

JOURNÉE  
TECHNIQUE

**Fabrication additive**

Comment construire  
une prévention adaptée ?



# Emissions lors de différentes phases de travail

François-Xavier Keller

**Institut National de Recherche et de Sécurité**

Département Ingénierie des Procédés

keller@inrs.fr

**Mardi 17 mai 2022**

Paris – Maison de la RATP

JT INRS FABRICATION ADDITIVE - 17/05/2022

# Rappels

- Opérations exposantes :

- fabrication
- alimentation des machines
- récupération pièces
- parachèvement – nettoyage
- maintenance
- ventilation présente sur la machine
- ventilation des locaux contenant les machines

## A. Fabrication additive métallique

1. Caractérisation projection poudre métallique
2. Caractérisation fusion sur lit de poudre métallique

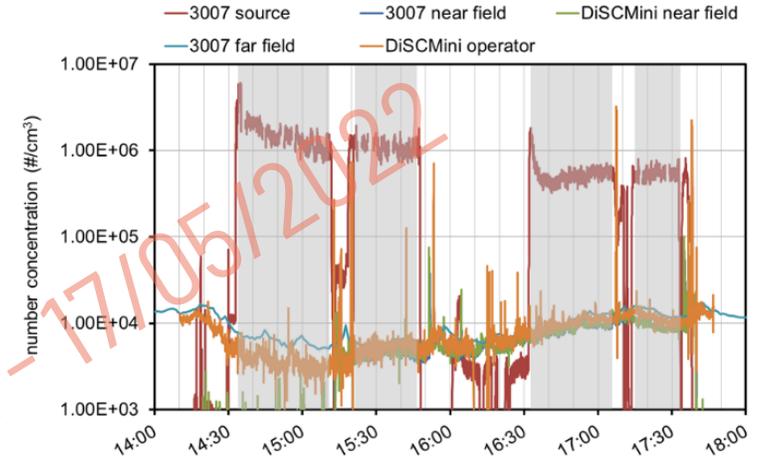
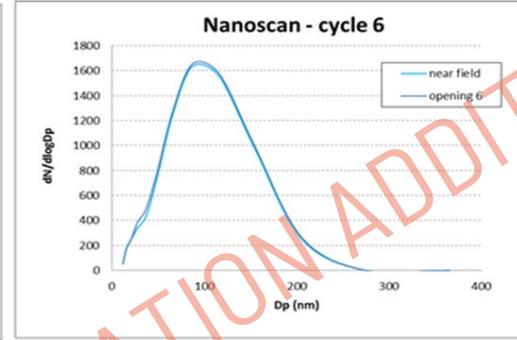
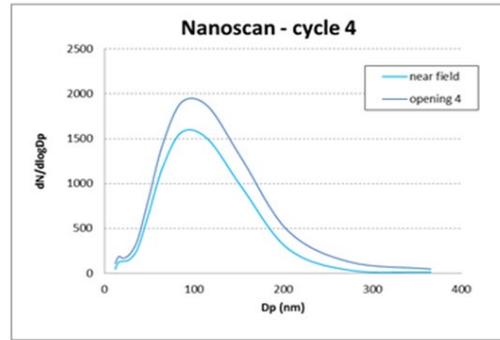
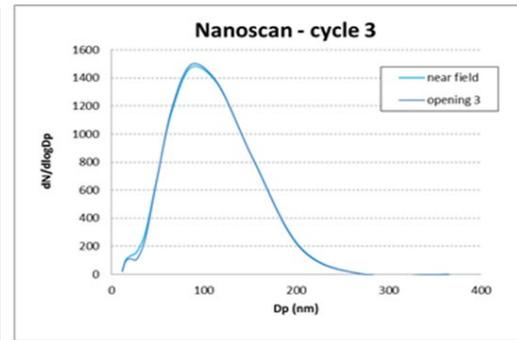
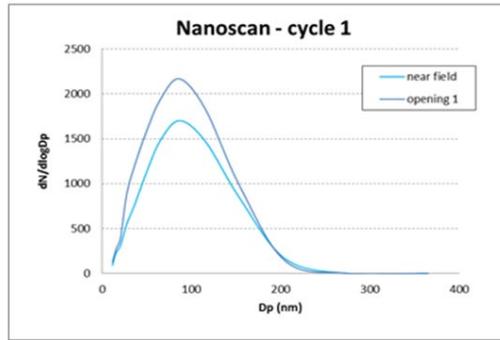
## B. Fabrication additive non-métallique

1. Imprimante 3D polymère – fusion de fil
2. Imprimante 3D – photo polymérisation en cuve

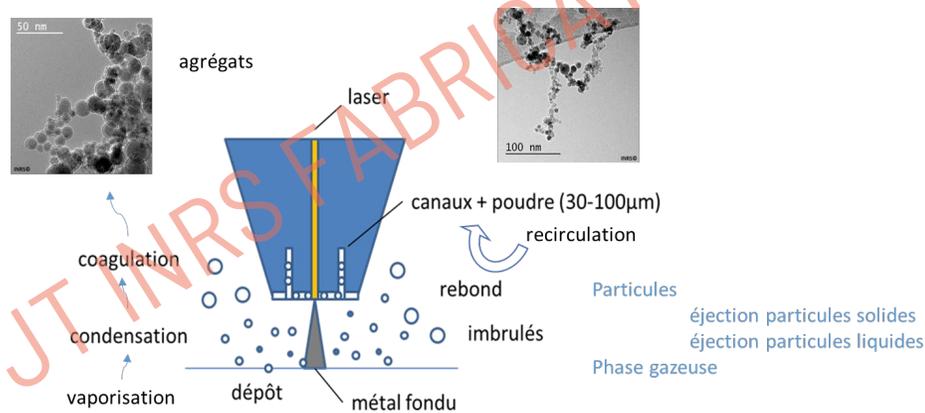
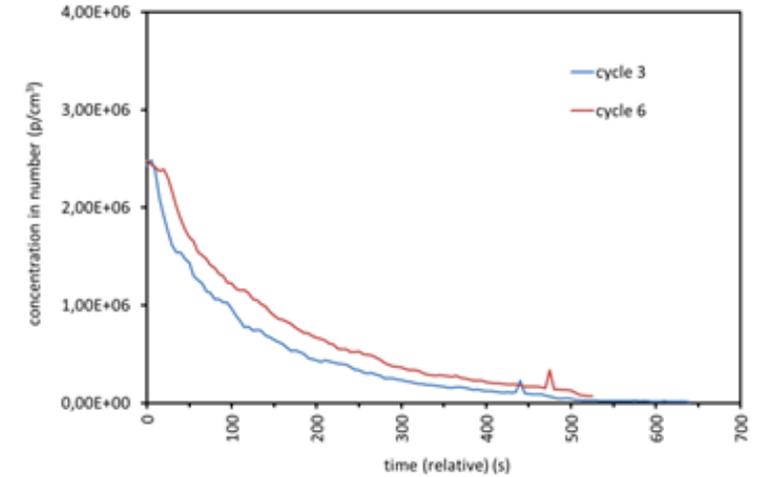
- Objectifs principaux :

- Définir les différents procédés présents dans l'industrie
- Mise en place d'une méthode de caractérisation des émissions
- Sensibiliser les fabricants et les utilisateurs de machines à la problématique du risque chimique

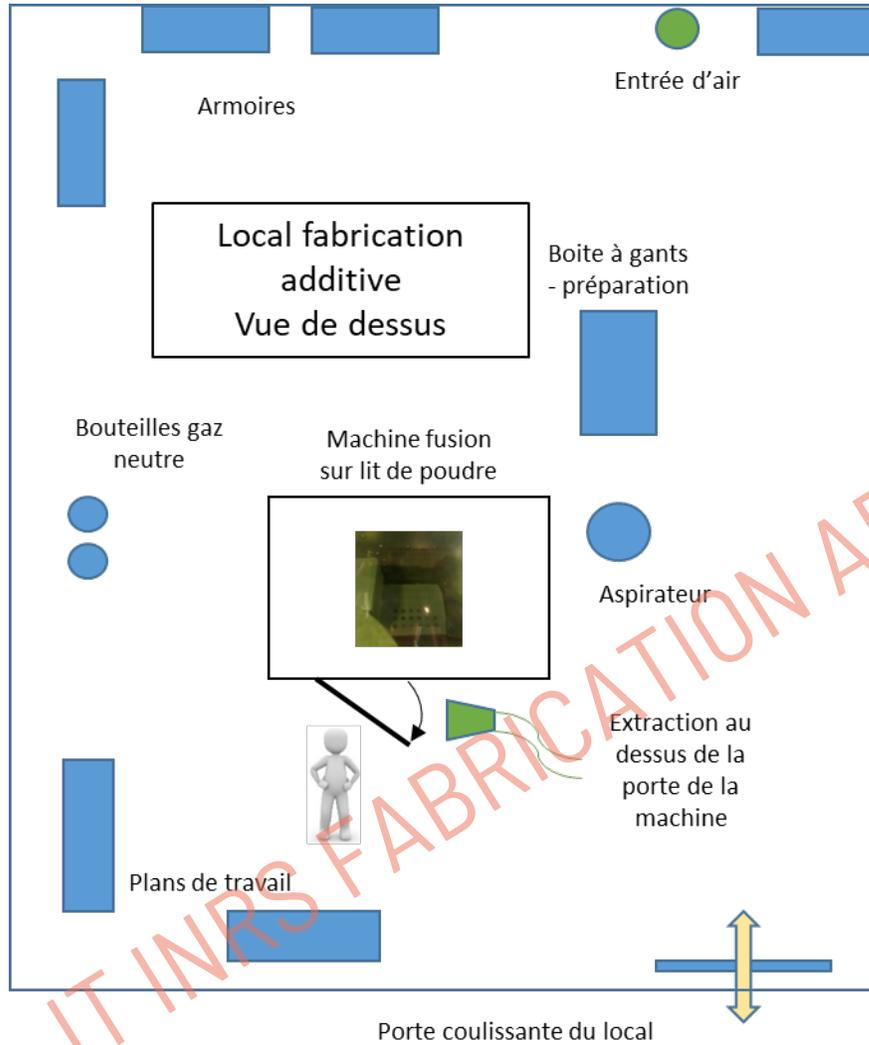
# Projection de poudres - temporisation



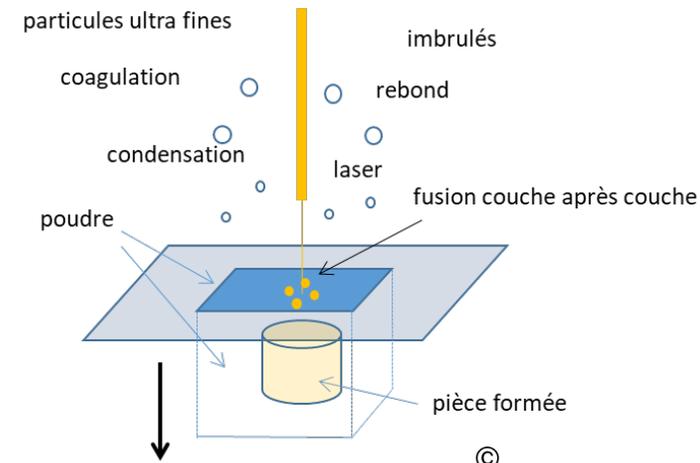
Débit de ventilation à l'intérieur de la chambre de fabrication: 330 m<sup>3</sup>/h



# Fusion sur lit de poudre – Récupération de pièces



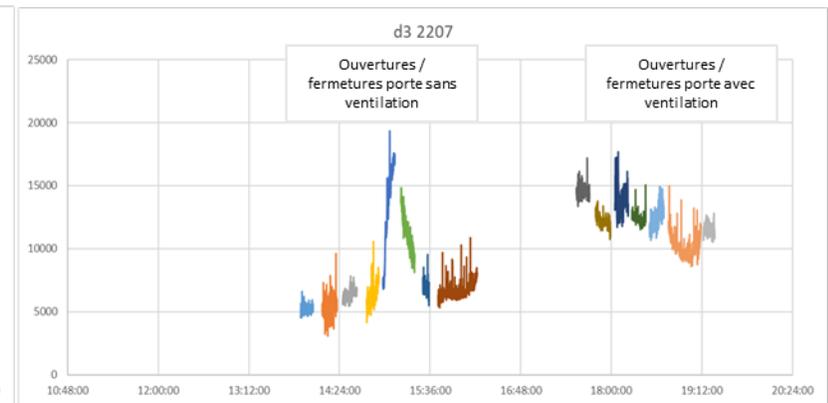
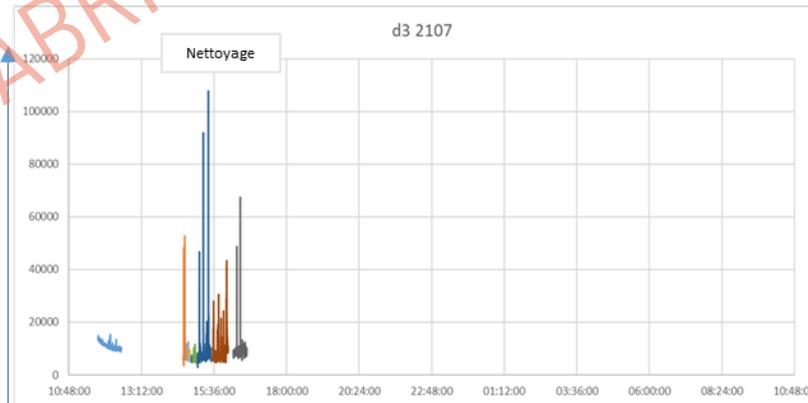
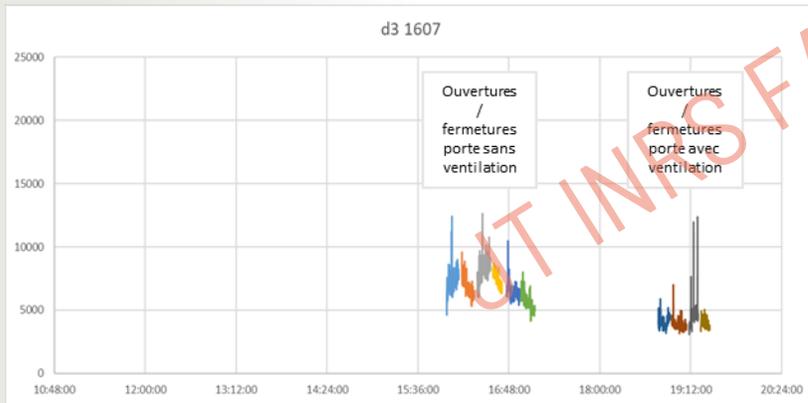
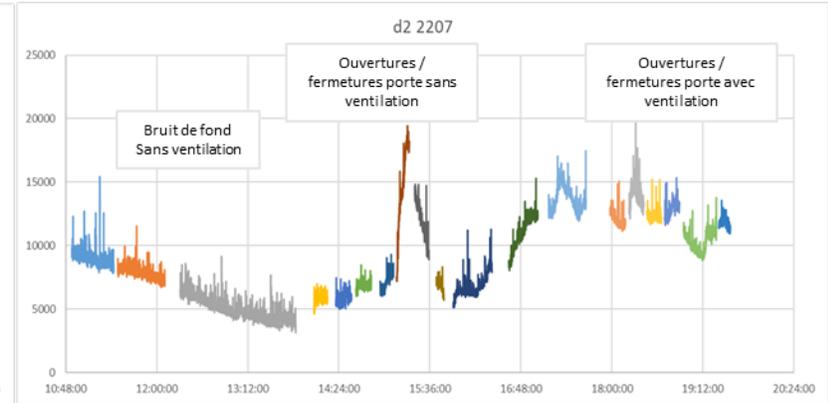
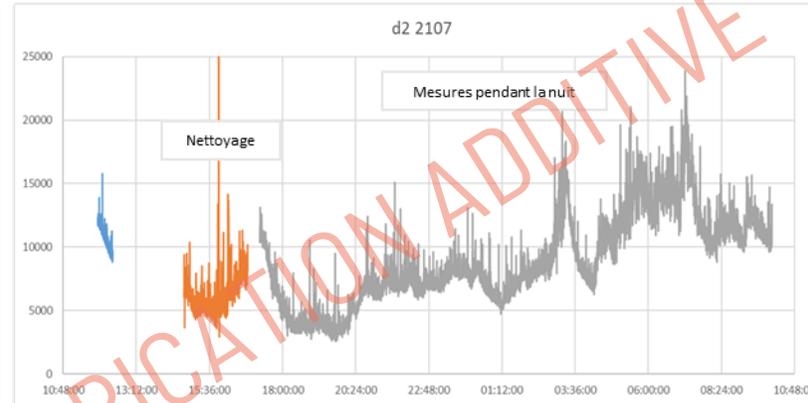
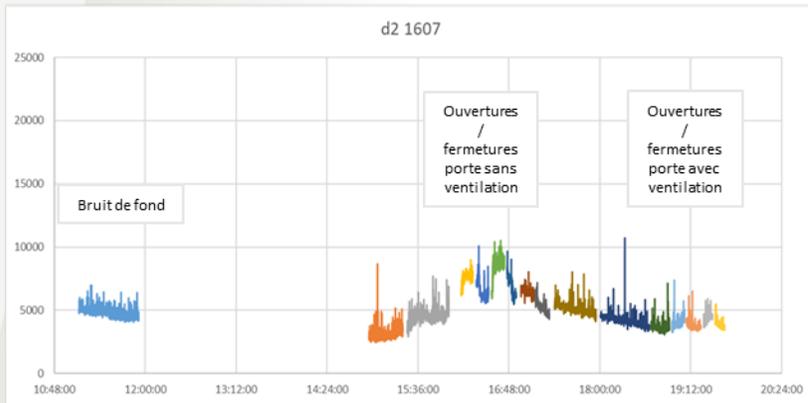
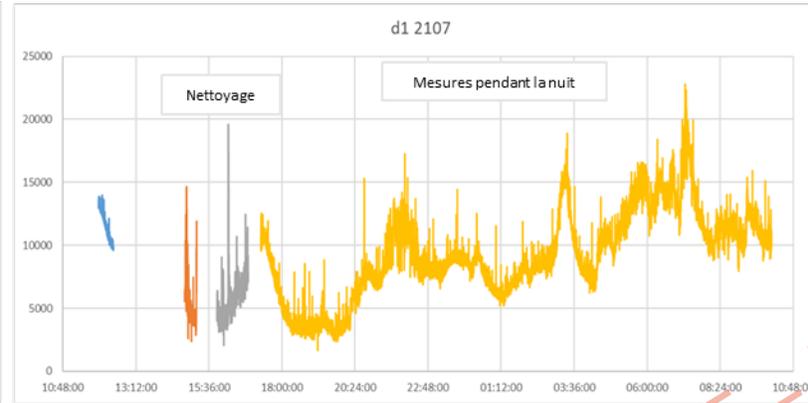
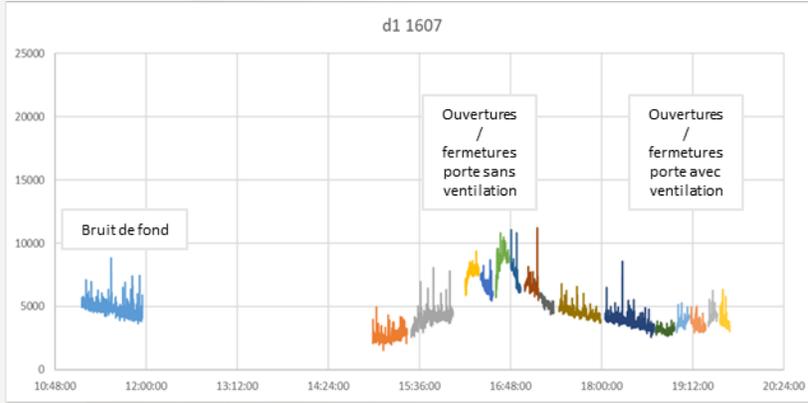
Aspiration au niveau de la bouche mise en place au niveau de la porte de la machine de l'ordre de 1300 m<sup>3</sup>/h



# Fusion sur lit de poudre

discmini 1 = d1, discmini 2 = d2, discmini 3 = d3  
16 juillet / 21 juillet / 22 juillet

Nombre de particules par cm<sup>3</sup> en fonction du temps



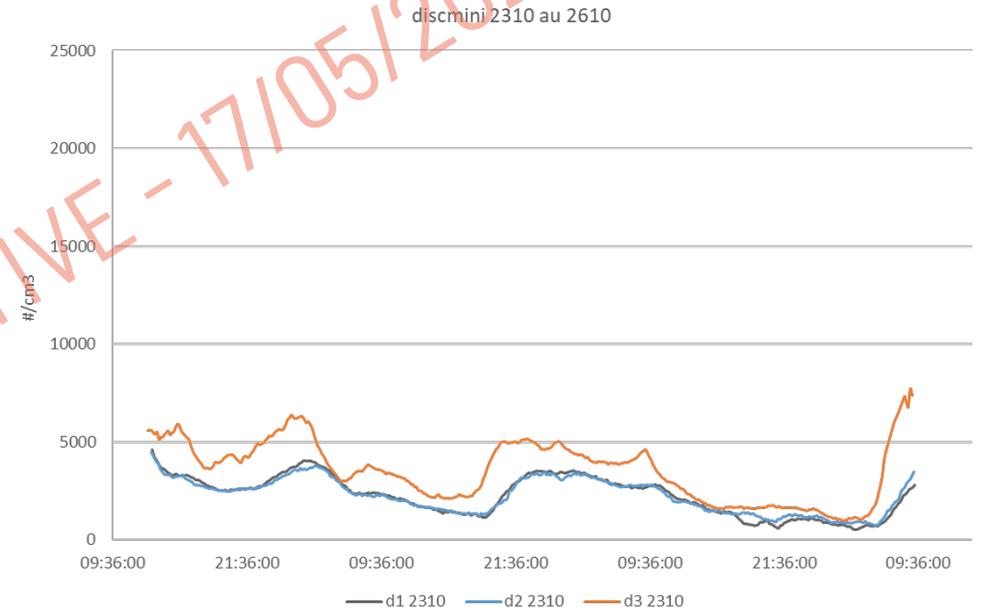
Echelle 120000 #/cm<sup>3</sup> car phase exposante

17-05-2022

# Fusion sur lit de poudre - Nettoyage



©

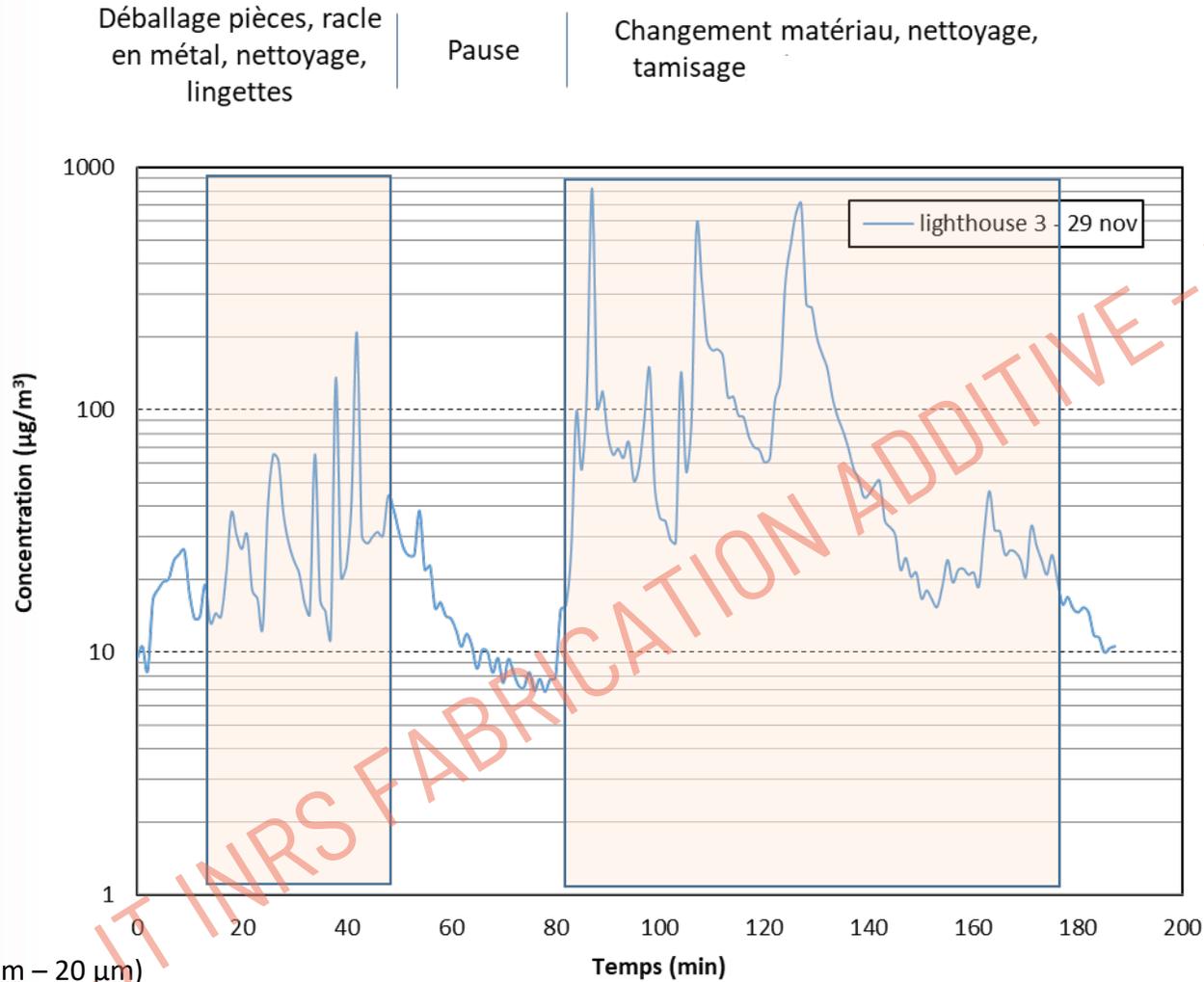


# Fusion sur lit de poudre – Chargement matériau



Lighthouse

Lighthouse (400 nm – 20 µm)  
sur établi dans la salle machine



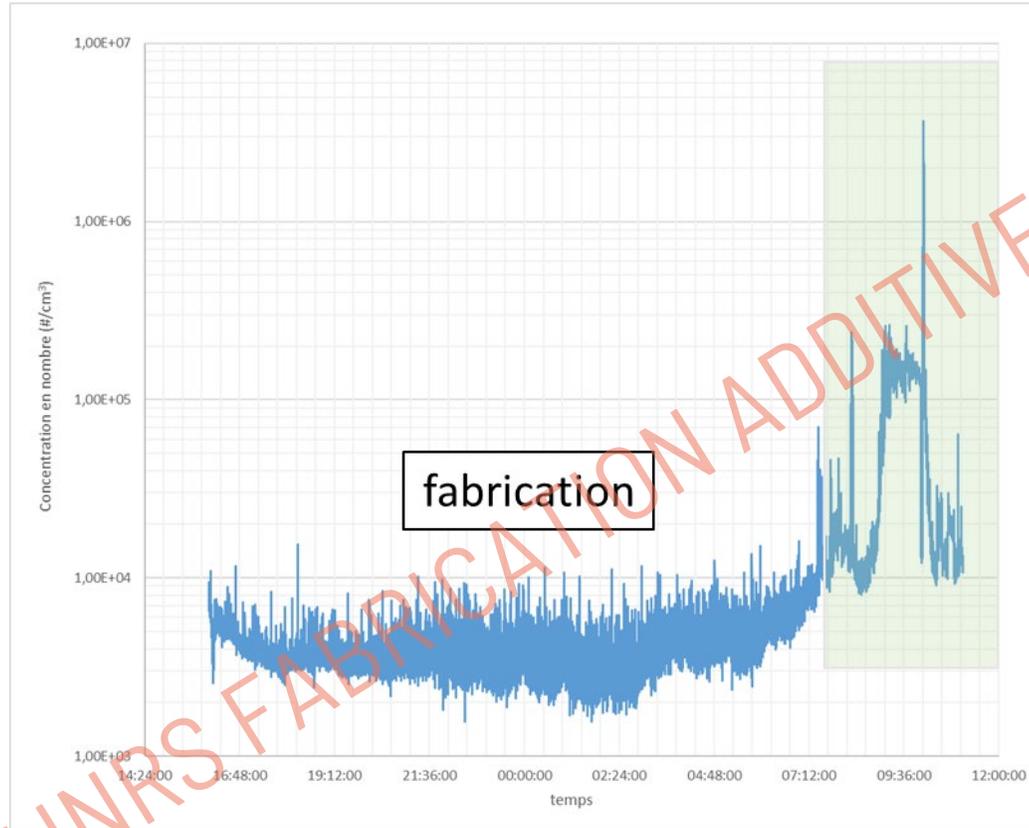
- Matière AISi10Mg (poudre 15-65 µm)
- Sous argon



# Fusion sur lit de poudre – Céramiste dentaire

Métal utilisé : CrCo

18 novembre 2019



- Récupération pièce
- Nettoyage
- Aspiration poudre
- Tamisage
- Burinage
- Meulage



Testo DISCmini

Particules nanométriques

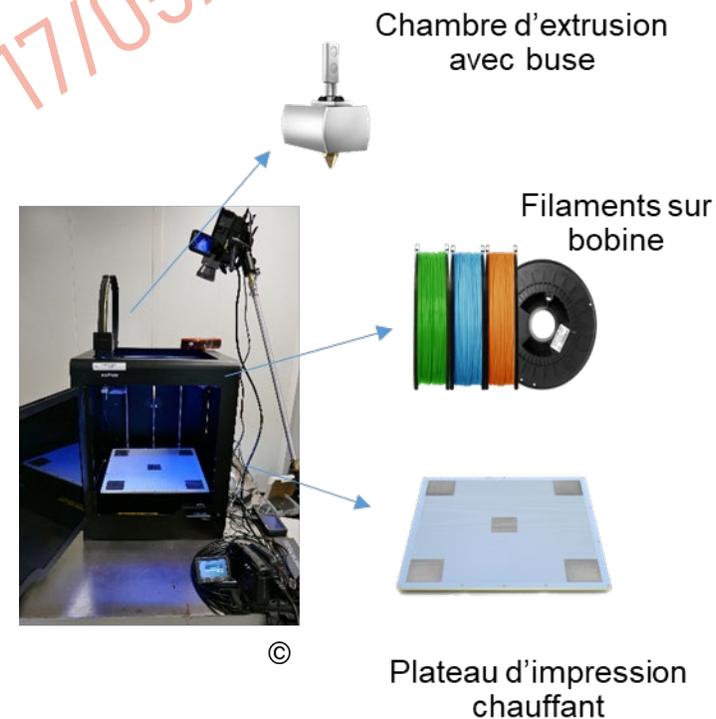
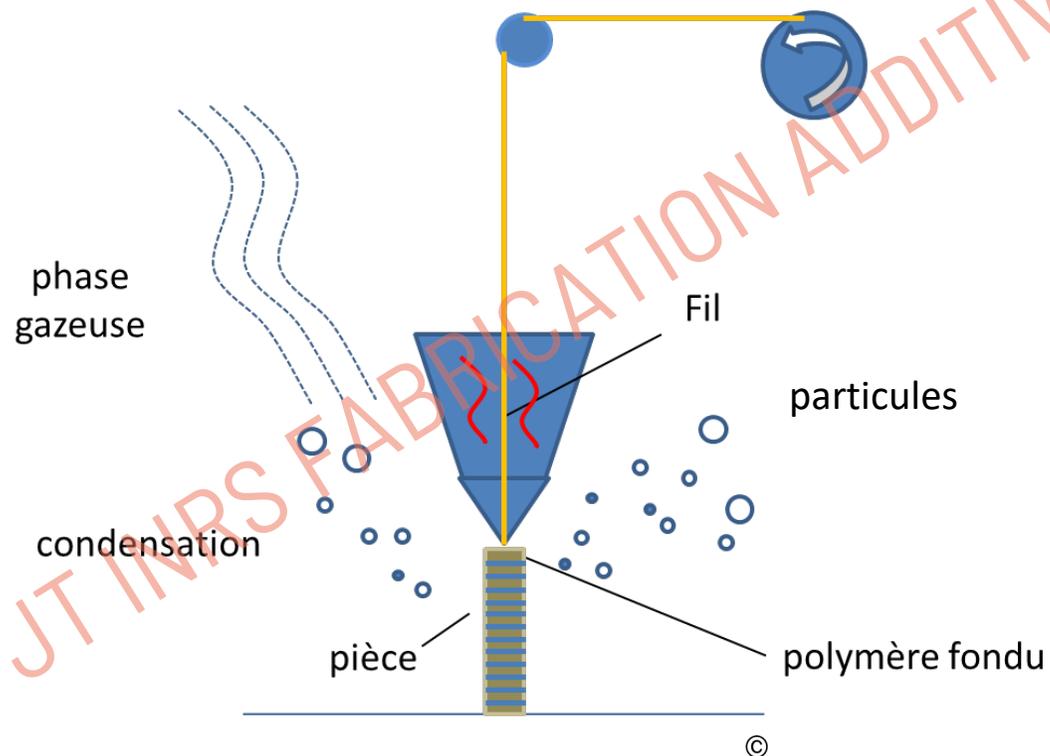


# Dépôt de fil

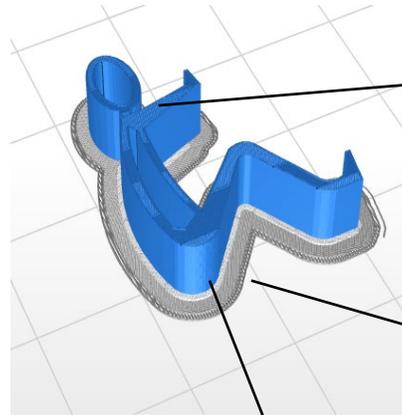


- Procédé mettant en œuvre des polymères (ABS Acrylonitrile Butadiène Styrène, PLA acide polylactique, etc...)
  - **FDM** (Fused Deposition Modeling - Dépôt de fil - fusion de fil polymère)
  - Fil chauffé
  - Épaisseur de couche 100 à 200  $\mu\text{m}$
  - Température 200-300°C

- Zortrax M300
- Principe: dépôt de filament par couches successives



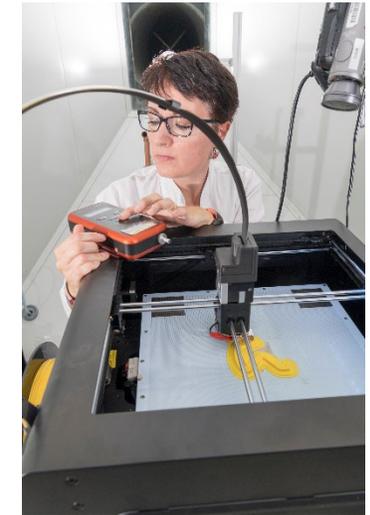
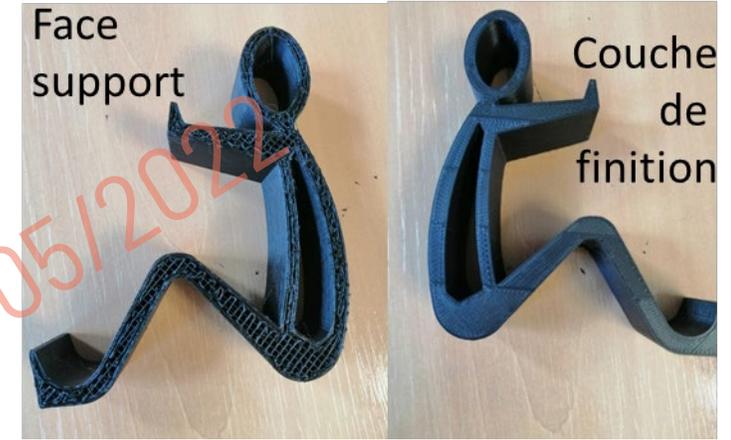
# Dépôt de fil



Phase 3: couche de finition

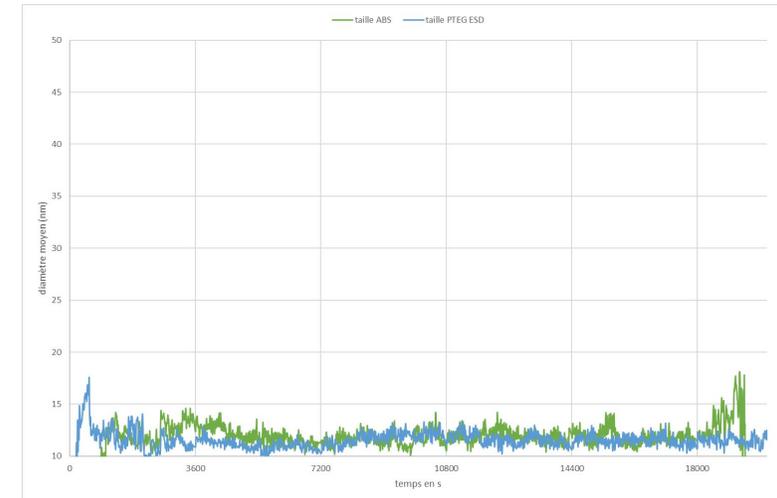
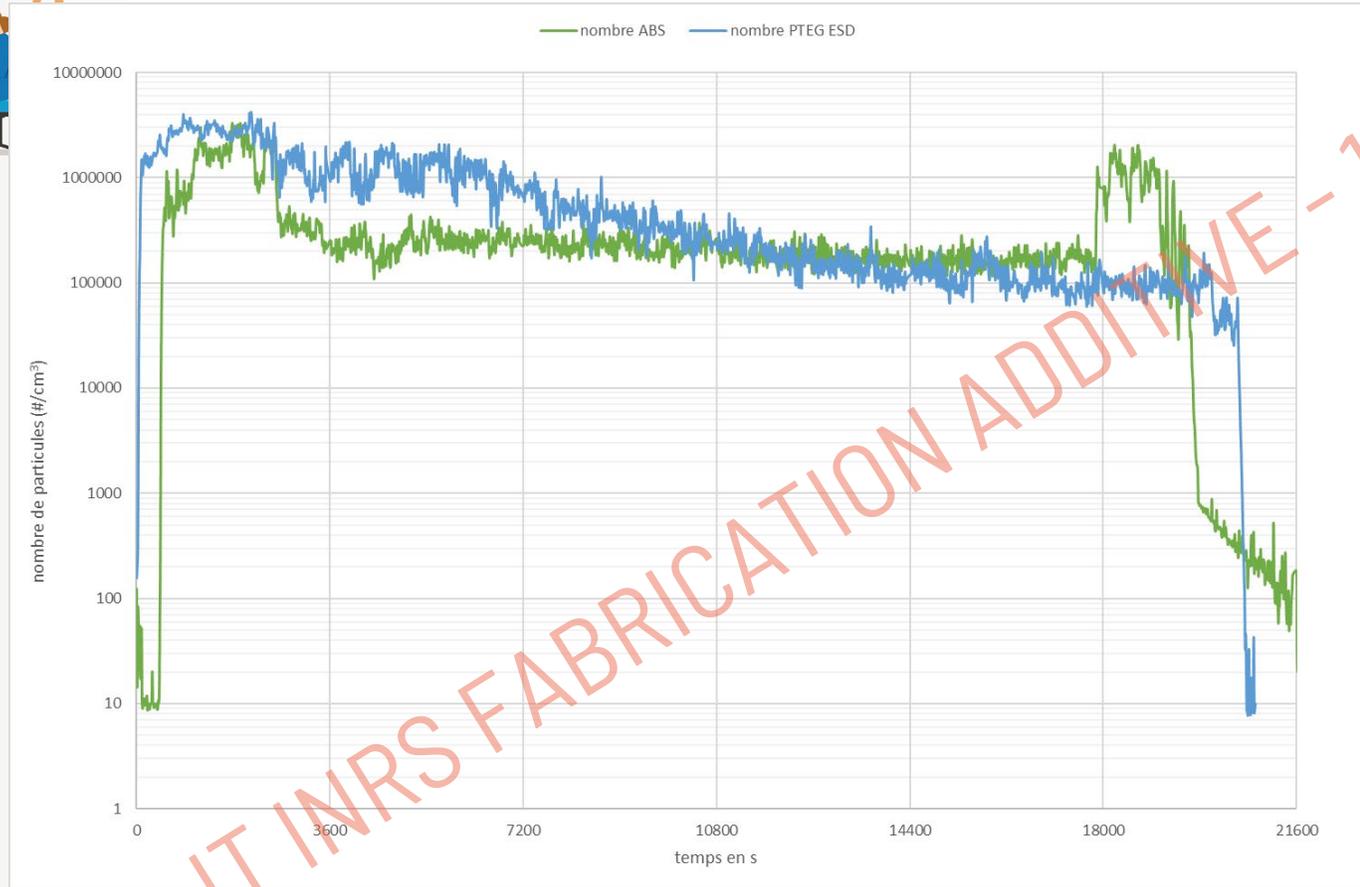
Phase 1: fabrication du support

Phase 2: fabrication de la pièce



©

# Dépôt de fil – 2 fils : ABS (acrylonitrile butadiène styrène) et PETG (polyethylene terephthalate glycol-modified)

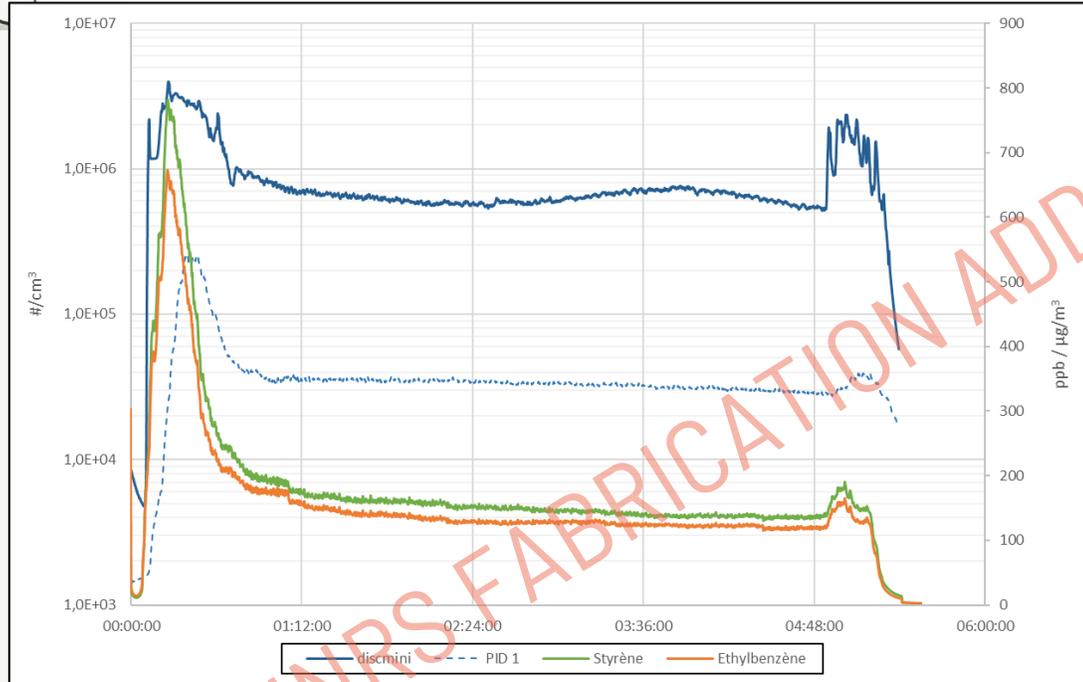


JT INRS FABRICATION ADDITIVE - 17/05/2022

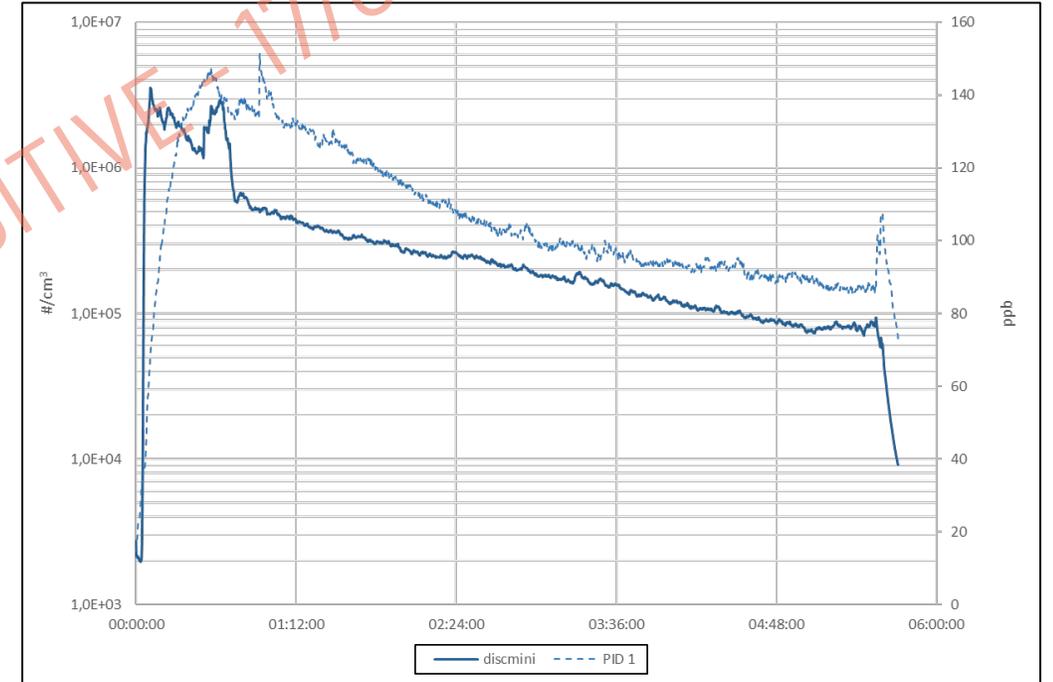
# Dépôt de fil – 2 fils : ABS (acrylonitrile butadiène styrène) et PETG (polyethylene terephthalate glycol-modified)



ABS 275°C



PTEG ESD 280°C



# Dépôt de fil – COV émis



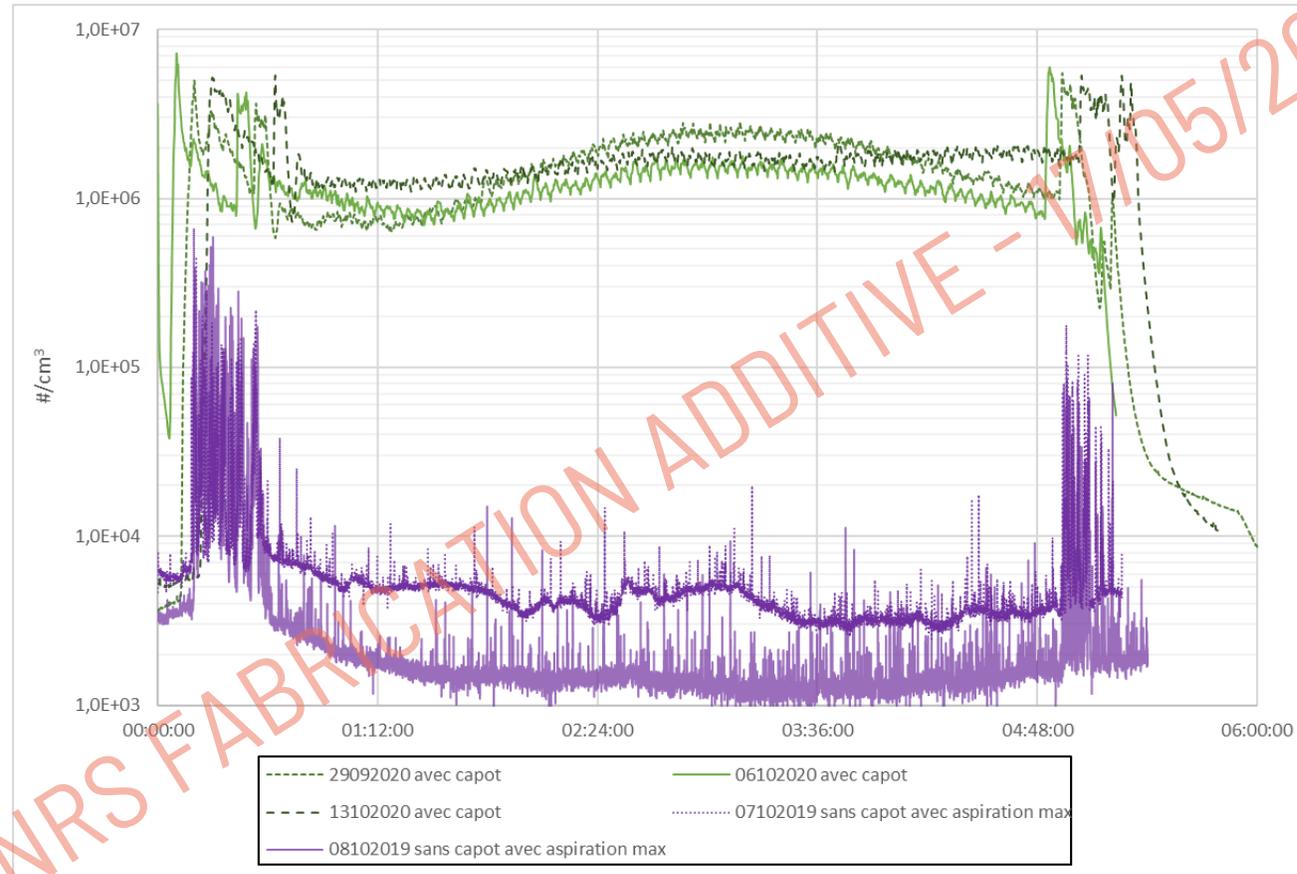
©

ABS Moyenne/proportion			ASA Moyenne/proportion			PETG-ESD Moyenne/proportion		
Composés quantifiés	µg/m <sup>3</sup>	%	Composés quantifiés	µg/m <sup>3</sup>	%	Composés quantifiés	µg/m <sup>3</sup>	%
· Styène (100-42-5)	<b>182.3</b>	<b>35.6</b>	· Styène (100-42-5)	<b>72.1</b>	<b>70.6</b>	· Styène (100-42-5)	<b>0.2</b>	1.3
· Benzène (71-43-2)	1.6	0.3	· Benzène (71-43-2)	1.4	1.3	· Benzène (71-43-2)	<b>0.7</b>	4.6
· Toluène (108-88-3)	1.5	0.3	· Toluène (108-88-3)	5.0	4.9	· Toluène (108-88-3)	<b>0.6</b>	3.8
· o,m+p xylènes	3.8	0.7	· o,m+p xylènes	1.0	1.0	· o,m+p xylènes	<b>0.4</b>	2.3
· Ethylbenzène (100-41-1)	<b>298.5</b>	<b>58.4</b>	· Ethylbenzène (100-41-1)	3.7	3.6	· Ethylbenzène (100-41-1)	<b>0.1</b>	0.6
· Acétaldehyde (75 07 0)	4.8	0.9	· Acétaldehyde (75 07 0)	3.4	3.3	· Acétaldehyde (75 07 0)	<b>4.7</b>	31.0
· Benzaldéhyde (100 52 7)	6.5	1.3	· Benzaldéhyde (100 52 7)	5.5	5.3	· Benzaldéhyde (100 52 7)		0.0
· Formaldéhyde (50 00 0)	5.8	1.1	· Formaldéhyde (50 00 0)	4.5	4.4	· Formaldéhyde (50 00 0)	<b>4.5</b>	29.5
· Acétone (67 64 1)	6.8	1.3	· Acétone (67 64 1)	5.6	5.4	· Acétone (67 64 1)	<b>4.1</b>	27.0
TOTAL en µg/m3	<b>511.5</b>	100	TOTAL en µg/m3	<b>102.0</b>	100	TOTAL en µg/m3	<b>15.3</b>	100

# Dépôt de fil – Impact ventilation



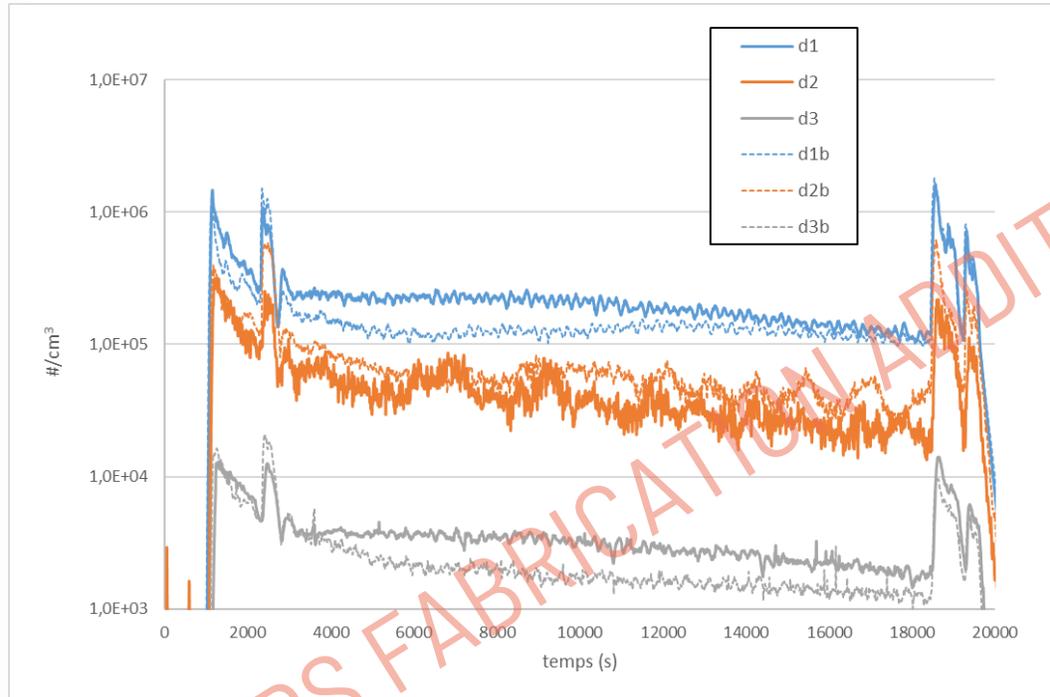
Testo DISCmini



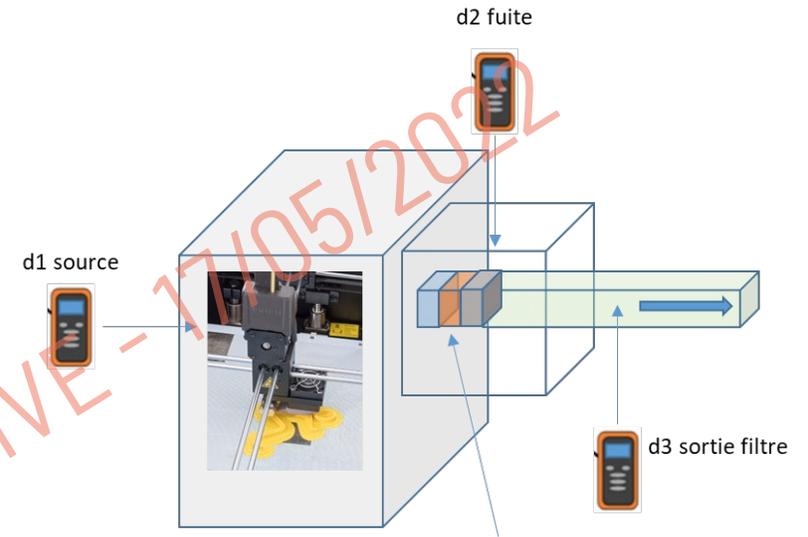
ABS vert 275°C

Débit ~ 500 m<sup>3</sup>/h

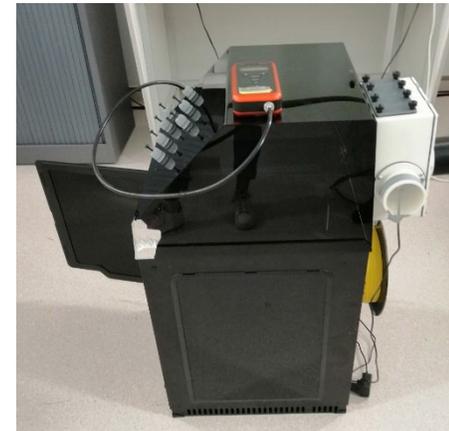
# Dépôt de fil – Capot



Q ~ 15 m³/h

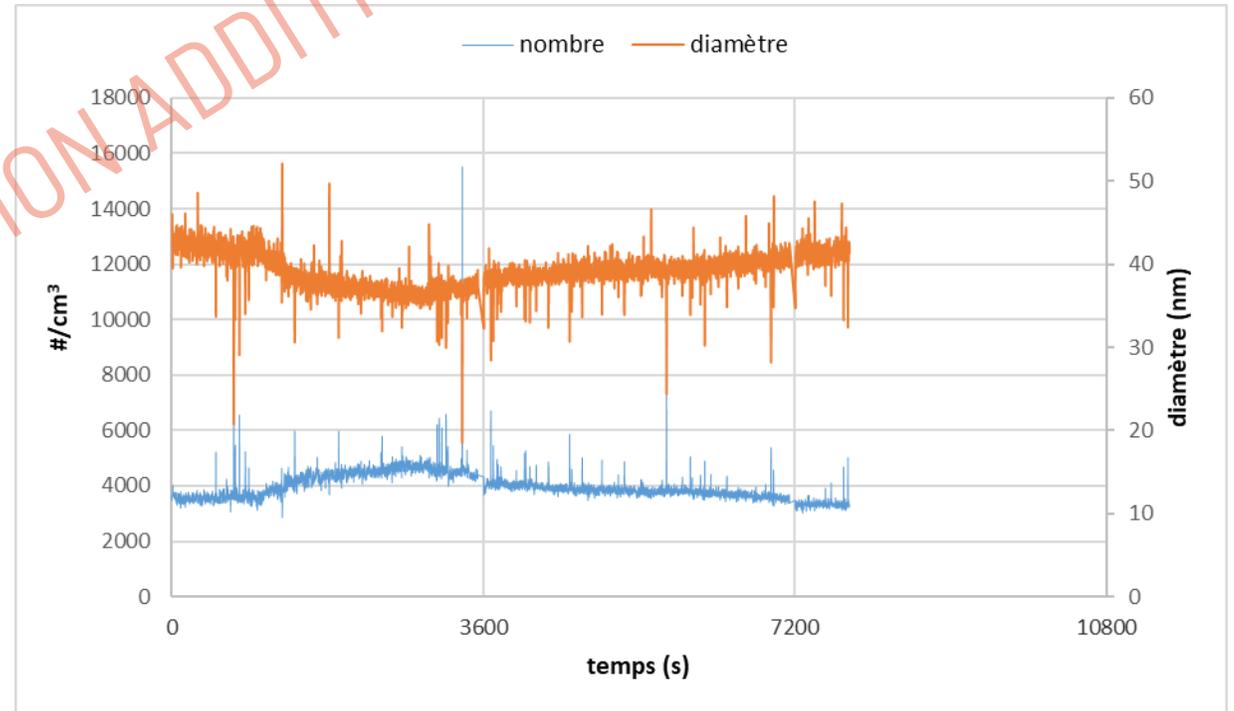
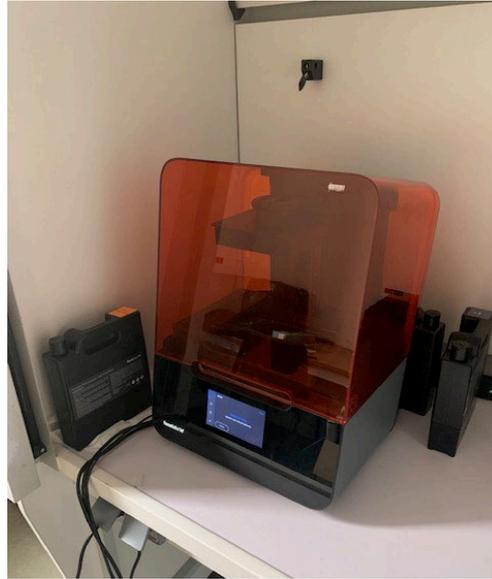


Filtere papier, filtre charbon, ventilateur axial



©

# Photo-polymérisation en cuve



# Conclusions



- Pendant la fabrication, présence élevée de particules ultrafines
- Installer les machines dans un local ventilé ou sous hotte aspirante / enceinte ventilée afin de capter les émissions générées lors de la fabrication
- Installer des tables aspirantes avec dossierets, anneaux aspirants pour remplissage de récipients ou de machines
- Port nécessaire d'équipements de protection individuelles lors de l'intervention sur la machine : phases de maintenance, nettoyage / chargement de la machine (poudres)





17/05/2022

JT INRS FABRICATION ADDITIVE - 17/05/2022

# Merci de votre attention

Remerciements à Jennifer Klingler, Laurence Robert et Mohamed-Nour Azzougagh



### Conférences :

Bau, S., Payet, R. et al. (2018). Assessing exposure to aerosols emitted from a direct metal deposition additive manufacturing process. 5<sup>th</sup> Working & Indoor Aerosols Conference. 18-20 April 2018. Cassino, Italy.

Keller, F.X., Bau, S. et al. (2018). Additive metal manufacturing emission characterization. Roomvent June 2018. Espoo, Finland.

Keller, F.X., Bau, S., Payet R., Rousset D. (2018). Additive metal manufacturing emission characterizations using a multi-metric methodology. Grenoble, NanoSafe 2018.

Keller F.X. (2018) Caractérisation des émissions générées par les procédés de fabrication additive. Assises Européennes de Fabrication Additive. Paris, AEFA, Juin 2018.

### Articles :

Bau, Rousset, Payet, Keller (2019). Characterizing particle emission from a direct energy deposition additive manufacturing process and associated occupational exposure to airborne particles. JOEH 2019.

Azzougagh, Keller, Cabrol, Pourchez (2021). Occupational exposure during metal additive manufacturing: a case study of laser powder bed fusion of aluminium alloy. JOEH 2021.

Azzougagh, Keller, Cici, Cabrol, Pourchez (2021) Ultrafine aerosol transient phase measurement with real-time monitoring instrument applied to cleaning process of L-Pbf machine. Toxicology and Environmental Health Sciences.