour ABS > PLA
- Cas d'asthme (ABS), pneumopathie d'hypersensibilité (nylon), dermites de contact (résines époxy)



Risque toxicologique

Fabrication additive métallique



Au niveau expérimental

Acier inoxydable (PM-R1-S4-30) [Lewinski 2019]

- Viabilité cellulaire et production d'espèces réactives de l'oxygène peu ou pas modifiées

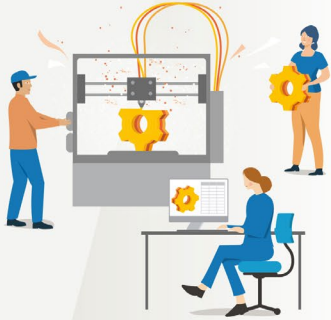
Aciers et alliages à base de Ni, Cr, Ti (316L, IN939, Hastelloy X, 18Ni300, Ti6Al4V) [Vallabani 2022]

- Cytotoxicité uniquement pour Hastelloy X après 48 h à la plus forte dose
- Pas de production d'espèces réactives de l'oxygène, ni de cytokines ou chimiokines
- ↗ Ruptures de brins d'ADN pour Hastelloy X, IN939 et Ti6Al4V (test des micronoyaux négatif)

En milieu professionnel

Alliage à base de Ni (Hastelloy X) [Ljunggren 2019 et 2021, Assenhoj 2021]

- Cr, Co et Ni détectables sur la main dominante en fin de semaine de travail, Co non retrouvé après la mise en place de mesures préventives
- ↗ de 8 biomarqueurs (hépatiques, cardiovasculaires, inflammation/oxydation, Co, Ni, Cr urinaires, Co sanguin)
- Après la mise en place de mesures préventives, ↗ VEMS (80 à 92 %) et ↘ Ni sanguin (10,8 à 6,2 nmol/L)
- Modification de certaines protéines du fluide de lavage nasal au cours de la semaine de travail, non retrouvée après la mise en place de mesures préventives



Risques pour la santé des travailleurs

SYNTHÈSE

Plusieurs types de risques : physique, chute/accident, toxicologique, ...

Risque toxicologique :

Lié aux matières premières, produits annexes et produits émis

Mélange complexe (gazeux et particulaires dont particules ultrafines)

Exposition principalement par inhalation

Limites des données disponibles :

Peu d'études (corpus plus important pour la FA plastique)

Études expérimentales ou chez l'Homme mais descriptives et sur faibles effectifs

Exploration de la toxicité aiguë

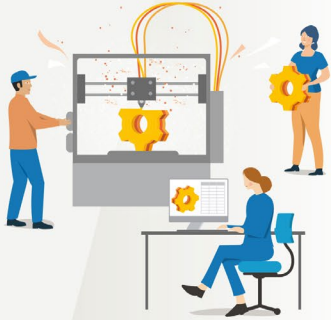
Nombre limité de procédés et de matières étudiés

Résultats parfois controversés

→ Difficulté d'extrapoler aux conséquences d'une exposition professionnelle

Nécessité de poursuivre la recherche : effets long terme, FA métallique, polyexposition, ...

Signaux d'alerte (respiratoires, cutanés, cardiovasculaires, stress oxydant/inflammation)



Rôle des services de prévention et de santé au travail

Information et conseil aux employeurs et aux travailleurs

- Risques pour la santé des travailleurs
- Mesures de prévention et d'hygiène à mettre en place
- Campagnes de métrologie
- Suivi de l'état de santé des travailleurs

Traçabilité +++

- Expositions
- Suivi de l'état de santé des travailleurs, surveillance post-exposition/professionnelle
 - Recommandations SFMT 2022

Suivi de l'état de santé des travailleurs ...



Rôle des services de prévention et de santé au travail

Suivi de l'état de santé des travailleurs

- Pas de disposition juridique spécifique à la fabrication additive
- Type de suivi dépend des risques déclarés par l'employeur
 - Notamment suivi individuel renforcé si exposition à des CMR cat.1A ou 1B selon le CLP
- Périodicité des visites et examens complémentaires à l'appréciation du médecin du travail en fonction des données de l'examen clinique et de l'appréciation de l'importance de l'exposition et d'éventuels autres risques associés
 - Recommandations de bonnes pratiques pour certains CMR (bronchopulmonaires, vessie,...)
 - Attention aux antécédents et signes de sensibilisation, pathologies respiratoires, cutanées, cardiovasculaires
- Projet de procréation / femmes enceintes et allaitantes
 - Approche multi risque
 - Nécessité d'anticiper les situations avec une évaluation des risques initiale
 - Intérêt d'informer le médecin du travail du projet le plus tôt possible
- Surveillance post-exposition/professionnelle (décret n°2022-372 du 16 mars 2022)



TAKE HOME MESSAGE



Plusieurs types de risques associés à la fabrication additive

Risque toxicologique :

- Données peu nombreuses et limitées
 - Problématique de la polyexposition
 - Signaux d'alerte (respiratoires, cutanés, cardiovasculaires, stress oxydant/inflammation,...)
- Nécessité de poursuivre la recherche et vigilance

Rôle central des services de prévention et de santé au travail

Information et conseil des employeurs et des travailleurs

Suivi de l'état de santé des travailleurs

- Attention aux pathologies cutanées, respiratoires, cardiovasculaires
- Populations à risque : anticiper !
- Surveillance post-exposition/professionnelle : décret n°2022-372 du 16 mars 2022

Traçabilité des expositions et du suivi (recommandations SFMT 2022)



Merci de votre attention !

Références

- Assenhøj M et al. Metal exposure from additive manufacturing and its effect on the nasal lavage fluid proteome - a pilot study. *PLoS One*. 2021;16(8):e0256746.
- Chan FL et al. Emissions and health risks from the use of 3D printers in an occupational setting. *J Toxicol Environ Health A*. 2020;83(7):279-287.
- Chen R et al. Exposure, assessment and health hazards of particulate matter in metal additive manufacturing: A review. *Chemosphere*. 2020.
- Creytens K et al. A new application for epoxy resins resulting in occupational allergic contact dermatitis: the three-dimensional printing industry. *Contact Dermatitis*. 2017;77(5):349-351.
- Farcas MT et al. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polycarbonate (PC) filaments three-dimensional (3-D) printer emissions-induced cell toxicity. *Toxicol Lett*. 2019 ;317:1-12.
- Farcas MT et al. Pulmonary and systemic toxicity in rats following inhalation exposure of 3-D printer emissions from acrylonitrile butadiene styrene (ABS) filament. *Inhal Toxicol*. 2020;32(11-12):403-418.
- Gümperlein I et al. Acute health effects of desktop 3D printing (fused deposition modeling) using acrylonitrile butadiene styrene and polylactic acid materials: An experimental exposure study in human volunteers. *Indoor Air*. 2018;28(4):611-623.
- House R et al. Case report of asthma associated with 3D printing. *Occup Med (Lond)*. 2017;67(8):652-654.
- Johannes J et al. Chronic hypersensitivity pneumonitis associated with inhaled exposure to nylon powder for 3-D printing: a variant of nylon flock worker's lung disease? *Am J Respir Crit Care Med*. 2016;193:A7071.
- Lewinski NA et al. On-Site Three-Dimensional Printer Aerosol Hazard Assessment: Pilot Study of a Portable in vitro Exposure Cassette. 2019. Published online in Wiley Online Library.
- Ljunggren SA et al. Biomonitoring of Metal Exposure During Additive Manufacturing (3D Printing). *Saf Health Work*. 2019 ;10(4):518-526.
- Mohammadian Y et al. Toxicity risks of occupational exposure in 3D printing and bioprinting industries: A systematic review. *Toxicol Ind Health*. 2021;37(9):573-584.
- Stefaniak AB et al. Inhalation exposure to three-dimensional printer emissions stimulates acute hypertension and microvascular dysfunction. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2017;335:1-5.
- Vallabani NVS et al. Toxicity evaluation of particles formed during 3D-printing: Cytotoxic, genotoxic, and inflammatory response in lung and macrophage models. *Toxicology*. 2022;467:153100.
- Zhang Q et al. Chemical Composition and Toxicity of Particles Emitted from a Consumer-Level 3D Printer Using Various Materials. *Environ Sci Technol*. 2019;53(20):12054-12061.

