



# Influence de la charge électrostatique sur les performances de pièces faciales filtrantes

---

Melvyn Digo<sup>1 2</sup>

Co-auteurs : Clothilde Brochot<sup>1</sup>, Maarouf Abdou Alio<sup>1</sup>, Mohamed Nejib Saidi<sup>1</sup>, Ali Bahloul<sup>1</sup>  
et Jean Brousseau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : IRSST  
<sup>2</sup> : UQAR

# Sommaire

---

**1**

Contexte et objectifs

**2**

Approche expérimentale

**3**

Résultats et discussion

**4**

Conclusion et perspectives

1

Contexte et objectifs

2

Approche  
expérimentale

3

Résultats et analyse

4

Conclusion et  
perspectives



---

# Problématique de santé et de sécurité au travail

Processus de combustion,  
traitements mécaniques,  
utilisation de nanoparticules, ...



Exposition aux particules fines et ultrafines



Effets respiratoires



Effets cardio-vasculaires



# Protection des travailleurs contre ces émissions

- ✗ Réduction à la source des émissions
- ✗ Protection collective impossible ou insuffisante

## Utilisation d'appareils de protection respiratoire (APR)

- Masques complets
- Demi-masques
- **Et principalement utilisées, les pièces faciales filtrantes (PFF)**



PFF R95 3M8240



# Mécanismes de filtration des PFF

Protection de l'utilisateur contre l'inhalation de particules



Mécanismes de capture mécanique



Mécanismes de capture par effet électrostatique

---

**Présence de médias électrets (fibres chargées) dans les PFF actuelles**

**Apports de cette charge face à des filtres purement mécaniques :**

- Efficacité de filtration augmentée
- Confort respiratoire accru pour l'utilisateur



Performances améliorées

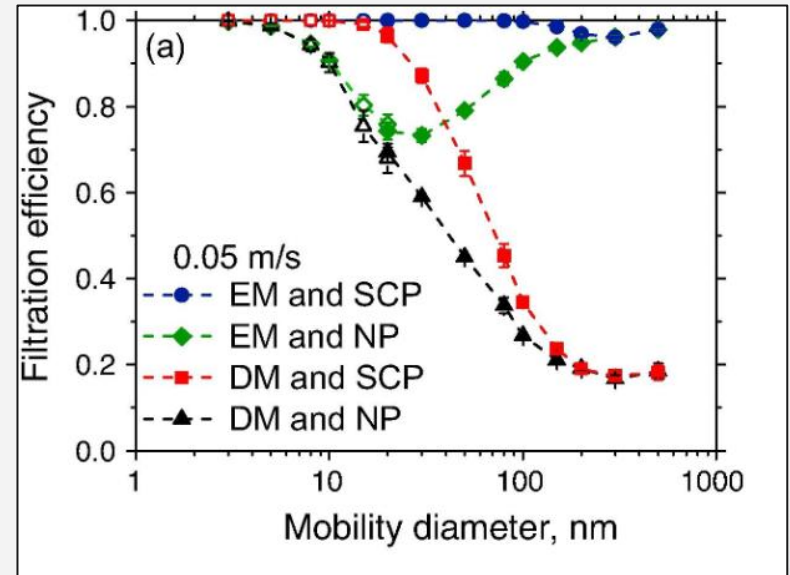
# Filtration dans les médias électrets

Efficacité des médias électrets face à des médias déchargés pour des particules de taille allant de 3 à 500 nm de diamètre



Décharge des médias

Perte d'efficacité et décalage de la taille de particule plus pénétrante



Tang et al. (2018)

Mise en avant de l'importance de la charge électrostatique

# Facteurs influençant l'efficacité des médias électrets

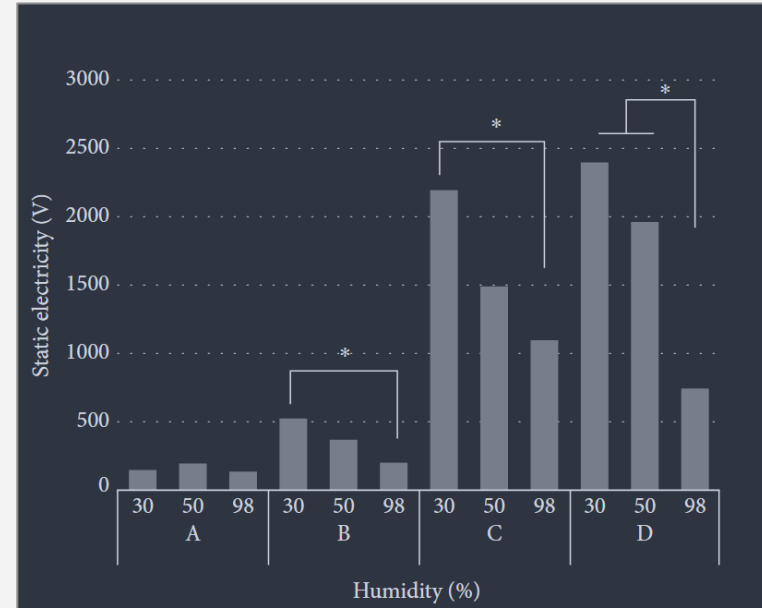
Performances et évolution de la charge d'un média électret

Dépendent de :

- Son matériau
- L'aérosol auquel il est exposé
- Conditions environnementales

↳ Température et humidité

Nécessité d'étudier différentes conditions d'utilisation



Kim et al. (2024)

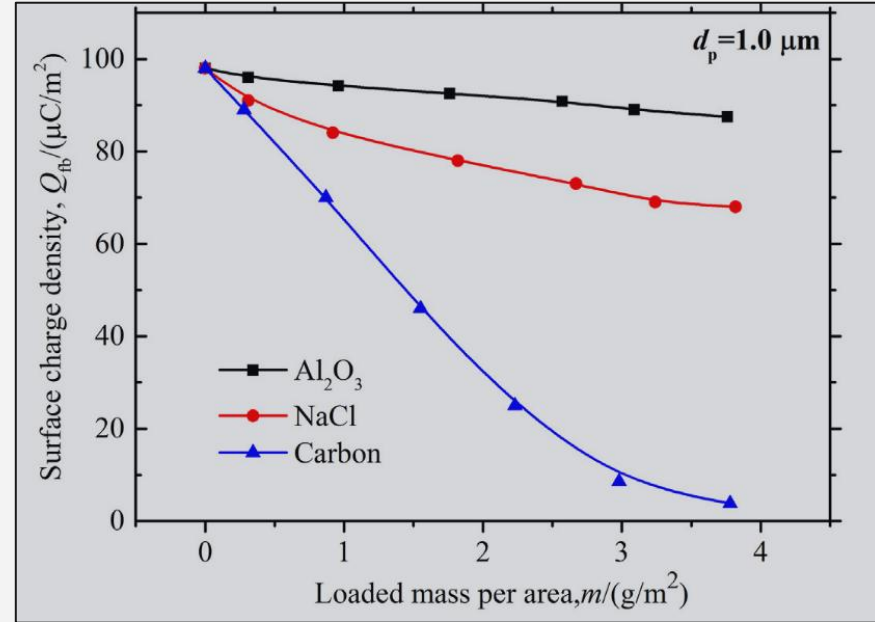
# Effet des aérosols

Réduction de la densité de charge en surface des médias lors d'un dépôt de particules



Neutralisation des charges par effet d'écran et conduction

Evolution de la charge électrostatique de médias exposés à un aérosol



Cai et al. (2020)

---

# Notions relevées

- Importance de la charge électrostatique au sein des mécanismes de capture
- Influence des conditions d'utilisation sur cette charge
- Evolution de cette dernière au fil du temps d'expérimentation

**Dans quelle mesure cette charge évolue au cours de l'utilisation des PFF et quelle influence a-t-elle sur leur efficacité ?**

# Objectifs du projet

1

Modéliser différentes conditions d'utilisation pour des PFF de plusieurs gammes

2

Effectuer des tests de pénétration sur ces différentes PFF

3

Analyser l'évolution de la charge électrostatique dans les PFF lors de leur utilisation

**Contribuer à une meilleure protection des travailleurs exposés aux particules**

1

Contexte et objectifs

2

Approche  
expérimentale

3

Résultats et analyse

4

Conclusion et  
perspectives



# Banc d'essai

- Analyser les performances de filtration des PFF
- Approcher les conditions normatives



- Utilisation d'un aérosol de NaCl pour différents débits

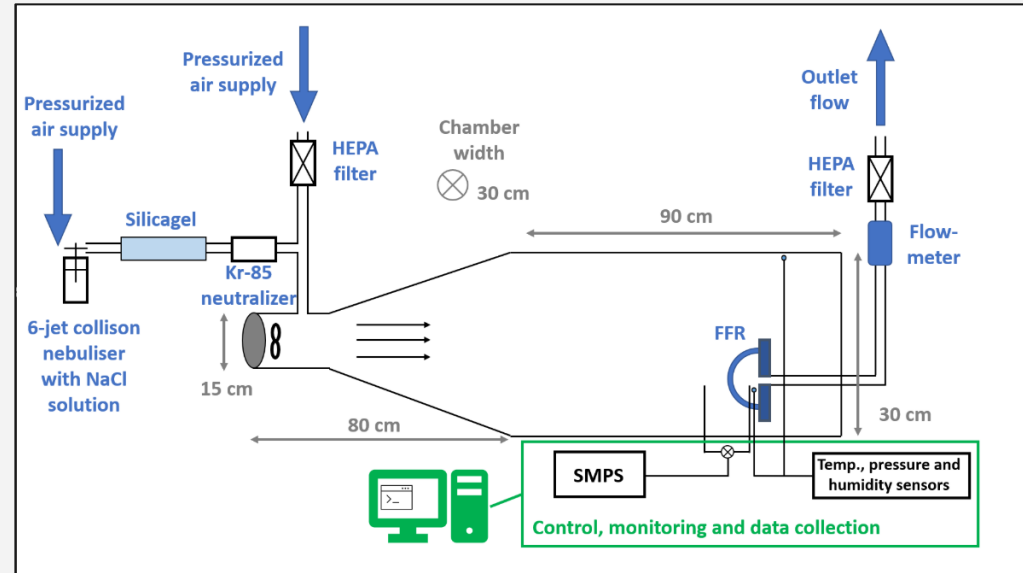


Schéma du banc d'essai utilisé

- Relevé granulométrique via SMPS

**Objectif**

1

2

# Campagne de PFF et conditions expérimentales

## Paramètres étudiés :

- 2 débits respiratoires
  - **42** Litres par minutes (Lpm)
  - **85** Litres par minutes (Lpm)
- 4 PFF différentes :
  - PFF N95
  - PFF R95
  - PFF P95
  - PFF 2 N95

} Fabricant 1

} Fabricant 2
- PFF non conditionnées et conditionnées selon les normes canadienne<sup>1</sup> et américaine<sup>2</sup>

## Déroulé des essais :

Tests de 6h : 4 relevés effectués (à l'instant initial et toutes les 2h)

Mesures granulométriques effectuées en amont et en aval des PFF



$$\frac{\text{Particules non filtrées (aval)}}{\text{Particules générées (amont)}} = \text{pénétration} = 1 - \text{efficacité}$$

1. CSA, Z94.4.1 Performance of filtering respirators, in Canadian Standards Association. Ontario, Canada. 2021

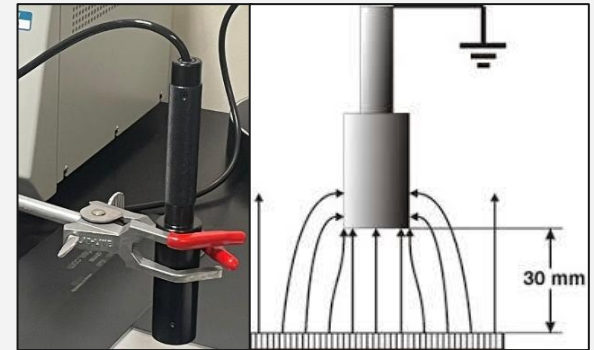
2. CFR, 42 CFR 84, Respiratory Protection Devices, in Code of Federal Regulation, U. S. Government Printing Office ed. Washington. 1995

# Etude de la charge électrostatique des médias

Mesureur de champ électrostatique STATOMETER II (Haug)



Capteur sensible au champ généré par les charges en surface des médias



*A gauche, tête du capteur de champ avec maintien en position  
A droite, schéma du relevé de charge effectué sur surface plane*

**Objectif**

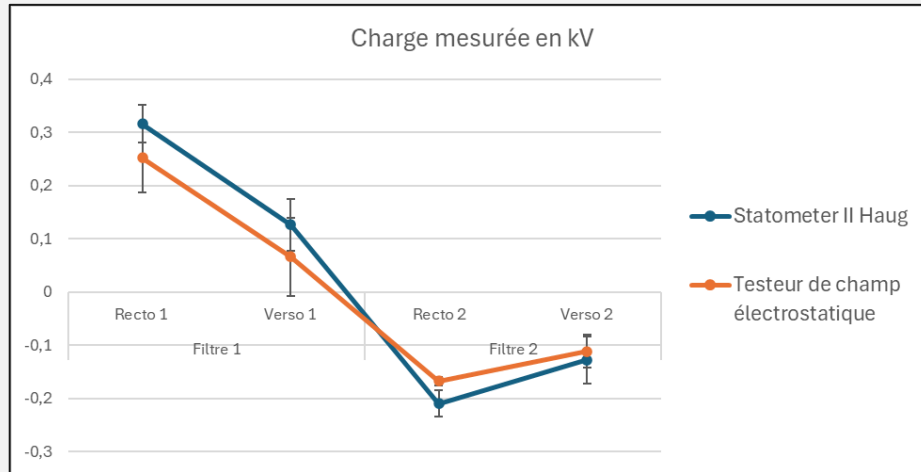
1

3

# Etude de la charge électrostatique des médias

## Validation de l'appareil et tests préliminaires

- Comparaison avec un testeur de champ électrostatique



Résultats obtenus stables et cohérents

Difficultés liées à la mesure	Solutions choisies
Mesure destructive	Relevés effectués sur des masques neufs ou lors de la fin des tests de pénétration
Nécessité de mise à plat des médias	Maintien des extrémités des médias par l'opérateur
Grande sensibilité de l'appareil aux variations et aux interférences extérieures	Mesures effectuées sur tapis antistatique + minimum de manipulations de la part de l'opérateur

# Etude de la charge électrostatique des médias

## Protocole de mesure :

Découpe de la PFF en 2 parties et extraction des médias électrets



Mise à plat du média à mesurer sur le tapis antistatique



Relevé de charge effectué sur chaque face des 2 médias des PFF : 8 mesures de charge pour une PFF



Médias prélevés

PFF P95

1

Contexte et objectifs

2

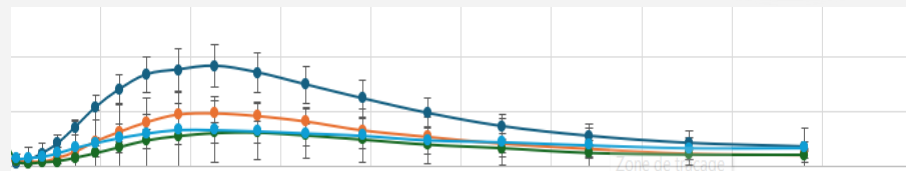
Approche  
expérimentale

3

Résultats et analyse

4

Conclusion et  
perspectives

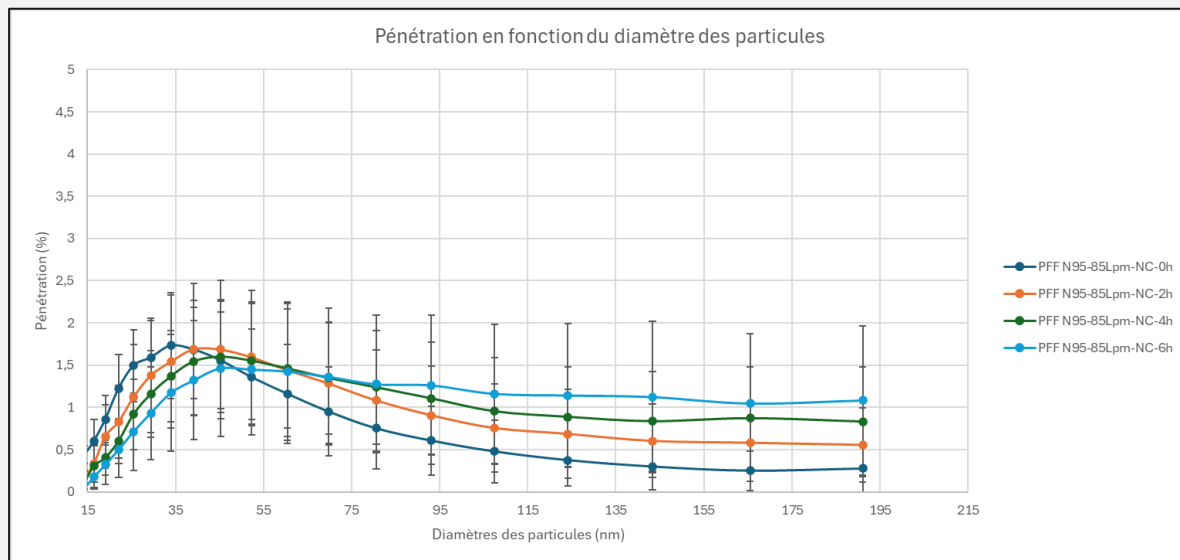


# Tests de pénétration : effet du temps

- Déplacement de la taille de particule plus pénétrante
- Hétérogénéité des performances
- Evolution de la pénétration au cours du temps



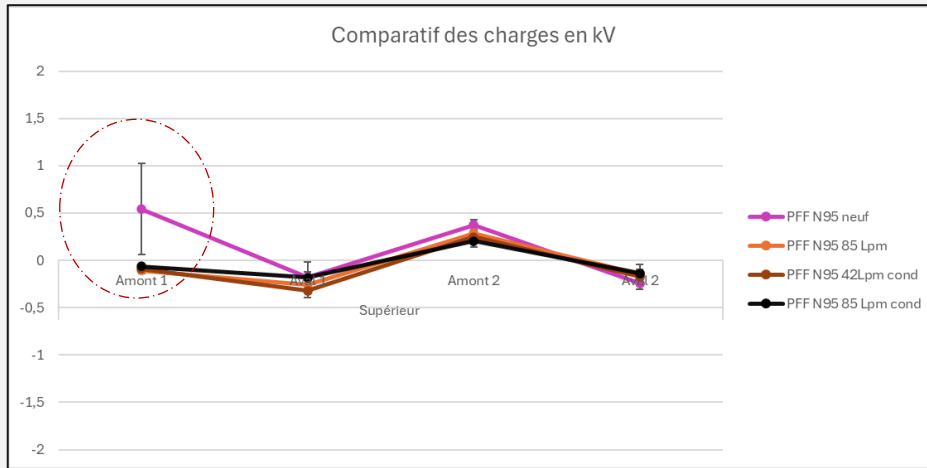
Effet du colmatage



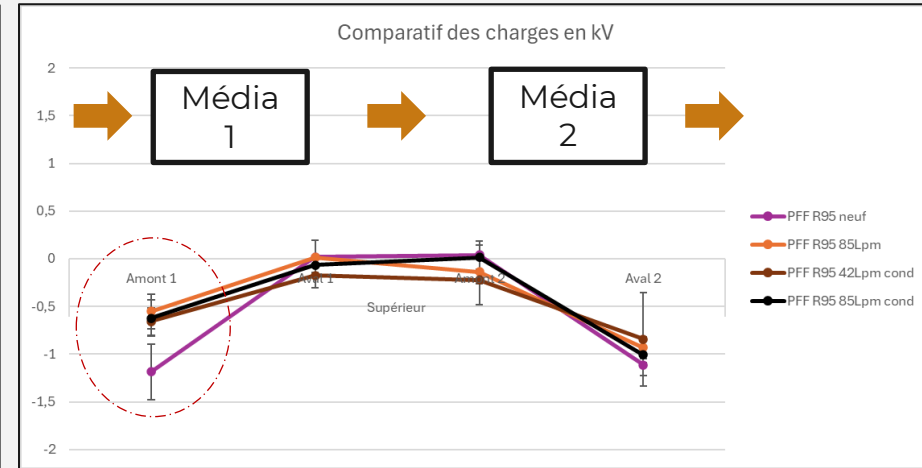
# Relevés de charge : effet du temps et du conditionnement

Observations faites sur la partie supérieure des PFF, aussi valables pour la partie inférieure

PFF N95



PFF R95

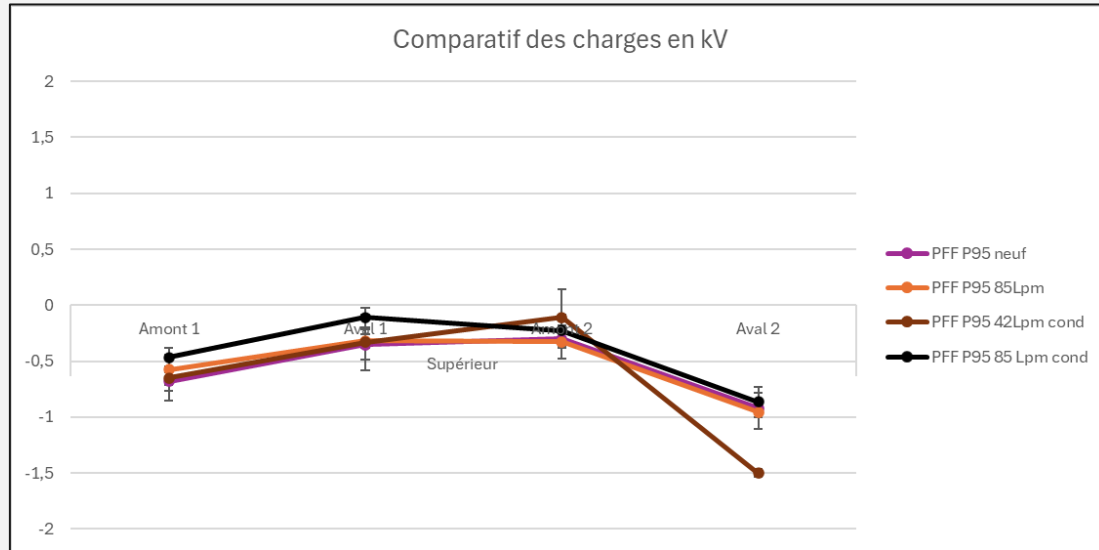


Dégradation visible de la charge sur la première surface de média exposée

➔ : flux d'air

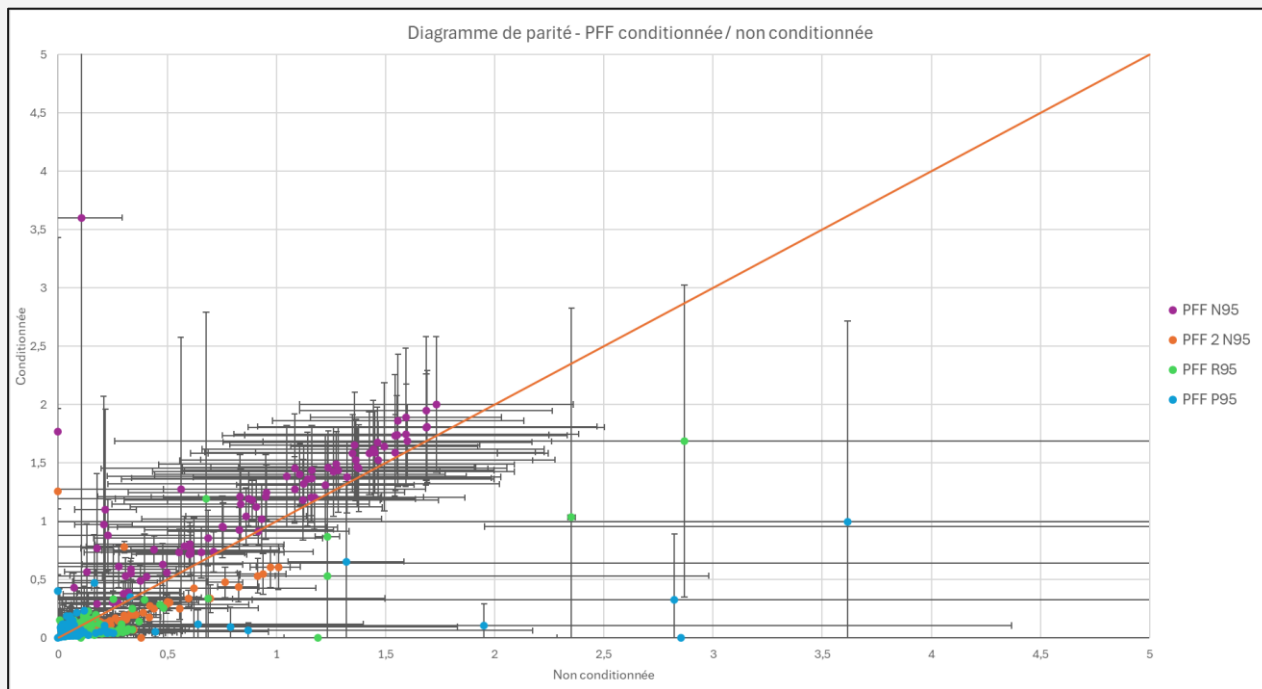
# Relevés de charge : effet du temps et du conditionnement

PFF P95



Charge qui ne semble pas altérée comme les 2 autres PFF

# Tests de pénétration : conditionné-non conditionné



Présence de points marginaux et écarts-types importants

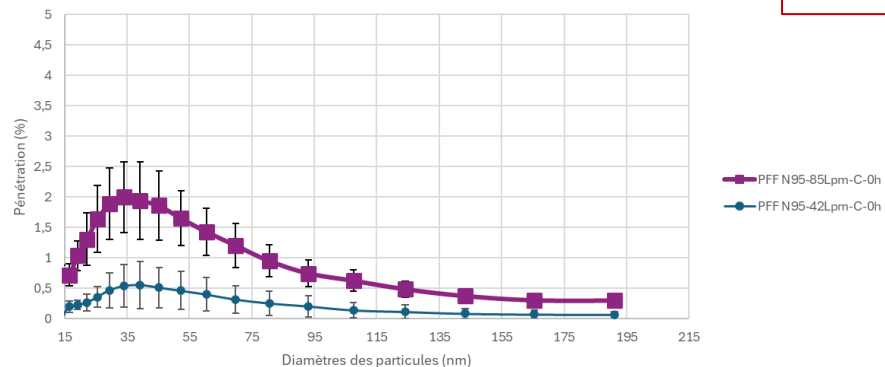


**Pénétration des PFF très faibles**

Pas d'effet majeur du conditionnement

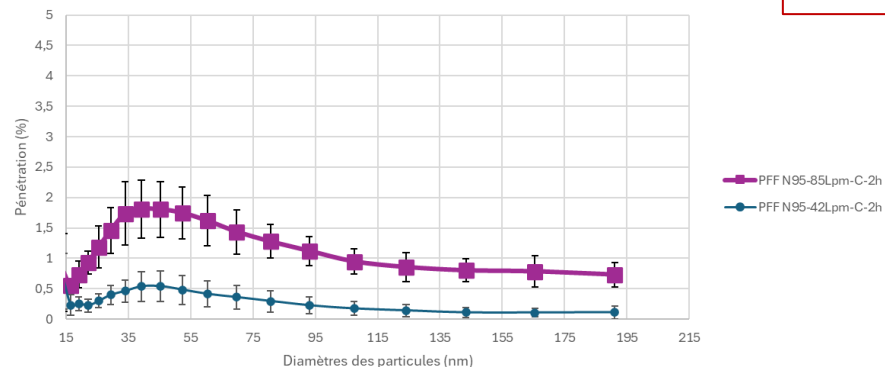
# Tests de pénétration : effet des débits de respiration

Pénétration en fonction du diamètre des particules



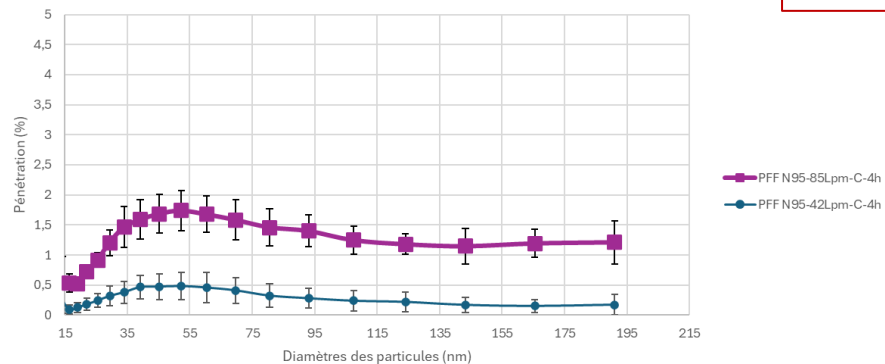
0h

Pénétration en fonction du diamètre des particules



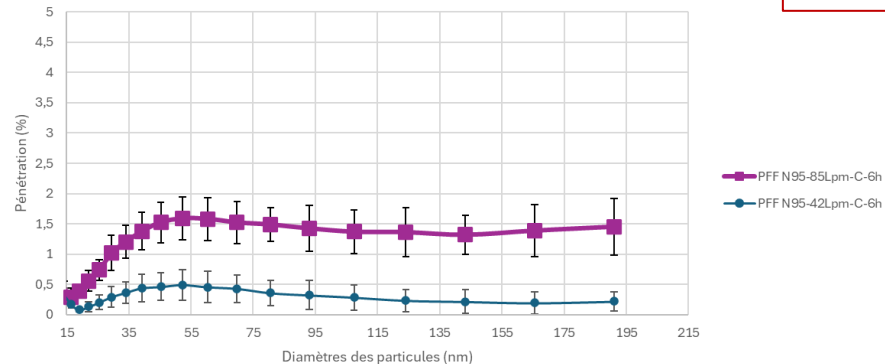
2h

Pénétration en fonction du diamètre des particules



4h

Pénétration en fonction du diamètre des particules



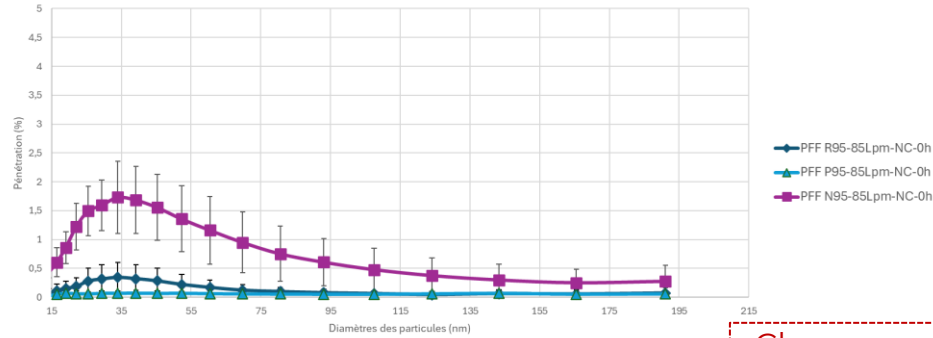
6h

# Tests de pénétration : classification des masques

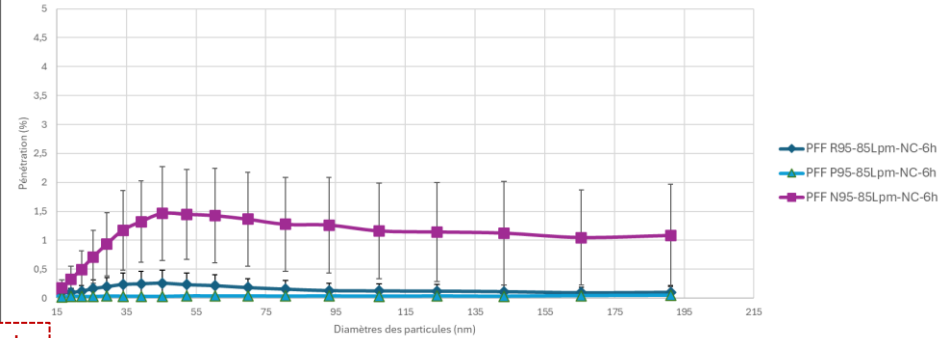
0h

6h

Pénétration en fonction du diamètre des particules

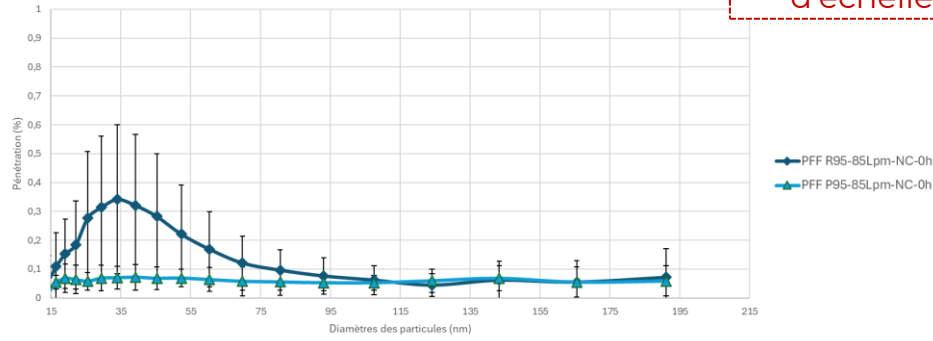


Pénétration en fonction du diamètre des particules

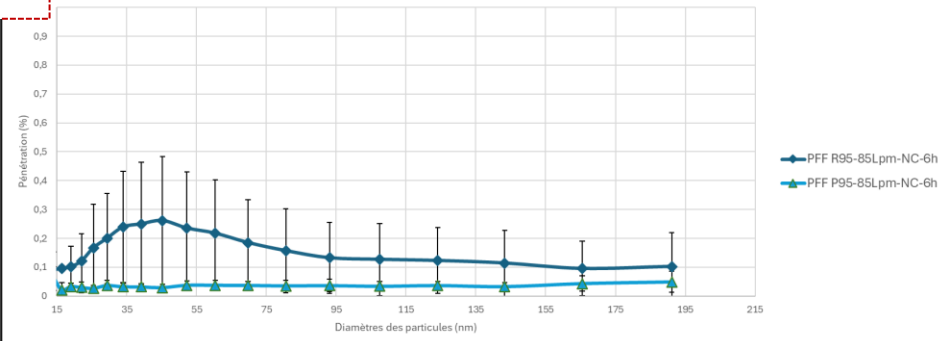


Changement d'échelle

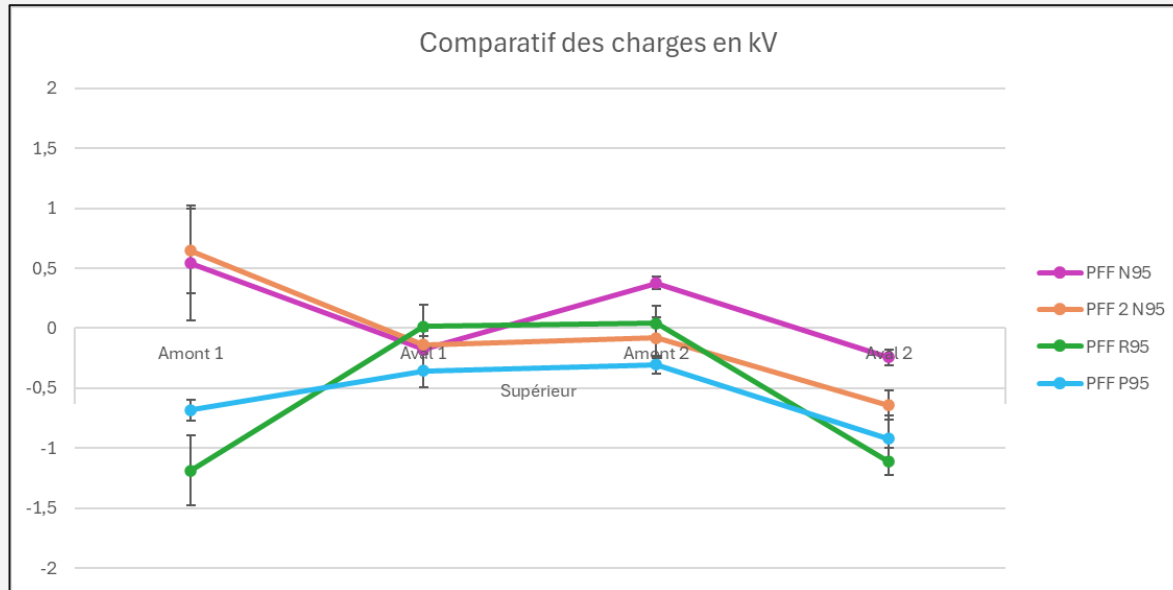
Pénétration en fonction du diamètre des particules



Pénétration en fonction du diamètre des particules



# Relevés de charge : classification des masques



- 2 structures de charge électrostatique différentes



PFF N95 / PFF 2 N95



PFF R95 / PFF P95

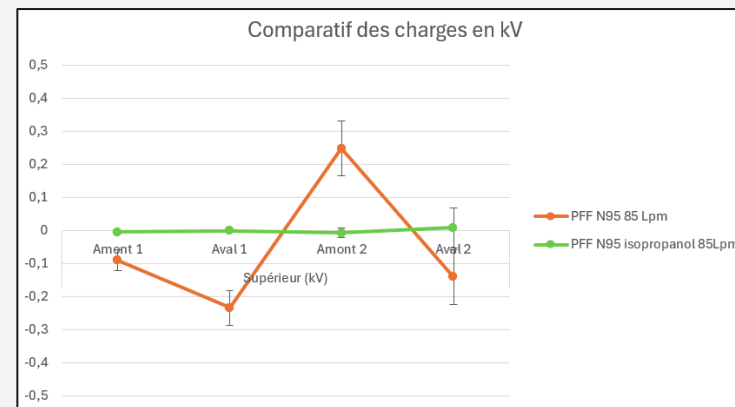
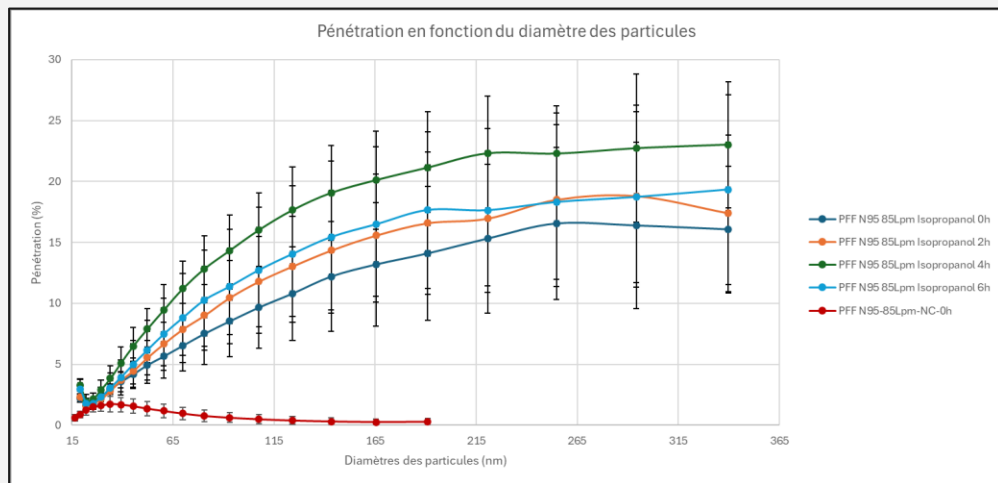
- Charges plus importantes pour la PFF R95 et la PFF P95

# Discussion : résumé

Paramètres étudiés	Pénétration des particules	Charge électrostatique
Effet du temps d'utilisation	Déplacement de la taille de particule plus pénétrante ↓ Pénétration qui devient plus importante pour les diamètres de particules supérieurs	Dégradation de la charge sur la première surface exposée
Effet d'une réduction du débit d'aérosol	Diminution de la pénétration due à une vitesse de filtration plus faible	Effet négligeable
Effet du conditionnement	Effet négligeable  Différences inhérentes à la variabilité des échantillons	Effet négligeable
Variabilité entre les gammes	Pénétration minimale pour les P95 Pénétration maximale pour les N95	Structures similaires PFF N95/PFF 2 N95 PFF R95/PFF P95

# Discussion : neutralisation de la charge

Neutralisation de la charge par immersion dans l'isopropanol de PFF N95



- Pénétration qui augmente drastiquement
- Déplacement de la taille de particule plus pénétrante

Destruction complète des charges dans les fibres

# Discussion : lien entre pénétration et charge

## Observations expérimentales

- Diminution progressive de la charge électrostatique lors de l'utilisation
- Augmentation simultanée de la pénétration et déplacement de la taille de particule plus pénétrante



## Interprétation physique

- Disparition progressive du mécanisme de capture électrostatique

**La charge électrostatique constitue un mécanisme majeur de filtration dans les PFF**

**Sa dégradation au cours de l'utilisation entraîne une augmentation directe de la pénétration des particules**

1

Contexte et objectifs

2

Approche  
expérimentale

3

Résultats et analyse

4

Conclusion et  
perspectives



# Conclusion

## Résultats obtenus

- (1) La pénétration des PFF augmente avec un débit respiratoire plus important (85 L/min > 42 L/min)
- (2) Efficacité des PFF : P95 > R95 > N95
- (3) La pénétration évolue au cours du temps d'exposition du au dépôt de particules
- (4) Effet négligeable du conditionnement
- (5) Corrélation directe entre diminution de la charge électrostatique et perte d'efficacité de la PFF

## Cheminement effectué

Approche combinant mesures de pénétration et mesures de charge électrostatique



Meilleure compréhension de l'évolution des performances des PFF en conditions d'utilisation



La charge électrostatique constitue un mécanisme majeur de capture dans les PFF



Contribution à l'évaluation de la protection proposée aux travailleurs exposés aux particules

# Perspectives :

## Multiplication des conditions d'étude

- Humidité (10%-80%)
  - Débits supplémentaires (135Lpm, respiration cyclique)
  - Type d'aérosol
- ↳ Passer d'un aérosol solide à du DOP

## Caractérisation des médias

### Structure interne de la PFF

↳ Matériau, épaisseur, compacité des médias

↳ Perméabilité

# Merci pour votre attention

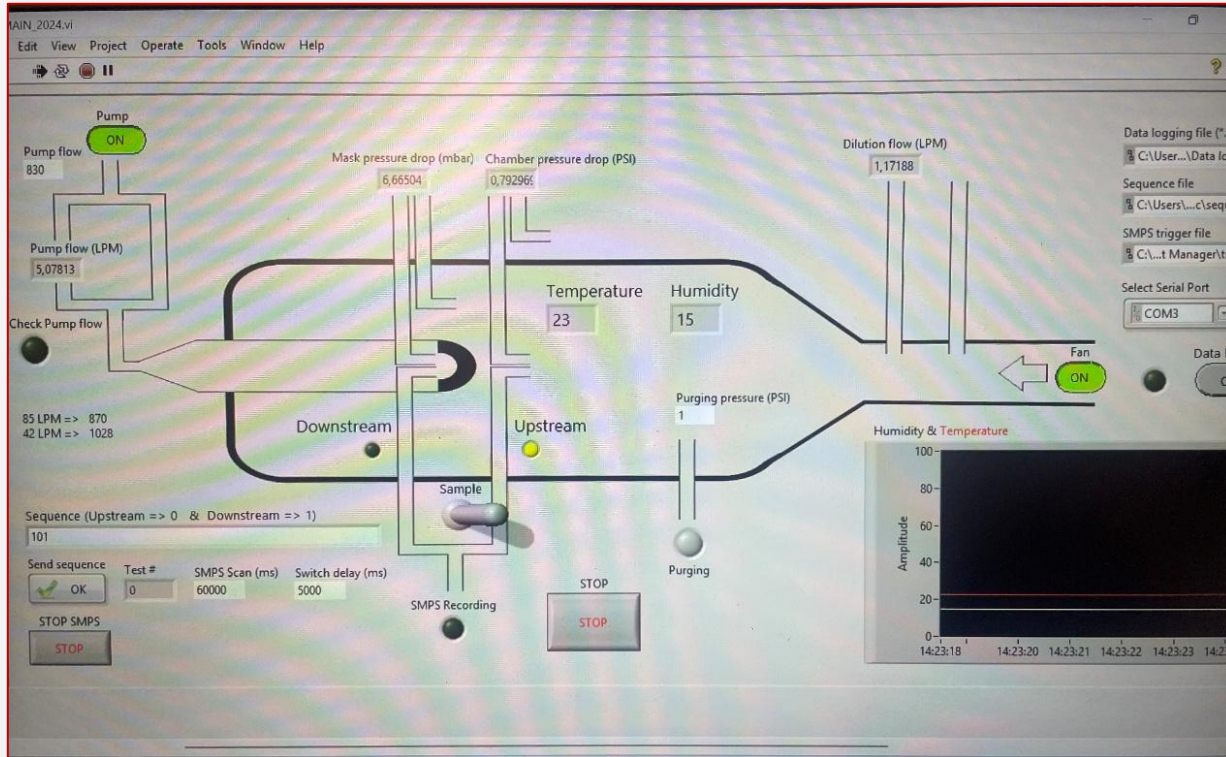


## Avez-vous des questions ?

Melvyn Digo

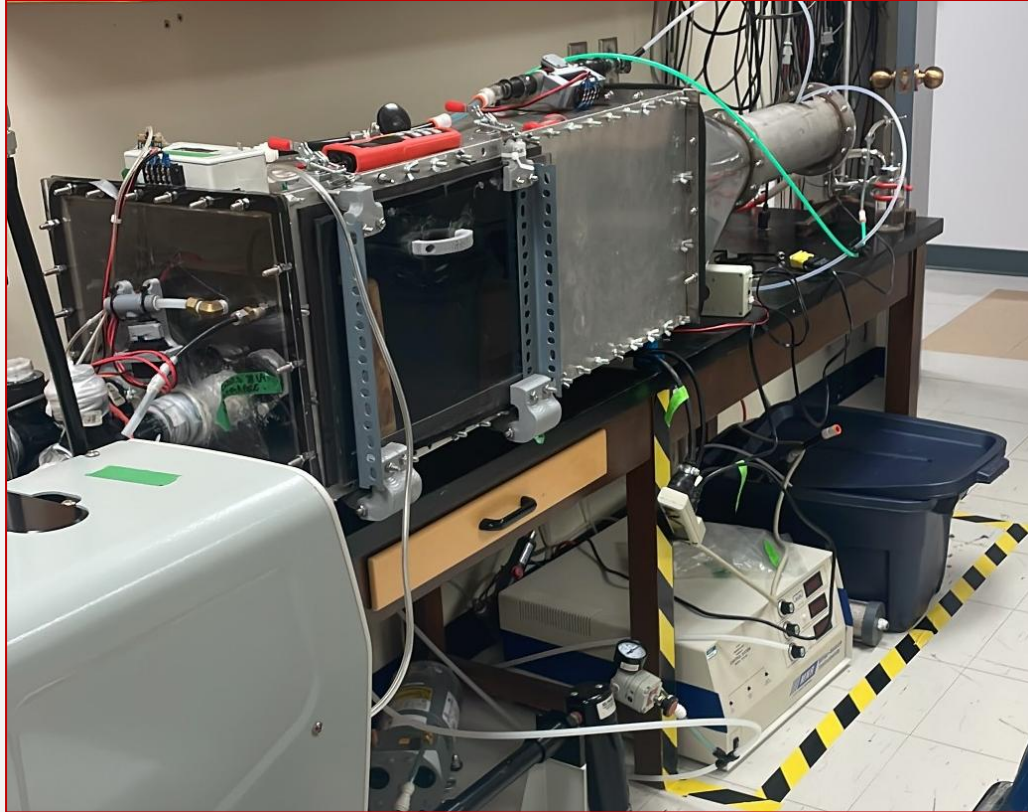


# Annexe 1 : Interface LabView



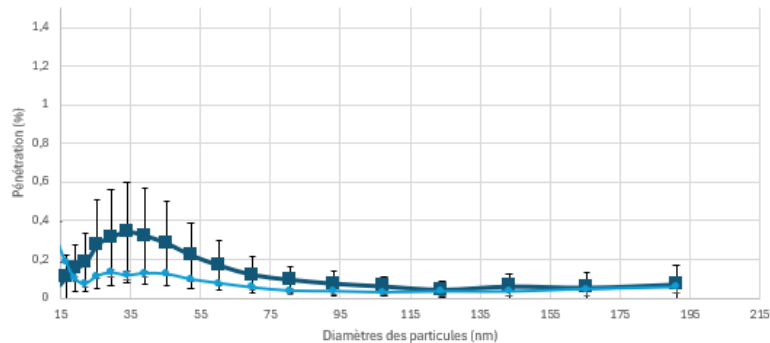
---

## Annexe 2 : Banc d'essai

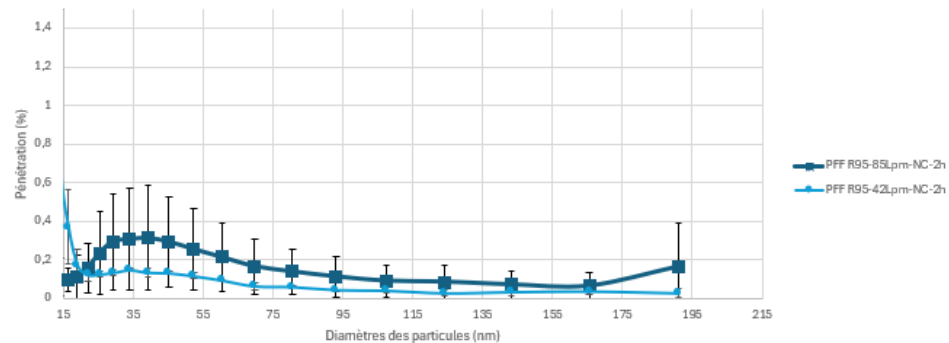


# Annexe 3 : effet des débits (PFF R95)

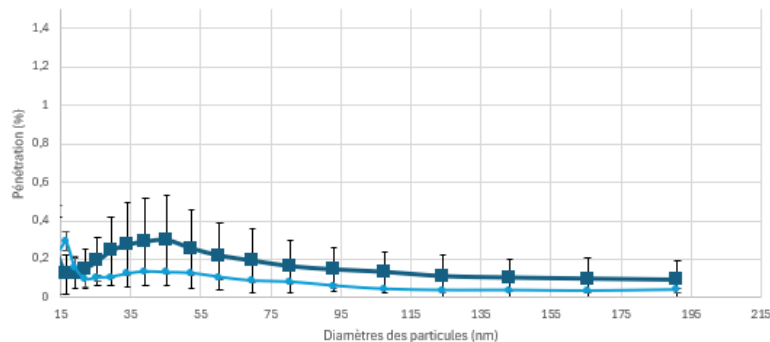
Pénétration en fonction du diamètre des particules



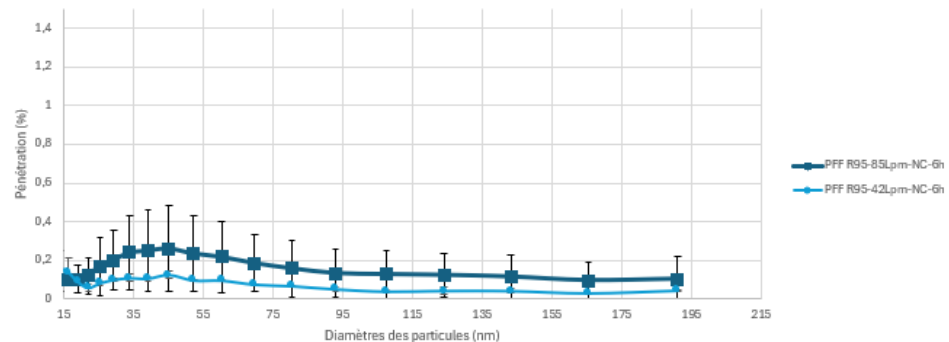
Pénétration en fonction du diamètre des particules



Pénétration en fonction du diamètre des particules



Pénétration en fonction du diamètre des particules



---

# Annexe 4 : Traitement isopropanol

## Protocole

- Conception d'une solution composée à 75% en masse d'isopropanol (IPA) et 25% d'eau distillée
- Immersion totale des masques dans la solution pendant 1h10
- Séchage de ces derniers sous hotte ventilée pendant 2 jours au minimum

