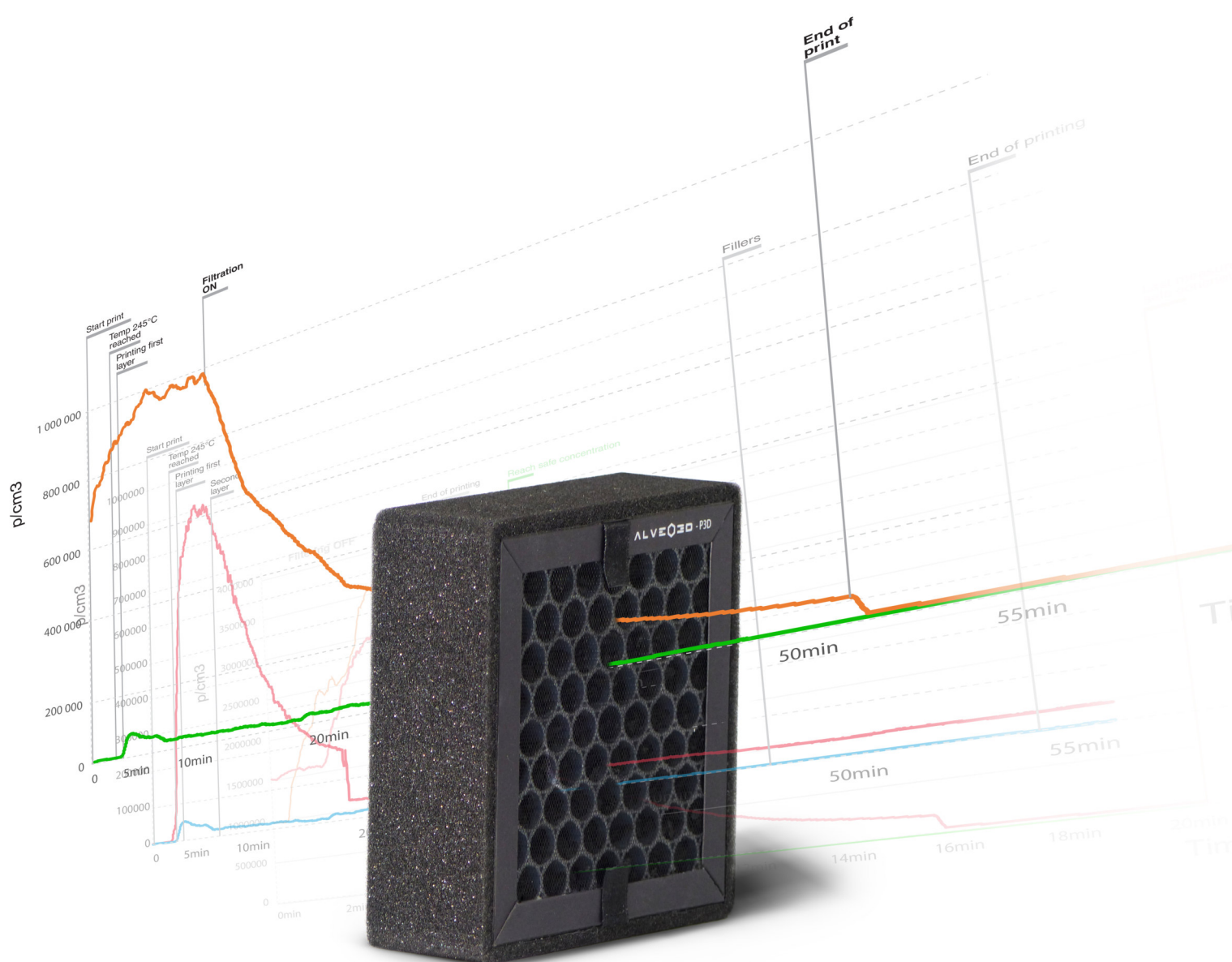


ÉTUDE GLOBALE : Émissions de nanoparticules en Fabrication Additive et Mesures d'efficacité des Filtres P3D



www.alveo3d.com

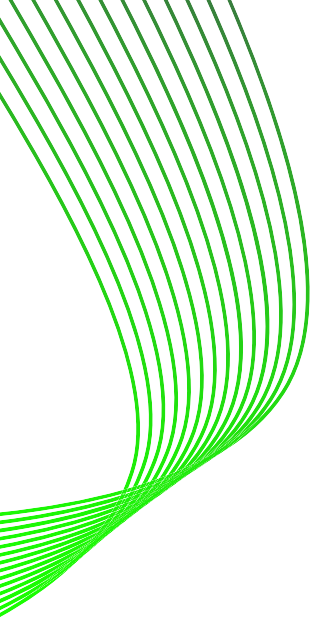


TABLE DES MATIERES :

1.	Introduction	2
2.	Le protocole	2
3.	Les mesures effectuées.....	4
a)	Filament ABS	4
b)	Filament PLA	6
c)	Filament PETG	8
4.	L'efficacité du filtre P3D	10
a)	Filament ABS	10
b)	Filament PLA	11
c)	Filament PETG	11
5.	Changement des filaments	12
6.	Conclusion et recommandations.....	15

1. Introduction

La fabrication additive par dépôt de filaments (FDM) a montré un potentiel risque pour la santé des opérateurs et des personnes exposées aux émissions polluantes liées à la fusion du plastique chauffé dans des locaux peu ou non ventilés. Ces émissions polluantes sont constituées de COV et de nanoparticules.

Les études déjà publiées sur le sujet mettent en évidence une production majoritaire de nanoparticules de 10 à 100 nm. Au-delà, les quantités de particules de 100 à 500 nm sont moins abondantes.

En février 2021, nous avons donc décidé d'entreprendre une étude dont l'objectif est de quantifier la quantité de nanoparticules produites lors d'une impression dans un caisson d'imprimante 3D. Dans un second temps, nous avons cherché à évaluer l'efficacité du filtre P3D en fonction de la concentration de particules présentes dans le caisson d'imprimante 3D.

Afin de réaliser ces objectifs, nous avons réalisé le protocole suivant :

2. Le protocole

Nous avons réalisé une campagne de mesures dans les locaux d'Alveo3D.

Nous disposons d'un banc de mesure spécialement dédié à l'étude des particules et nous mesurons la production de ces éléments à l'aide d'un compteur CPC Palas modèle ENVI-CPC-100. La plage de mesure de l'appareil est de 7 à 5000 nm avec une précision de 5% jusqu'à 100 000 p/cm³ et 10% au-delà.



Pour générer les particules, une imprimante 3D Prusa MK3S a été utilisée dans un caisson à flux d'air contrôlé monté sur un banc de mesure réalisé par Alveo3D.

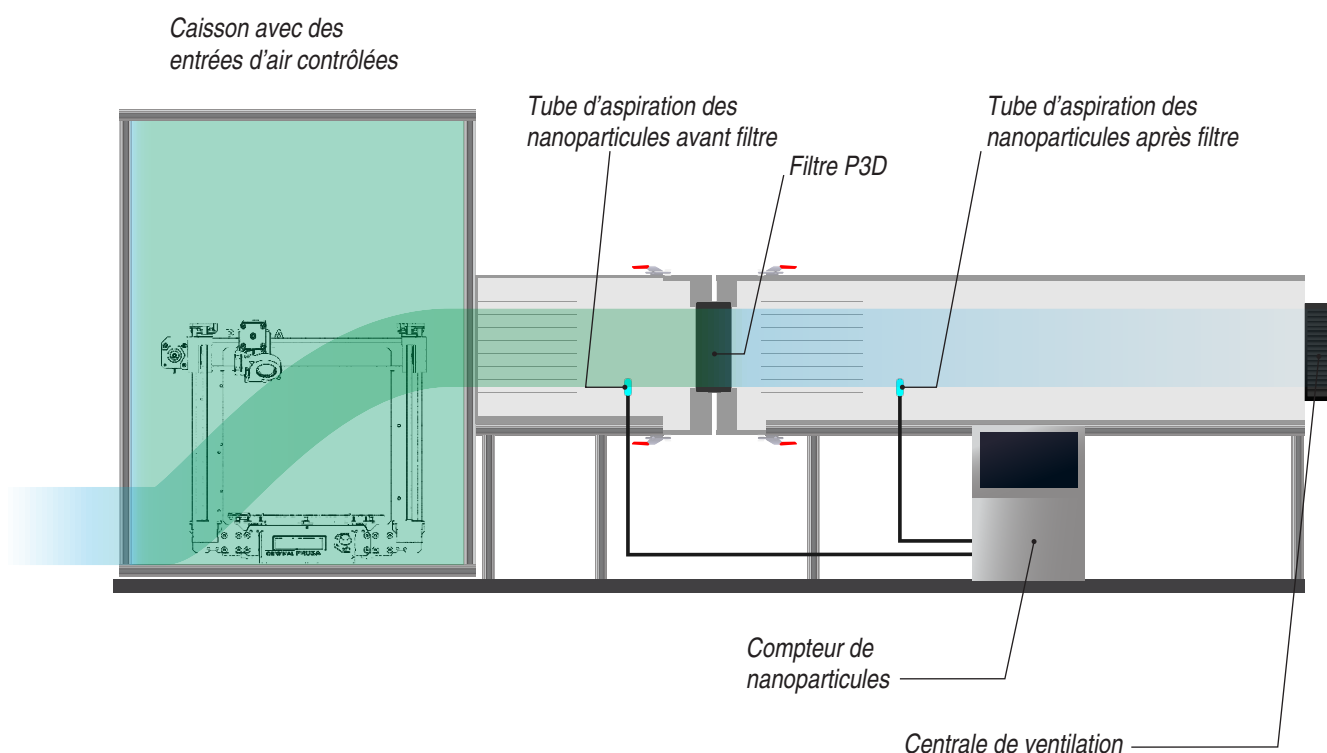
A la date de l'étude, en 2021, le banc de mesure était encore en développement et les prises de mesures avaient été faites manuellement en amont et en aval du filtre dans le conduit.

L'imprimante 3D agit comme un générateur de particules. Le flux d'air est dirigé dans le conduit de prélèvement ce qui oblige un passage des particules à travers le filtre.

La section amont du filtre permet de prendre des mesures relatives à la production des particules dans le volume du caisson d'imprimante 3D. Cette configuration est tout à fait similaire aux conditions réelles d'emploi des imprimantes 3D avec caisson de sécurité ALVEO3D. La partie aval du conduit représente l'air « propre » en sortie de filtre.

Une première série de mesures a été réalisée pour chaque plastique couramment utilisé de la marque PRUSAMENT : c'est à dire les PLA, PETG, ABS

Chaque processus d'impression 3D est programmé avec le même fichier GCODE, (un langage de programmation permettant à la machine de comprendre les instructions nécessaires pour produire la pièce finale). De plus, les températures d'extrusion appliquées étaient dans la plage préconisée par le fabricant.



Une seconde séquence de mesures est réalisée afin de quantifier l'efficacité des filtres avec une alternance de prélèvements avant et après filtre au cours d'une même impression.

3. Les mesures effectuées

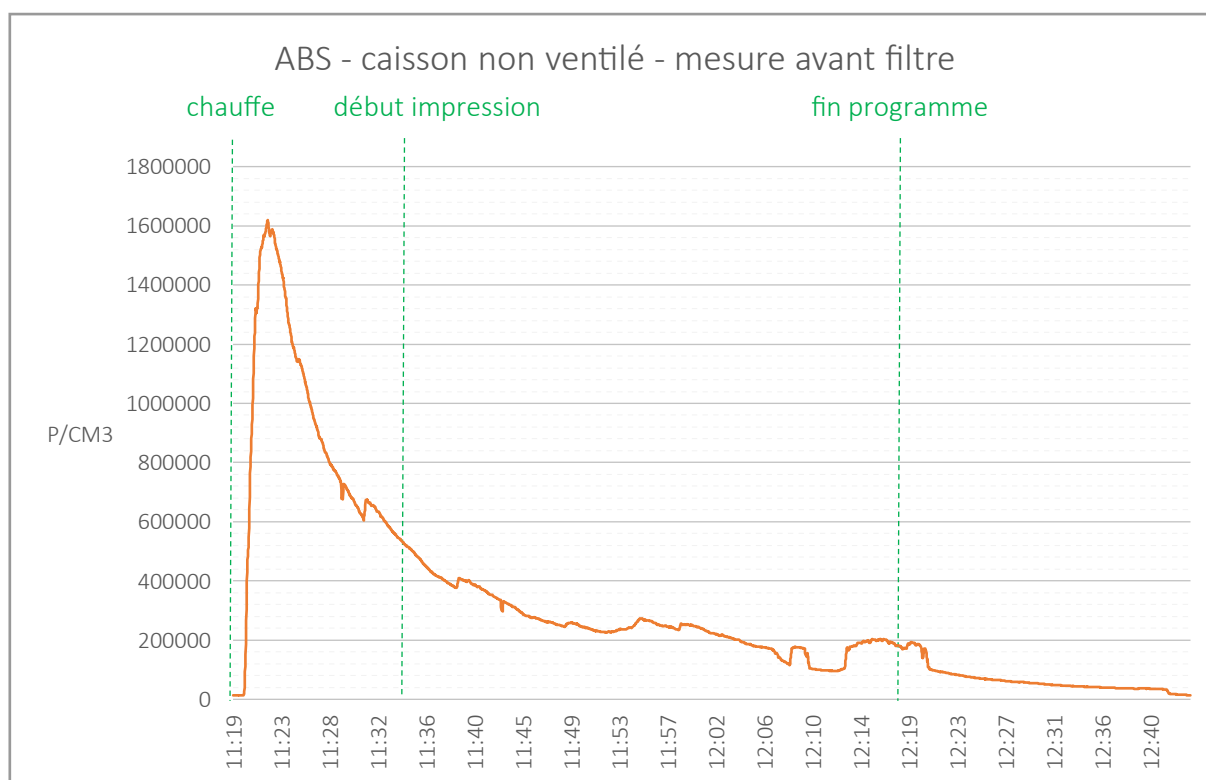
Durant la première séquence, les mesures se sont déroulées par cycle complet de fabrication. Pour chaque filament de plastique, les particules ont été mesurées en 3 étapes distinctes :

- Etape 1 : Mesure dans le caisson sans ventilation d'air
- Etape 2 : Mesure dans le caisson avec ventilation d'air
- Etape 3 : Mesure après le filtre

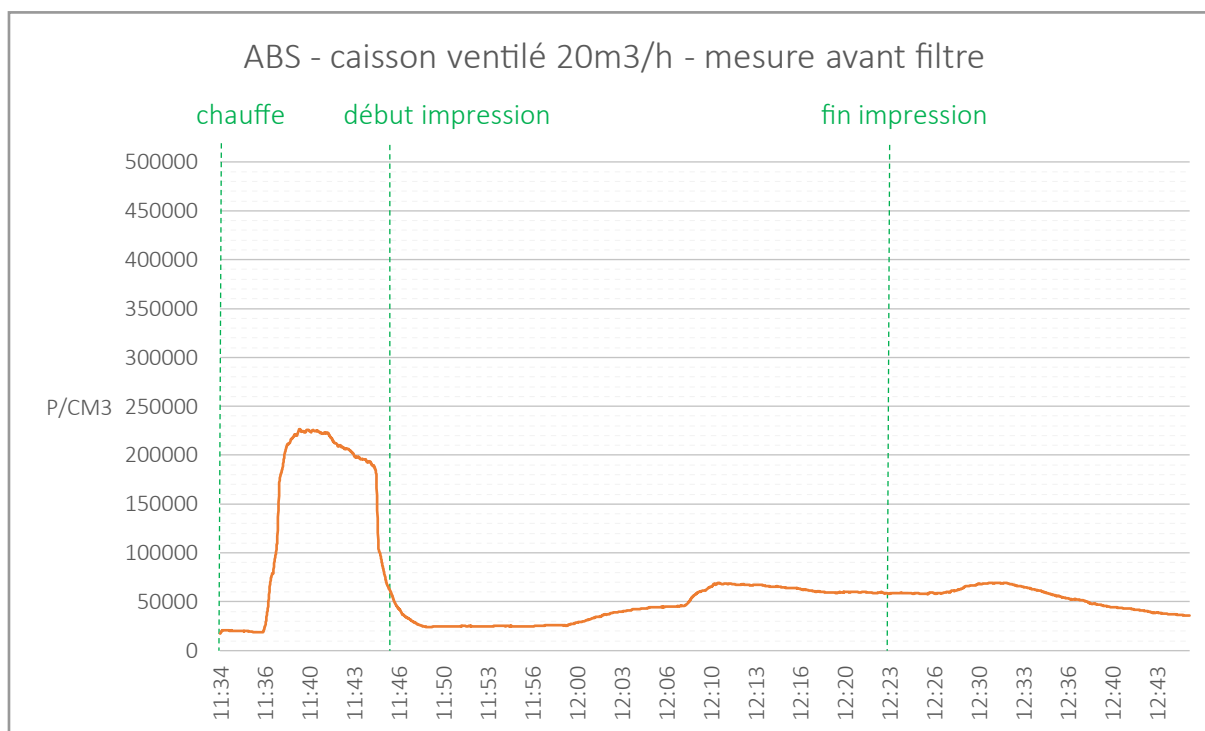
→ Le premier filament observé est l'ABS.

a) Filament ABS

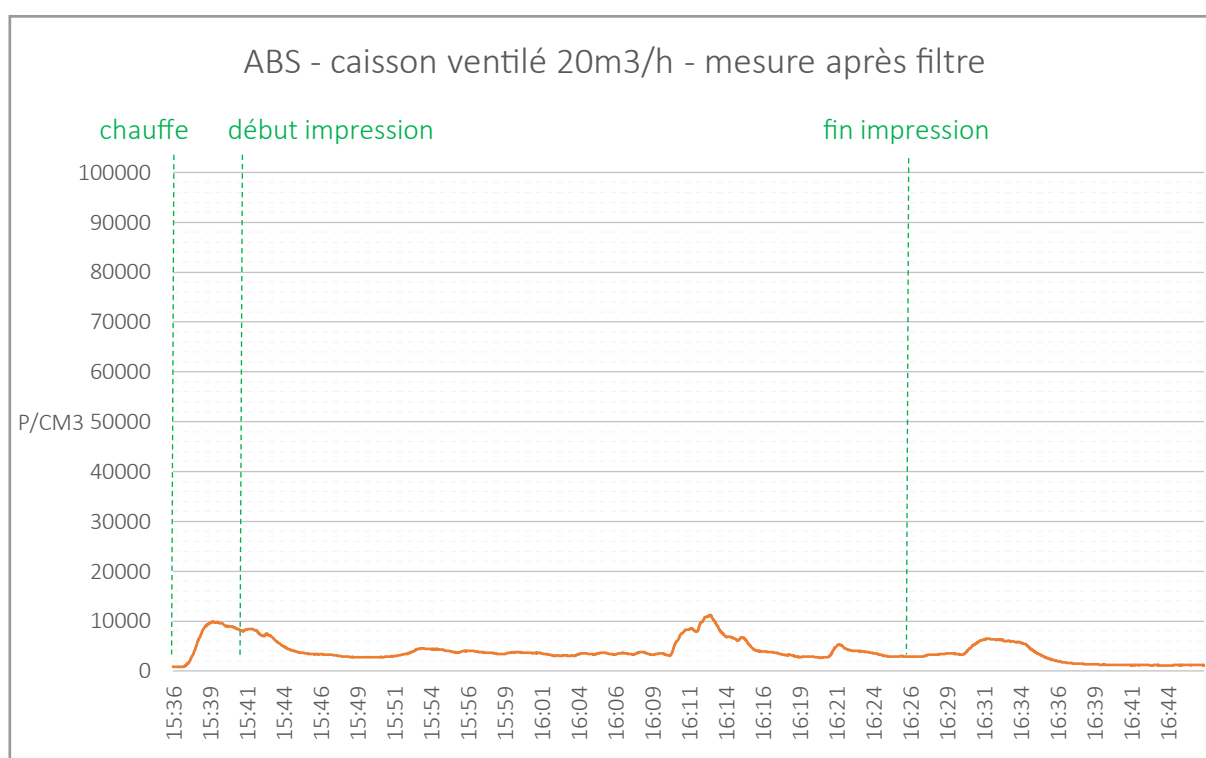
Ce filament est le plus émissif de notre test, cette tendance peut probablement être due à sa composition chimique et/ou sa température d'extraction plus élevée : 250°.



Cette première mesure de particules générées par notre imprimante 3D dans un caisson sans ventilation a révélé une concentration élevée de particules dès le chauffage initial de la buse, avant même le début de l'impression. Nous pouvons voir que tout au long du processus d'impression, le niveau de particules est resté élevé, alors qu'il était initialement de 13 640 particules par centimètre cube.



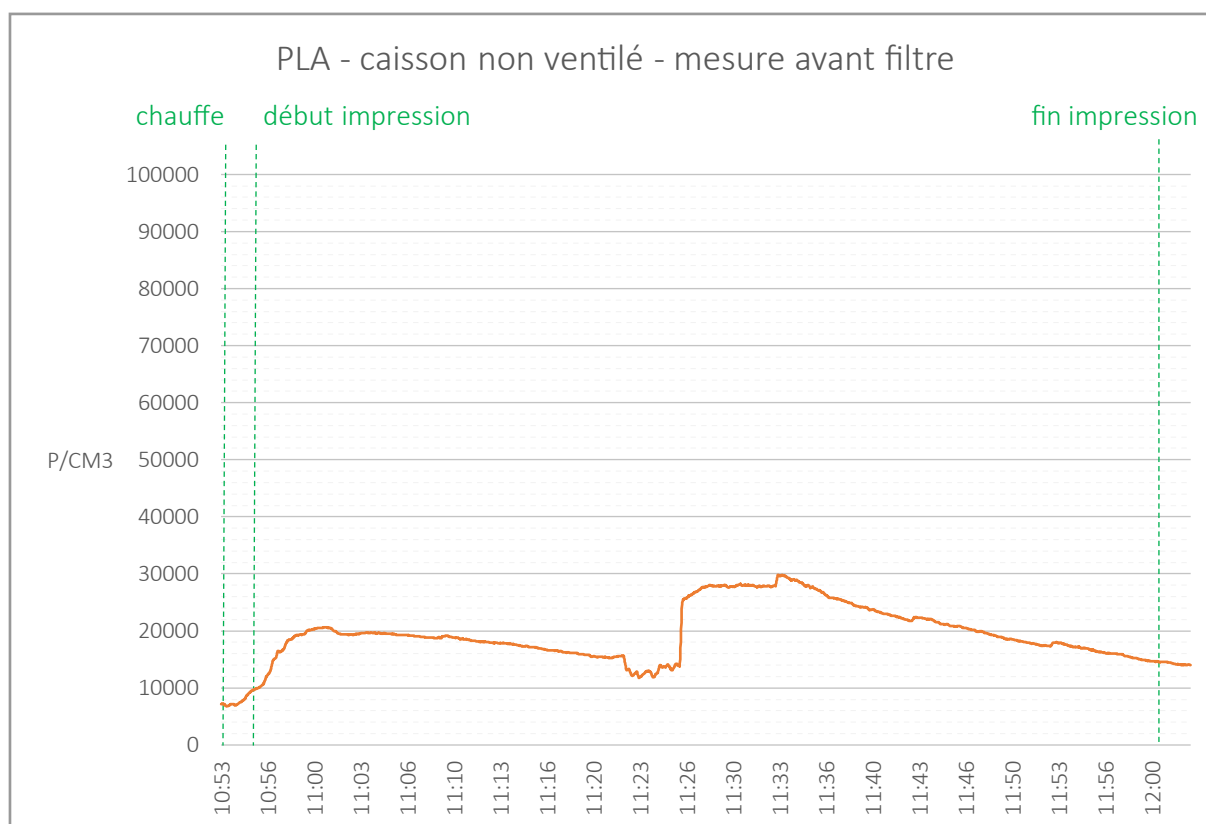
Lors de la seconde mesure, nous observons que la ventilation semble limiter les pics et la valeur moyenne de la concentration en particules tout au long du processus d'impression. Nous observons pour la seconde fois une forte concentration de particules dès lors que l'extrudeur atteint sa température nominale, avant même le début de l'impression 3D.



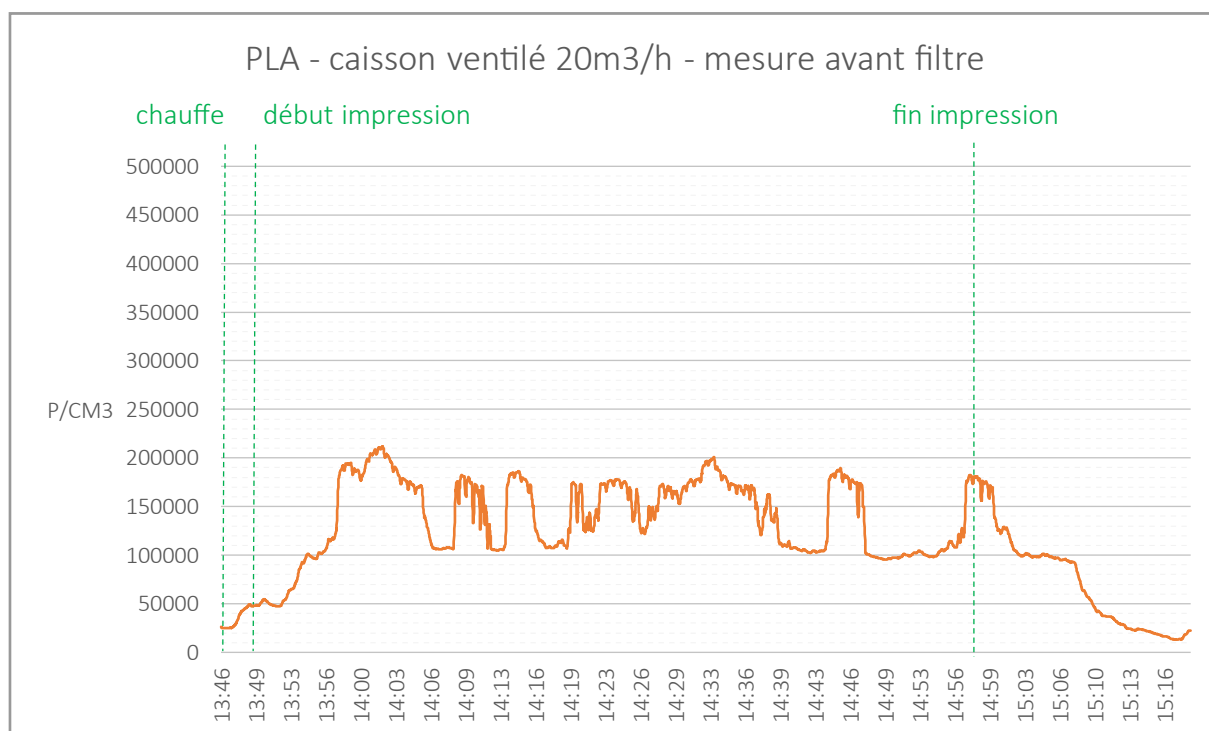
Cette troisième séquence de mesures met en évidence une réduction significative de la concentration en nanoparticules dans l'air après filtre. Il est possible, malgré tout, de retrouver un pic de production en début de processus et quelques fluctuations au cours de la fabrication. Malgré cette forte production de nanoparticules par le filament ABS, le filtre montre une efficacité certaine. Le niveau de pollution naturellement présent dans l'air de 13600 p/cm³ n'est pas dépassé alors qu'il s'agit du filament le plus émissif de notre test.

b) Filament PLA

Le second filament observé a été le filament PLA. Ce filament d'origine organique s'imprime à plus basse température que l'ABS, 215°.

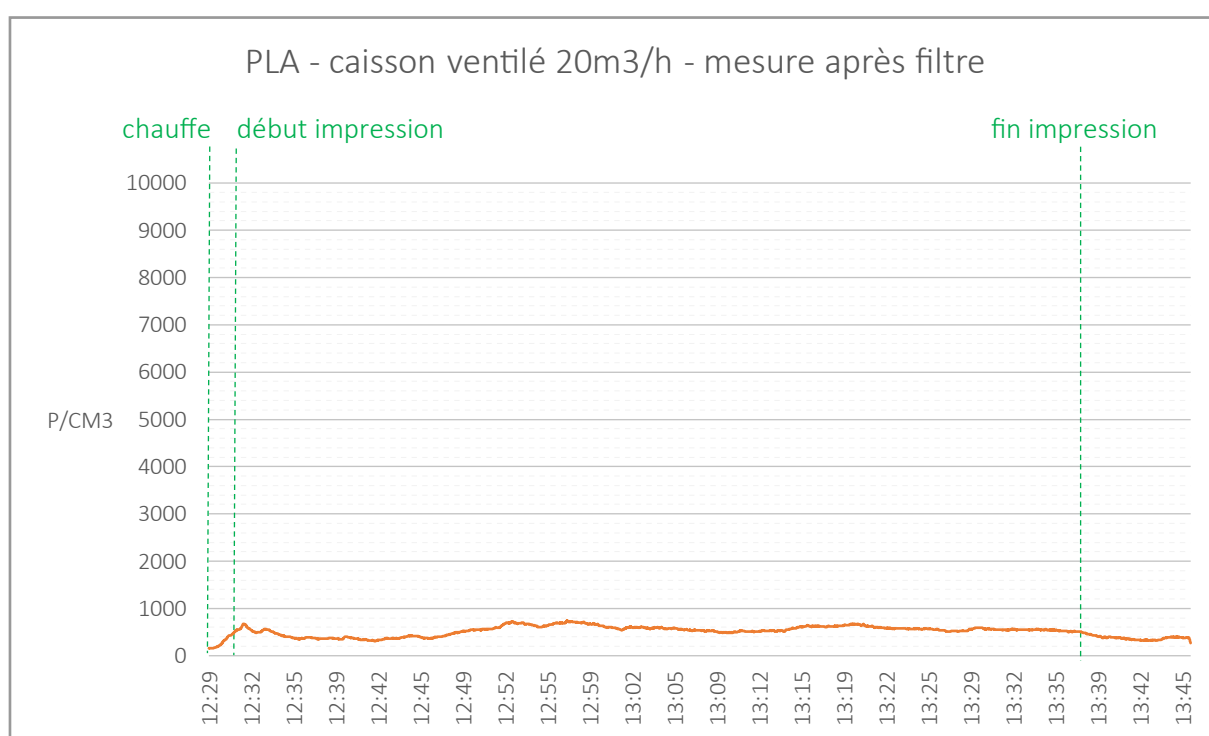


Nous avons suivi le même protocole en commençant par mesurer le taux de particules dans le caisson sans ventilation. Nos résultats montrent que le PLA est un filament peu émissif comparativement au filament ABS. Dans le plus défavorable des cas, la pollution atmosphérique aux particules peut être multipliée par trois. Nous avons également observé que la production de particules augmente pendant le remplissage de la pièce imprimée. Ces observations suggèrent une corrélation entre le début du remplissage et l'augmentation de la production de particules.



Dans les mêmes conditions, l'activation de la ventilation révèle une pollution de particules plus importante que dans la mesure précédente sans ventilation.

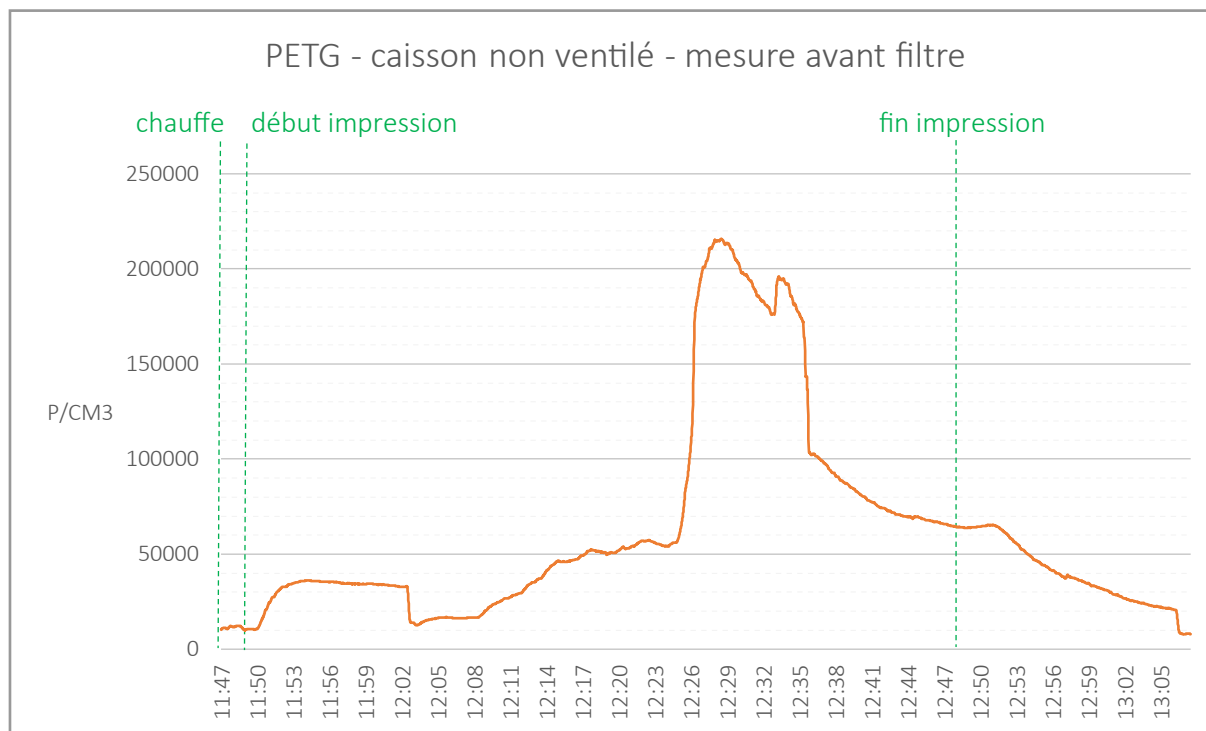
Notre hypothèse suppose que l'agitation de l'air met en évidence des variations de concentration de particules dans le volume d'un caisson d'imprimante 3D.



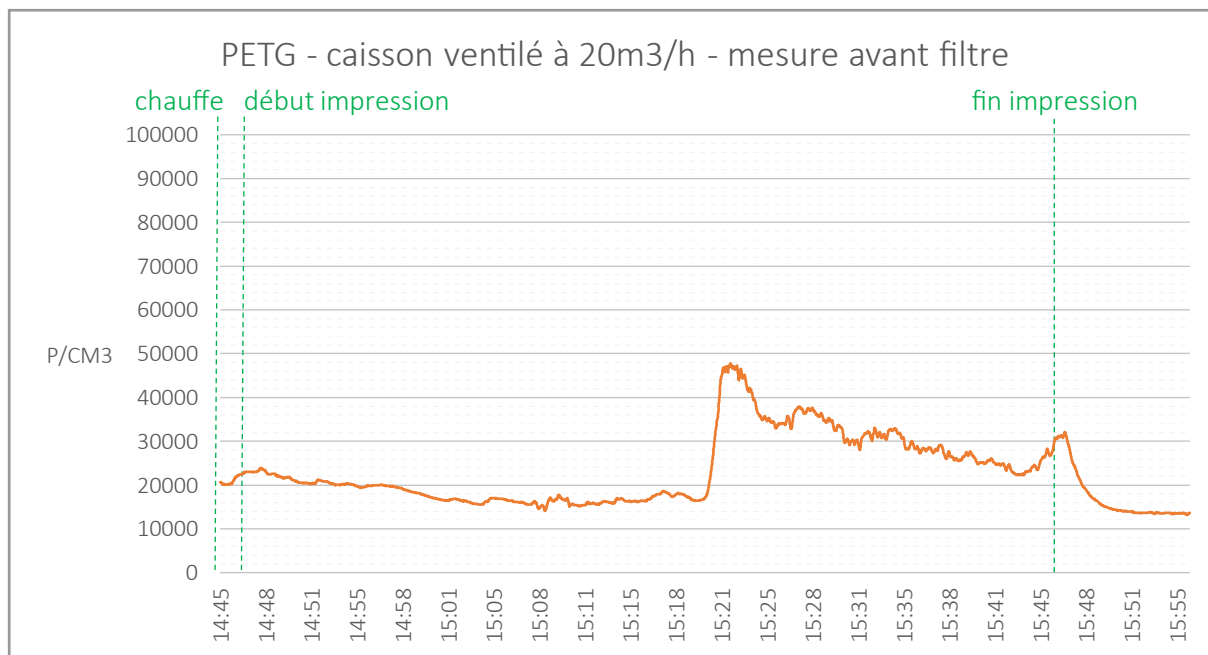
Lors de la troisième mesure, après filtre, nous constatons que la filtration s'avère particulièrement efficace avec une concentration toujours inférieure à 1000 p/cm³ tout au long de l'impression PLA.

c) Filament PETG

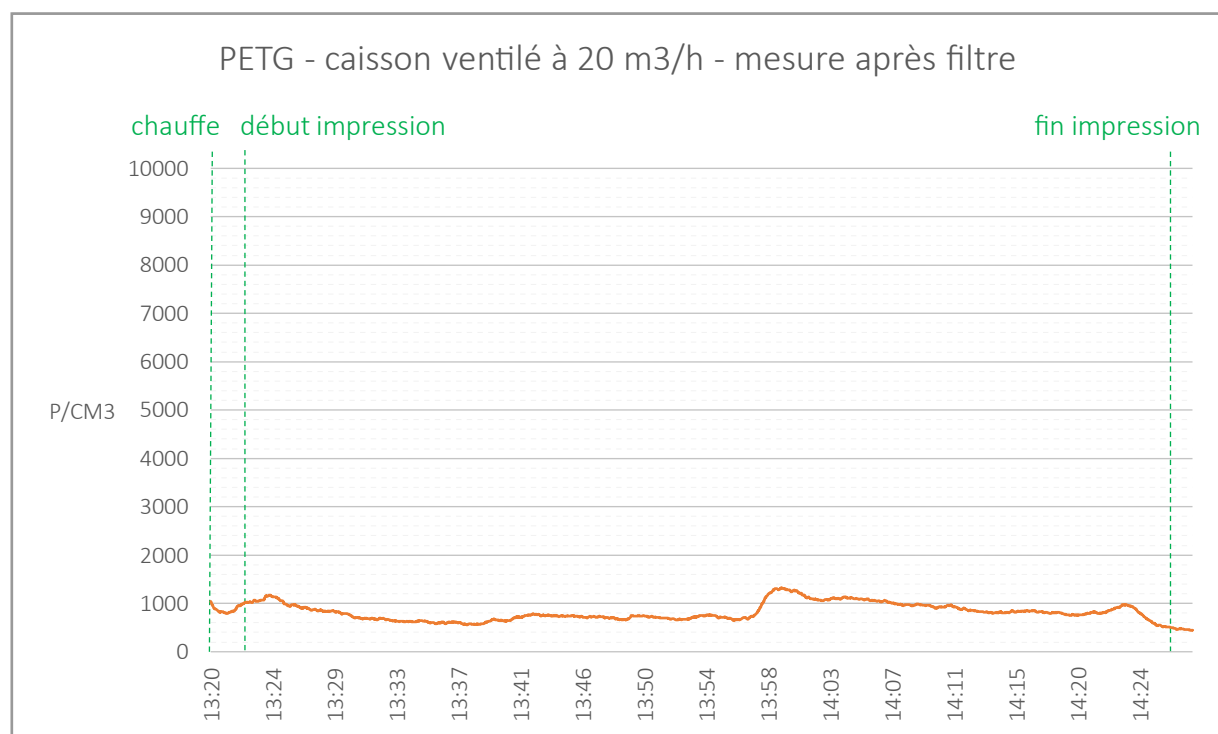
Le dernier filament observé est le PETG. C'est un filament que nous utilisons couramment pour la réalisation des pièces fonctionnelles. Il est employé à 245°C au cours du processus d'impression.



Lors de la première mesure, dans le caisson non ventilé, nous observons un pic important de particules au cours de l'impression. Sur l'ensemble de la séquence de mesure, ce filament est plus émissif que le PLA mais moins que l'ABS.



Nous retrouvons également ce pic de concentration lors de la mesure avec caisson ventilé. Mais cette fois-ci le pic de particules est moins importante. Nous sommes passés d'un pic de plus de 200000 p/cm³ à un pic d'environ 48 000 p/cm³ lorsque le caisson est ventilé. La proportion est encore respectée : une concentration en nanoparticules comprise entre les valeurs de celle du PLA et de l'ABS.



Enfin, après la mesure après filtre, nous constatons une efficacité notable du filtre. La concentration de particules après filtration est plus faible que celle de la pollution atmosphérique. Cependant, il est important de souligner que les pics de production de particules peuvent encore être détectés en comparant les mesures avant et après filtration.

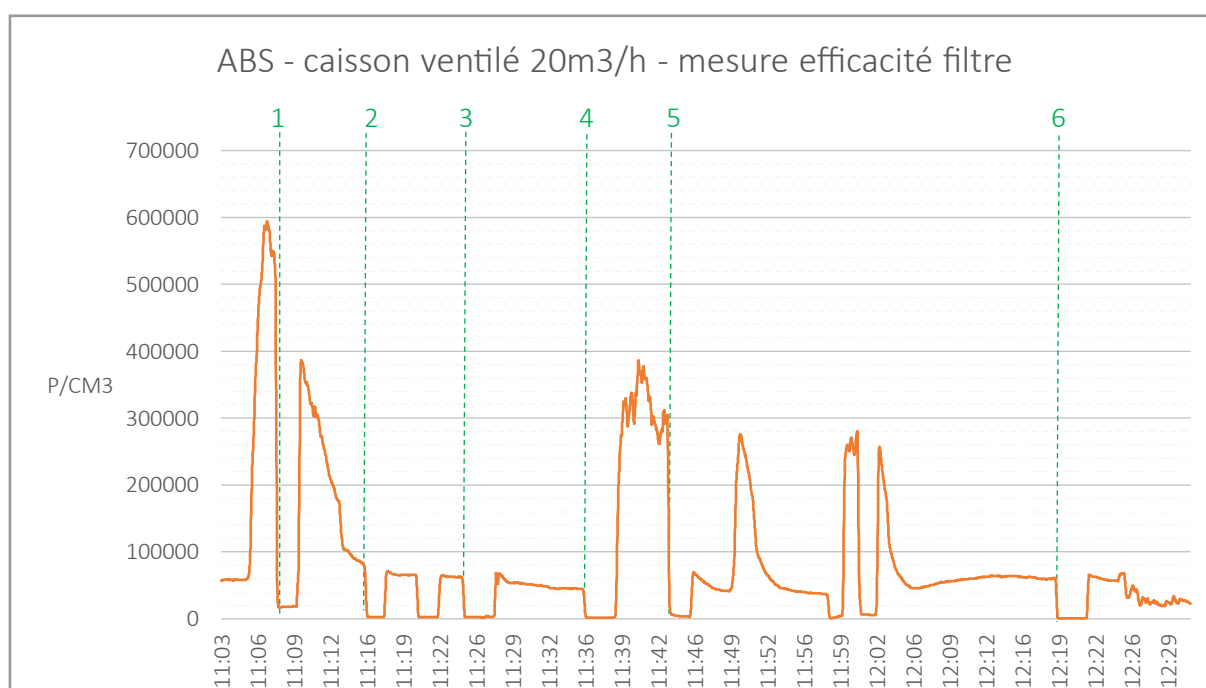
4. L'efficacité du filtre P3D

La mesure d'efficacité des filtres a été réalisée en alternant une mesure avant filtre dans le caisson et une mesure en sortie de filtre.

Nous déterminons un taux d'efficacité moyen sur plusieurs mesures pour lisser les erreurs de mesures potentielles liées au temps de lecture du compteur de particules

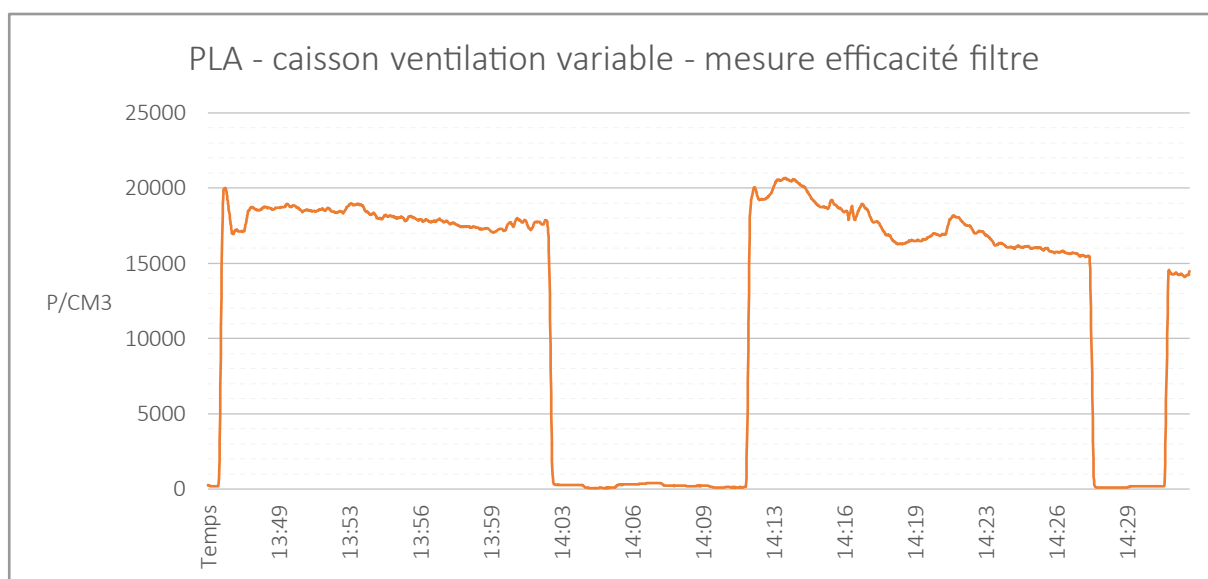
La concentration des particules (p/cm³) est mesurée à différents débits d'air. Ce débit d'air est proportionnel à la vitesse de l'air qui traverse le média filtrant HEPA 13. Il peut faire varier la performance du filtre

a) Filament ABS



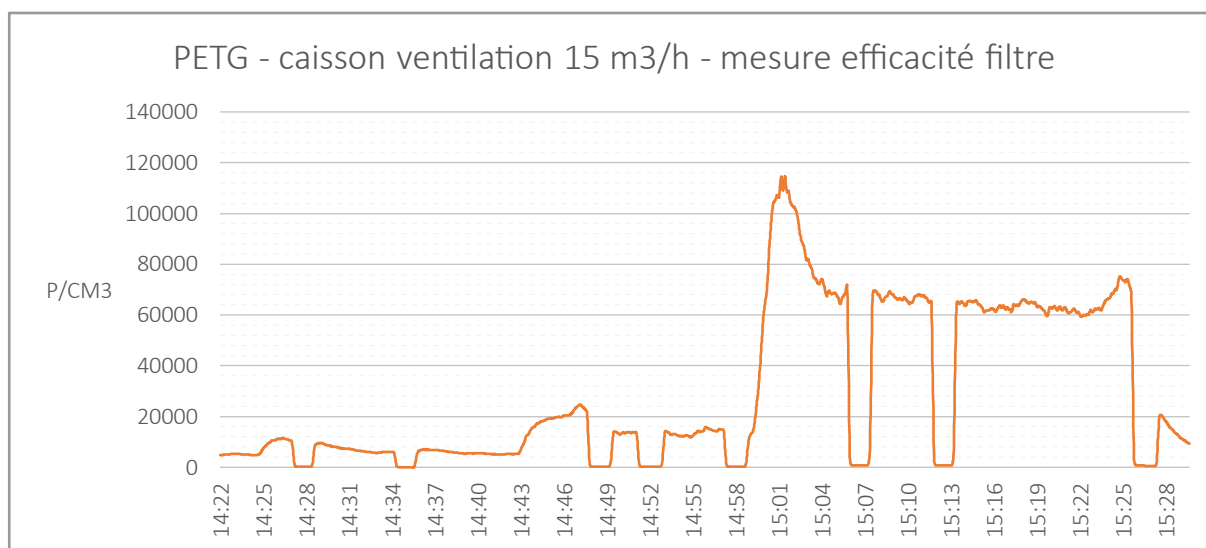
Concernant le filament ABS, après les différentes mesures, celles-ci nous permettent d'estimer le taux d'efficacité du filtre à environ 97,36%.

b) Filament PLA



Concernant le filament ABS, après les différentes mesures, celles-ci nous permettent d'estimer le taux d'efficacité du filtre à environ 97,36%.

a) Filament PETG



Pour le PETG, les mesures nous permettent cette fois-ci d'estimer un taux d'efficacité moyen de 98,90% à 20m3/h

Comparons l'efficacité du filtre en fonction du filament mais également en fonction du débit d'air.

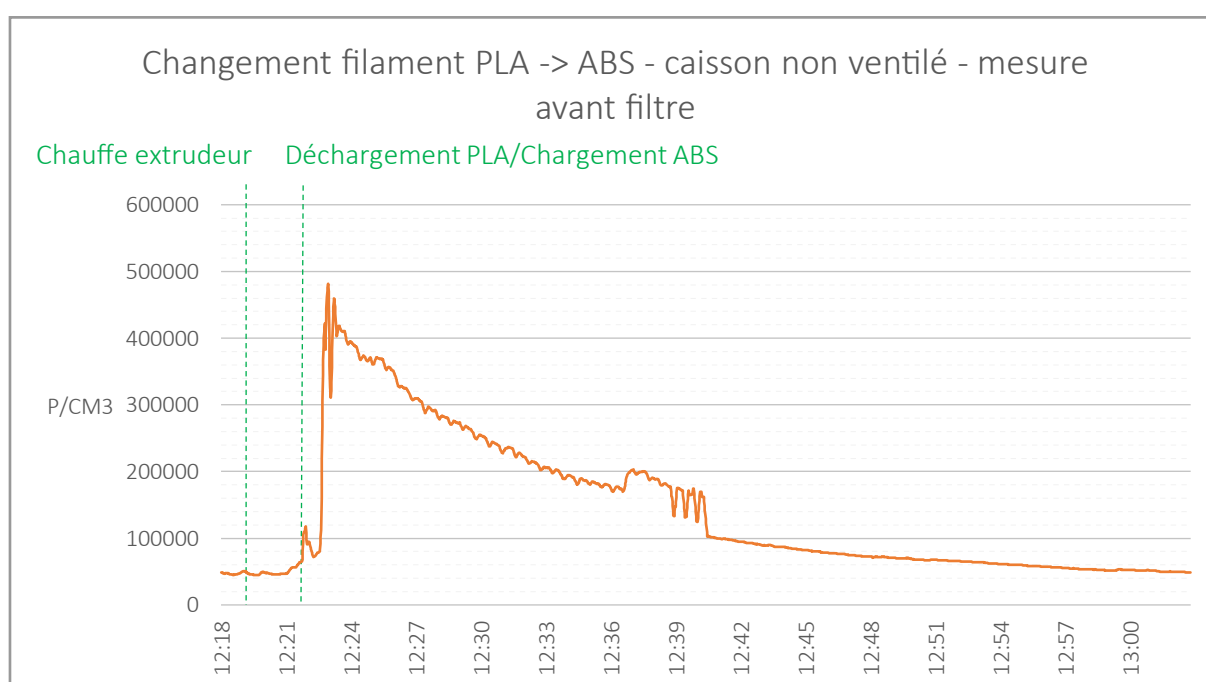
Concernant l'efficacité en fonction des filaments, nous constatons donc que la nature du filament a un impact sur l'efficacité du filtre. Nous pouvons expliquer ce phénomène en considérant la taille des particules émises au cours du processus d'impression. L'ABS est imprimé à plus haute température que le PETG qui est lui-même imprimé à plus haute température que le PLA. Nous retrouvons la même hiérarchie dans l'efficacité du filtre ce qui semble confirmer que la température d'extrusion élevée génère plus de particules de petite taille (moins de 100 nm) ce qui réduit l'efficacité de la filtration. Mais nous ne pouvons pas déterminer dans quelle proportion la composition du filament et la température d'extrusion influent sur la taille de particules émises. Une étude de granulométrie des particules serait pertinente à ce sujet.

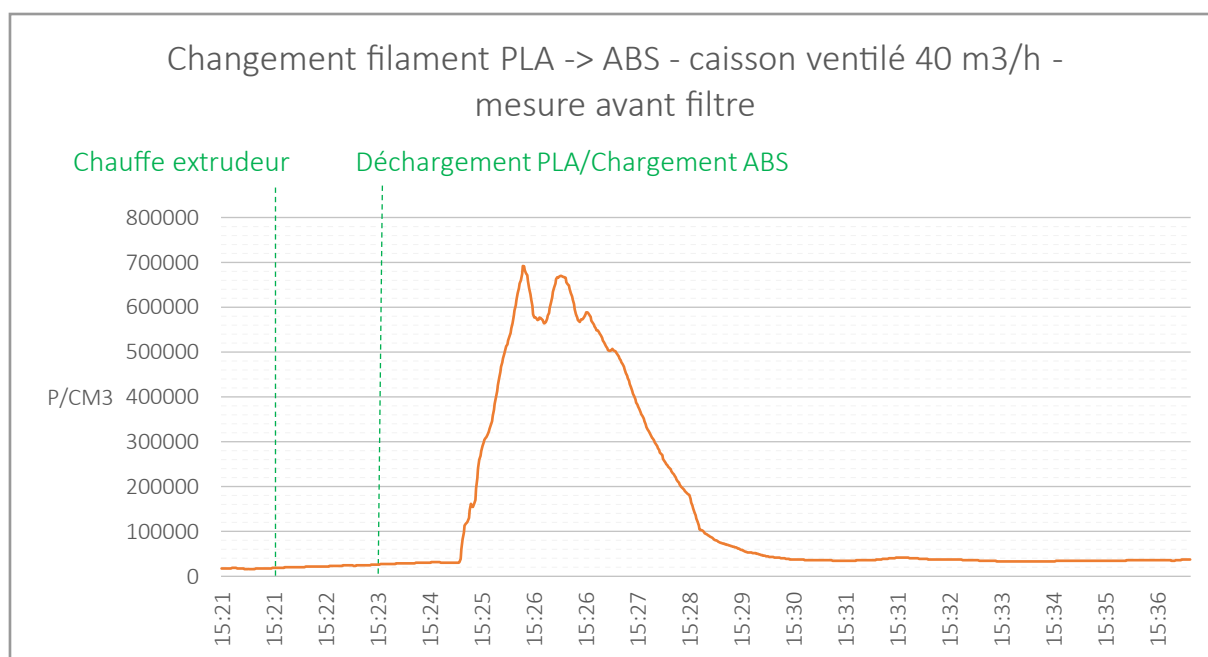
En ce qui concerne l'efficacité de la filtration en fonction de son débit d'air, nous pouvons observer une élévation de celle-ci en réduisant le flux d'air. En contrepartie, la concentration dans le caisson sera plus importante avec un taux de renouvellement d'air plus faible dans le caisson de l'imprimante. Ce débit d'air peut également avoir un impact sur la qualité d'impression.

5. Changement des filaments

Notre première étude de mesure des particules avait révélé un taux important de production de particules lors des procédures de changement de filaments.

Nous avons mesuré la concentration en particules avec et sans ventilation pour évaluer le bénéfice des systèmes de ventilation Alveo3D.





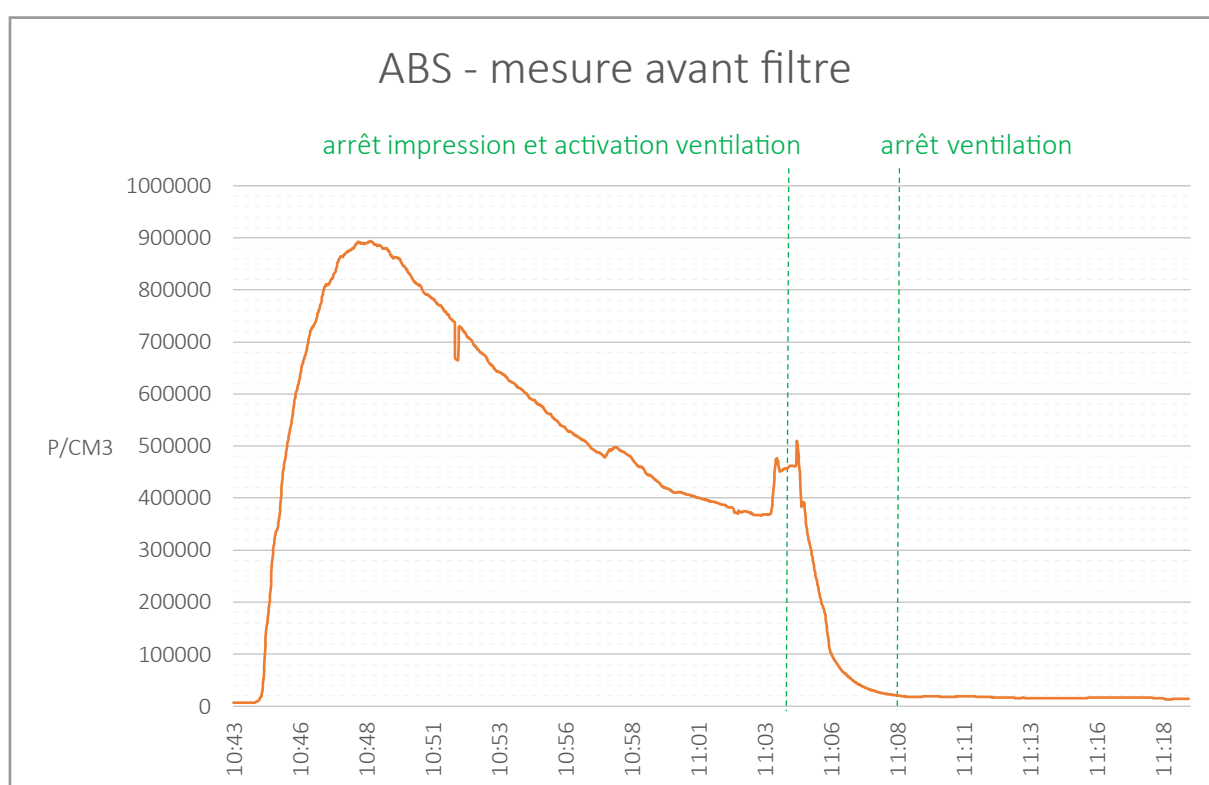
Après les mesures réalisées lors d'un changement de filament, nous remarquons plusieurs phénomènes spécifiques :

- La production de particules est rapide et importante dès la chauffe de l'extrudeur.
- La ventilation permet de réduire significativement la durée à forte concentration en particules dans le caisson d'imprimante 3D : moins de 5 minutes avec ventilation contre plus de 20 minutes sans ventilation.
- Le pic de concentration en particules est mesuré environ 2 minutes après le changement de filament. Cela peut s'expliquer par la latence de lecture du compteur de particules.

Pour compléter nos mesures, nous avons testé l'efficacité de la ventilation rapide.

Dans le scénario suivant, nous avons simulé un défaut d'impression qui nécessite un arrêt rapide du processus de fabrication suivi d'un accès au volume d'impression de la machine.

Nous constatons que l'activation de la ventilation rapide (100% de la puissance de la ventilation soit 40 m³/h en débit d'air) permet de faire baisser la concentration en particules de 500 000 p/cm³ à moins de 10 000 p/cm³ en 4 minutes.



6. Conclusion et recommandations

La mise en œuvre de notre banc de test conçu spécifiquement pour les mesures d'émissions de particules en fabrication additive s'est révélée riche d'enseignements. Ces mesures nous ont permis de quantifier le nombre de particules émises durant une impression mais elles nous ont également permis de nous assurer de l'efficacité de nos filtres P3D.

Les mesures d'efficacité par cycles complets mettent en évidence la plus forte nocivité des filaments ABS par rapport au PLA et PETG. **Nous recommandons en premier lieu de favoriser ces filaments peu émissifs pour garantir la sécurité des opérateurs.** Quel que soit le filament utilisé, **l'utilisation continue de la filtration d'air est également recommandée** puisque les niveaux de pollution atmosphérique sont systématiquement dépassés lors des impressions.

Recommandations de ventilation avec carte de contrôle V2

- **ABS** : ventilation 80% jusqu'au démarrage de l'impression. Pendant l'impression, 30 à 40% et **ventilation jusqu'à refroidissement du plateau**
- **PETG/PLA** : ventilation 80% jusqu'au démarrage de l'impression. Pendant l'impression, 50 à 70% et **ventilation jusqu'à refroidissement du plateau**
- Au début et à la fin du cycle d'impression, vous pouvez également utiliser une vidange rapide si vous avez besoin d'un accès immédiat à votre imprimante.

La vitesse de ventilation peut avoir un impact sur la qualité d'impression, d'autant plus sur les filaments sensibles au phénomène de rétractation. Il est donc important d'adapter cette vitesse de ventilation aux conditions de températures auxquelles l'imprimante 3D sera exposée.

Avec une efficacité de 97,36% minimum, et la nécessité d'accéder à la machine en fonction des phases de production, **il est recommandé d'utiliser malgré tout, vos imprimantes 3D dans des locaux ventilés.**

Nous préconisons également de rendre accessible hors caisson les interfaces de la carte V2 et de l'imprimante pour pouvoir y accéder pendant une impression sans devoir s'exposer aux émissions de nanoparticules.

Une exposition à long terme peut entraîner une toxicité chronique, **il est donc conseillé de réduire son temps d'exposition.** Très peu d'études montrent les effets des nanoparticules en termes de toxicité sur le corps humain, il est donc difficile de dire à quel niveau de concentration de particules cela peut devenir toxique pour la santé. Par conséquent, il est raisonnable d'appliquer un principe de précaution, en limitant son temps d'exposition, en particulier lors des phases d'accès au volume d'impression (changement de filaments et début et fin d'impression).

ÉTUDE GLOBALE :
Émissions de nanoparticules
en Fabrication Additive et
Mesures d'efficacité des Filtres P3D

Étude menée en février 2021 et rapport rédigé en Mars 2021

AUTEUR : **LUCAS MARTINI**
CEO , Flexee System – Alveo3D

CONTACT :
contact@alveo3d.com

www.alveo3d.com