

## Évaluation de l'efficacité d'un filtre N95 contre des particules ultrafines, dont les nanoparticules, en mode de débits d'air constant et cyclique simulant la respiration des travailleurs

Ali Bahloul, Alireza Mahdavi, Claude Ostiguy / IRSST  
Fariborz Haghghat / Université Concordia





# PLAN DE LA PRÉSENTATION

---

## 1. MISE EN CONTEXTE

## 2. OBJECTIFS

## 3. BANC D'ESSAI

## 4. RÉSULTATS



- ✓ Pénétration vs fréquence et amplitude
- ✓ Pénétration vs cyclique et constant
- ✓ Colmatage vs cyclique et constant
- ✓ Humidité relative vs cyclique et constant

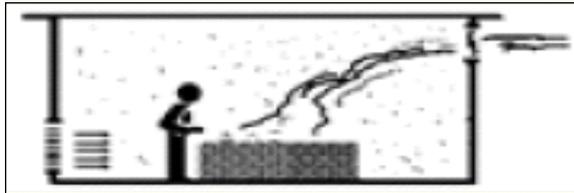
## 5. CONCLUSIONS



# MISE EN CONTEXTE

- Exposition aux particules ultrafines (PUF) et aux nanoparticules (NP)
- Taille  $dp < 100$  nm
- Grande toxicité des PUF et NP inhalées (atteinte des alvéoles)

➔ Mise en place d'une protection collective



➔ Port d'appareils de protection respiratoire (APR)



**Efficacité lors de leur utilisation???**



# MISE EN CONTEXTE

- Test de **certification NIOSH** des filtres de protection respiratoire utilise des particules de **taille d'environ de 0,3  $\mu\text{m}$**  (MPPS : les particules les plus pénétrantes, **NORME : 42 CFR part 84**)
- Les filtres de **catégorie N** sont testés en utilisant des aérosols NaCl, les **catégories R et P** sont testées en utilisant des aérosols de dioctyl-phtalate (DOP)
- Les tests sont réalisés à des débits constants de 85 l/min pour les pièces faciales et de 42,5 l/min pour les masques utilisant deux filtres



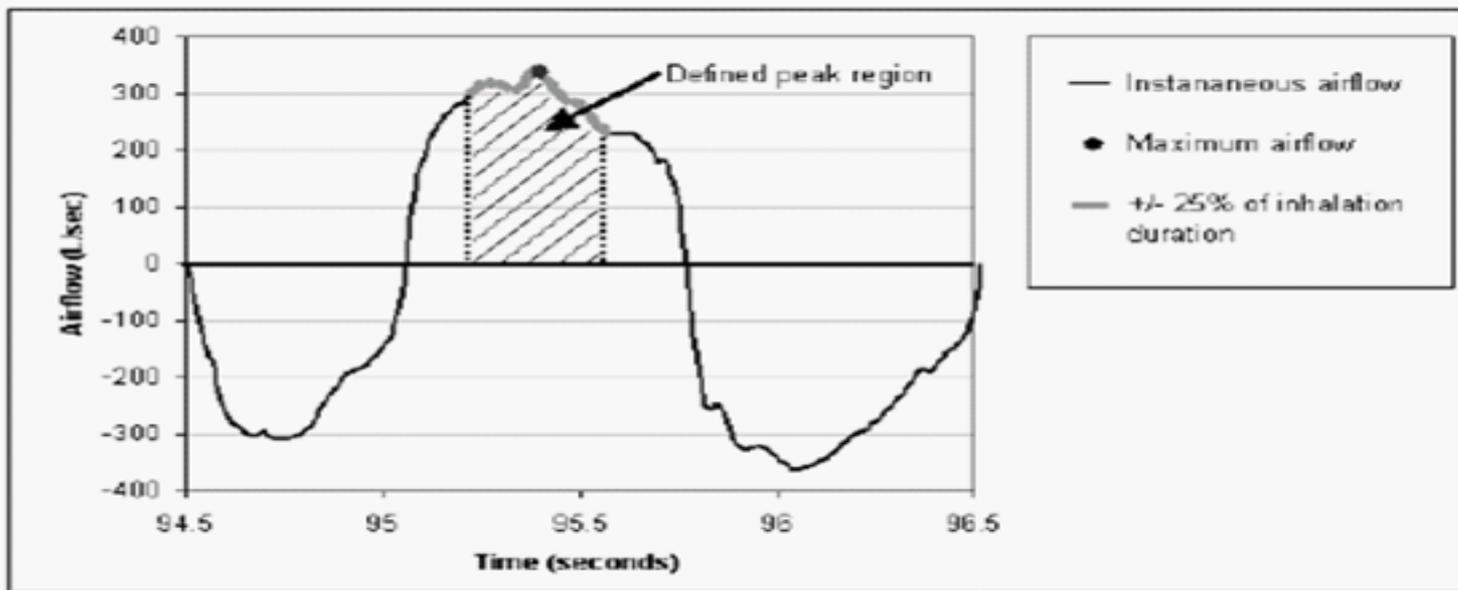
**85 l/min** débit moyen de respiration (**V<sub>min</sub>**) associé à  
une amplitude de respiration (**PIF**) de **270 l/min**  
(selon certification NIOSH : activité intense de travail)



# MISE EN CONTEXTE

## PEACK RESPIRATOIRE

Spring/Summer 2006 Journal of the International Society for Respiratory Protection, Vol. 23



Defined-peak of +/- 25% of inhalation duration.





# MISE EN CONTEXTE

## ■ Conditions d'essais des PFF N95 (42 CFR 84, 1995)

<u>Conditionnement des masques:</u>	<u>Aérosol de NaCl:</u>		<u>Mesure:</u>
$25 \pm 1$ h à $85 \pm 5$ % d'RH et $38 \pm 2,5$ °C	Diamètre médian en masse de $0,3 \mu\text{m}$ et masse de $15 \text{ mg/cm}^3$	<u>Débit des tests:</u>	par photomètre de flamme ou instr. éq.
<u>Tests:</u> à $25 \pm 5$ °C et $30 \pm 10$ % d'RH		$85 \text{ L/min}$ ( $\pm 5$ %)	Pénétration initiale et à une charge de $200 \pm 5 \text{ mg}$



**La norme est-elle représentative des conditions les plus défavorables d'utilisation des APR ?**



# MISE EN CONTEXTE

Condition Norme 42 CFR part 84 : **activité intense de travail**  
**Débit constant de 85 l/min, pénétration < 5 % et MPPS = 300 nm**

Débit	Pénétration ( % )	MPPS ( nm )
Constant ( 85 l/min )	2,66 ± 0,46	~ 40
Cyclique ( 270 l/min )	6,54 ± 0,87	~ 40

Comportement à l'**usage** et sous l'effet de l'**humidité**

Pénétration maximale @ 85 L/min (%)	À 10 % d'humidité	À 80 % d'humidité
à l'initiale	2,7 %	3,6 %
après 6 heures	1,1 %	5,2 %



# OBJECTIFS

- Pénétration vs fréquence ( $f_R$ ) et amplitude de respiration (PIF)
- Pénétration vs cyclique et constants ( $V_{min}$ , MIF, PIF)
- Pénétration vs temps d'utilisation de l'APR et humidité

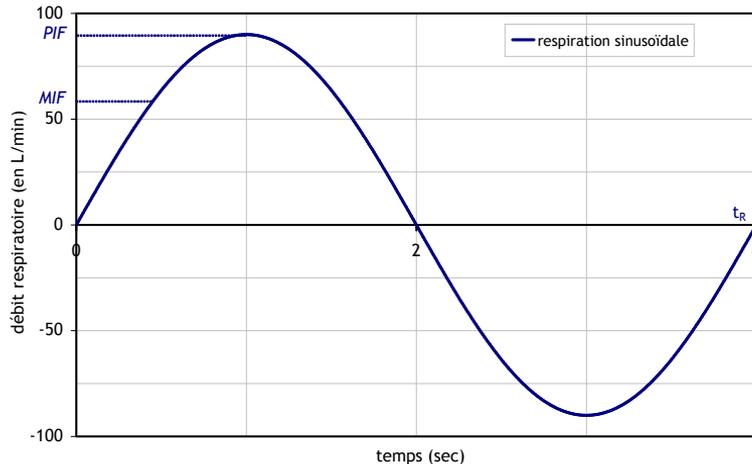
## Modélisation simple sous forme sinusoïdale

$$\dot{V}(t) = PIF \cdot \sin\left(2\pi \frac{f_R t}{60}\right) = PIF \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{t_R}\right)$$

**Débit maximal de respiration, PIF**

**Débit moyen d'inspiration ( $t_R/2$ ), MIF**

**Débit moyen de respiration ( $t_R$ ),  $V_{min} = MIF/2$**

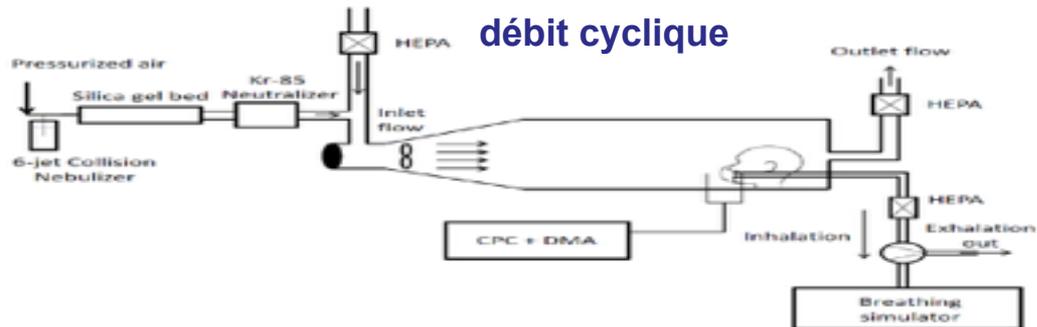




# BANC D'ESSAI



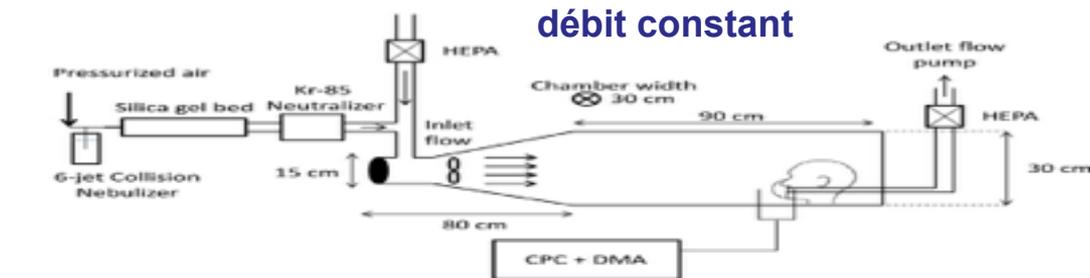
génération d'aérosols



chambre d'essai



neutralisation d'aérosols



séchage d'aérosols



Instruments de mesures



Pompe cyclique



# BANC D'ESSAI

## Absence de filtre

Pas de biais aval-amont

Uniformité dans la Chambre

Concentrations stable

Écoulement d'air uniforme

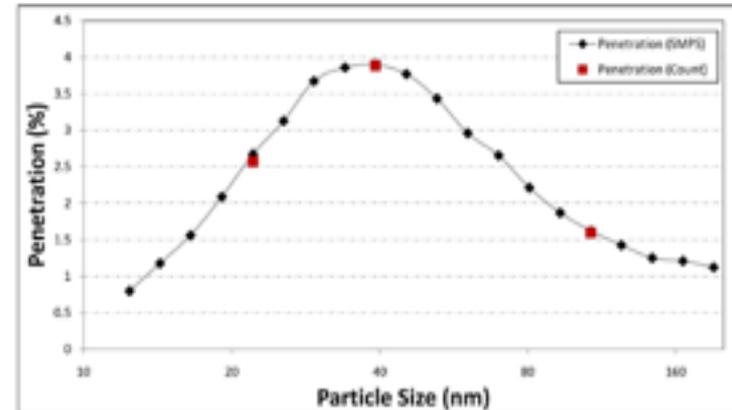
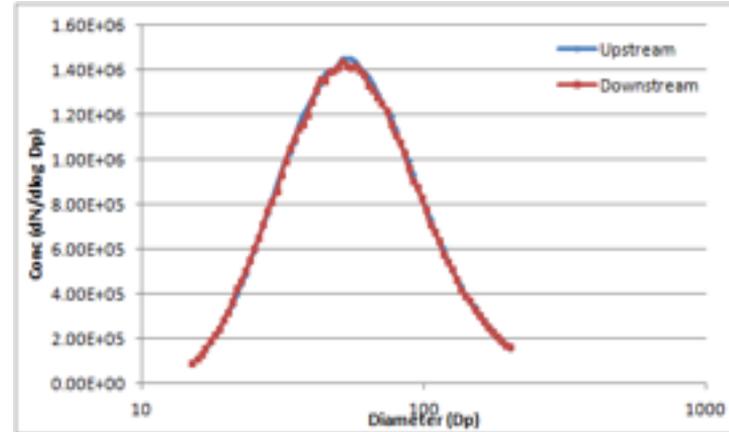
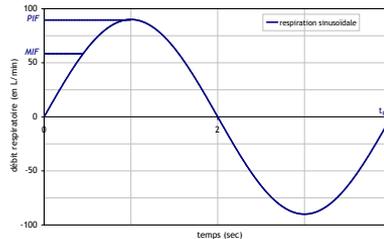
Mesures reproductibles

## Présence de filtre

Minimiser l'erreur en mode de débit cyclique

Mode SMPS (poly-disperse) vs mode CPC

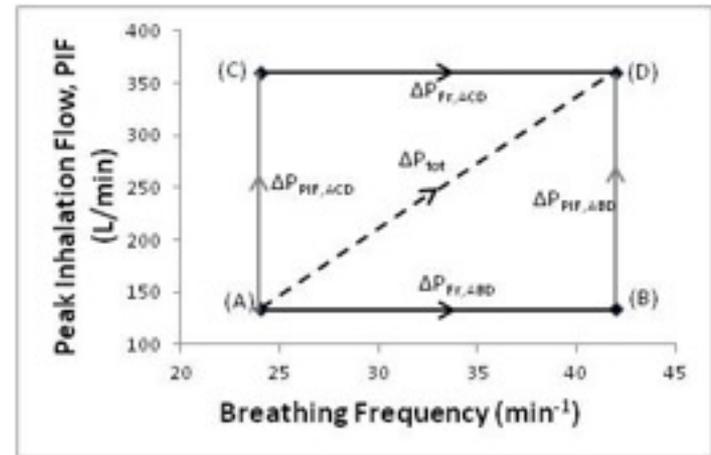
(mono-disperse)





# RÉSULTATS : Pénétration vs fréquence & PIF

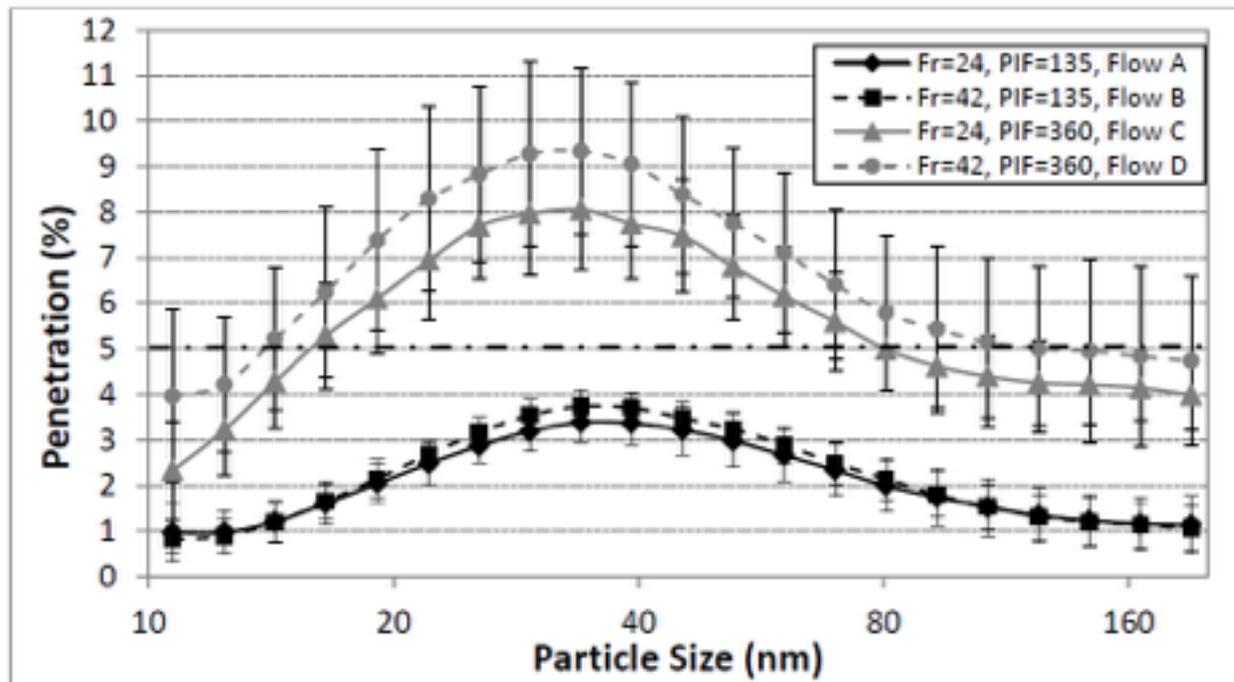
- Quatre débits cycliques
  - Deux Fr (24 et 42 respirations par Minute (BPM));
  - Deux PIF (135 et 360 L/min).
- Deux modes expérimentaux
  - En mode inhalation sans expiration
  - En mode inhalation avec expiration





# RÉSULTATS : Pénétration vs fréquence & PIF

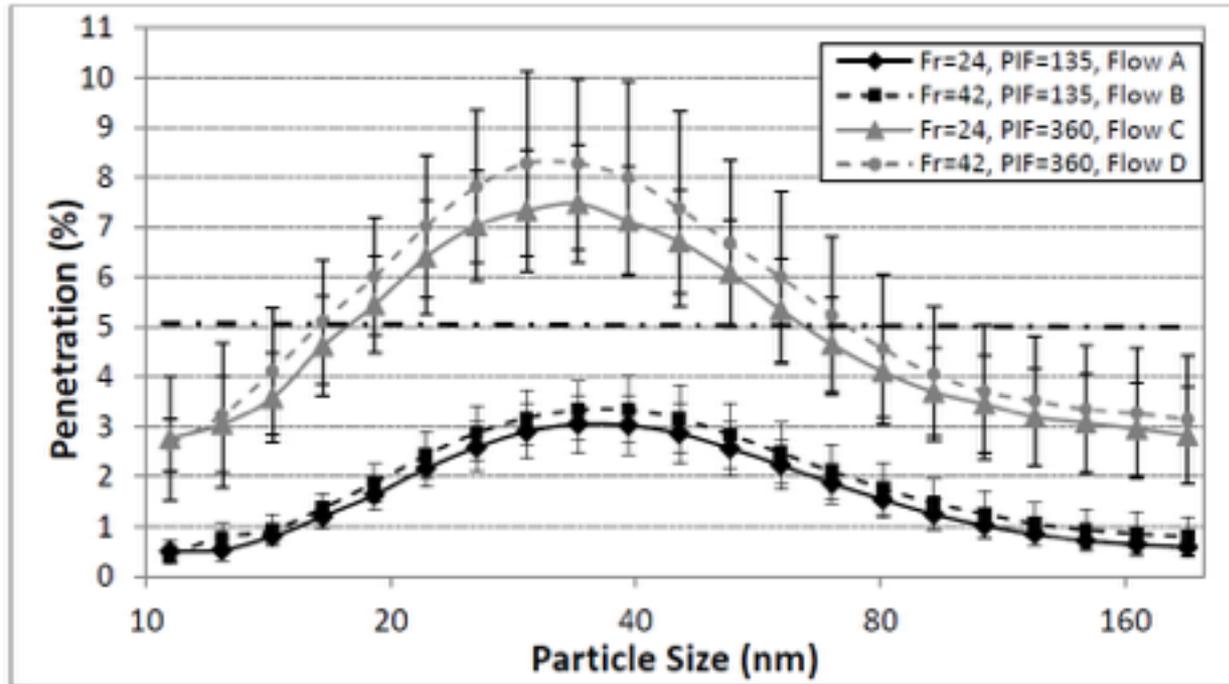
- Mode inhalation & exhalation :





# RÉSULTATS : Pénétration vs fréquence & PIF

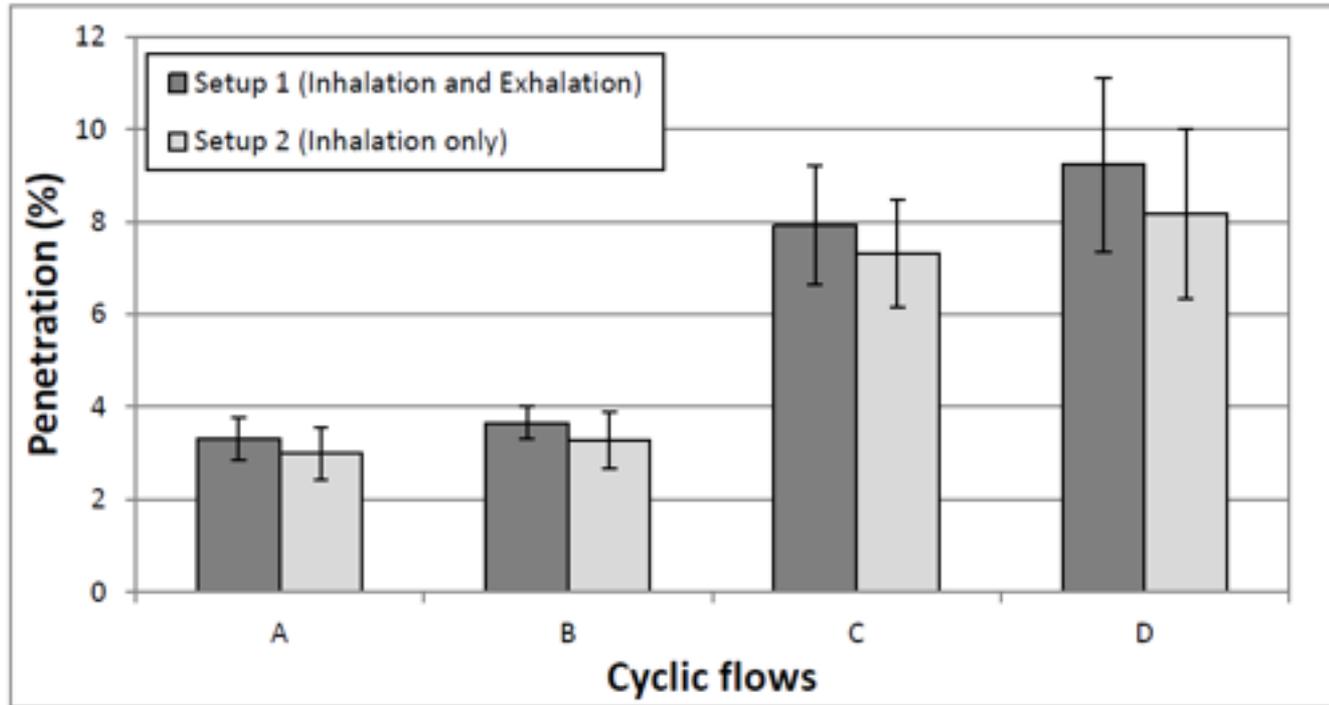
- Mode inhalation sans exhalation :





# RÉSULTATS : Pénétration vs fréquence & PIF

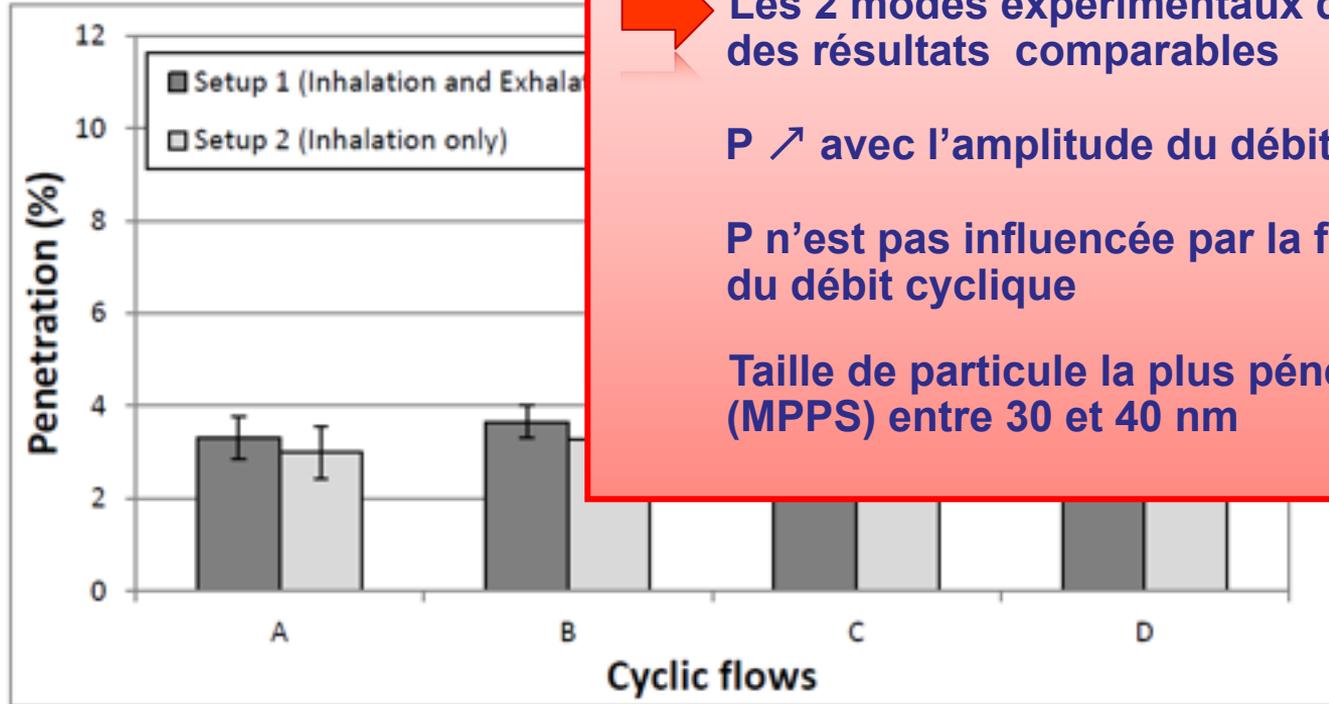
- Effet de la fréquence et PIF sur la pénétration :





# RÉSULTATS : Pénétration vs fréquence & PIF

- Effet de la fréquence et PIF sur la pénétration :



Les 2 modes expérimentaux donnent des résultats comparables

$P \nearrow$  avec l'amplitude du débit cyclique

$P$  n'est pas influencée par la fréquence du débit cyclique

Taille de particule la plus pénétrante (MPPS) entre 30 et 40 nm



# RÉSULTATS : Pénétration vs cyclique & constants

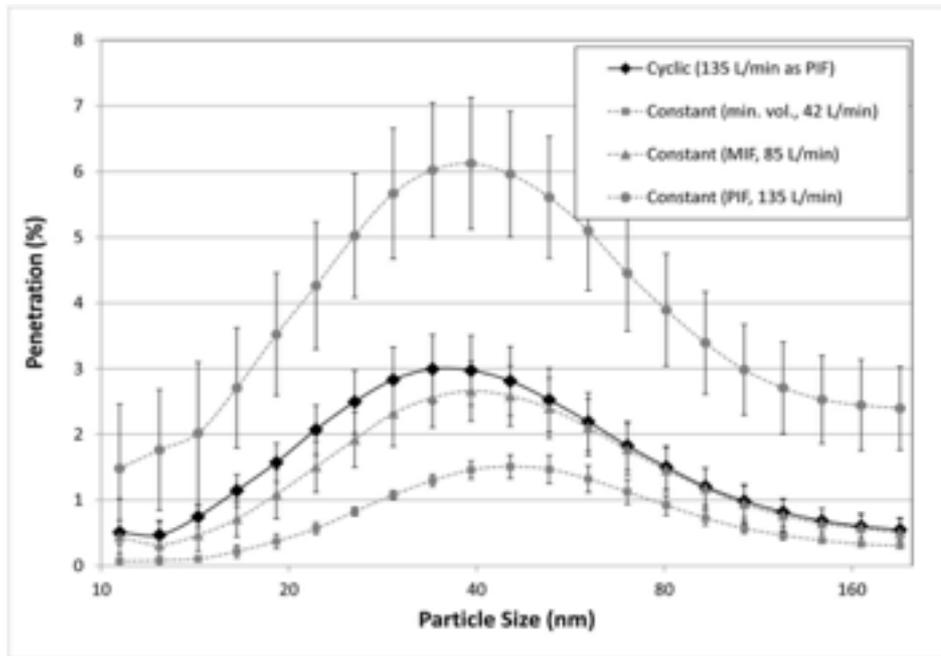
- Huit débits cycliques entre 42 et 360 L/min.
- Chaque débit cyclique est comparé à ses 3 débits constants associés (Vmin, MIF et PIF).

Cyclic Flow	Constant flow (MV)	Constant flow (MIF)	Constant Flow (PIF)
Fr=16, PIF=68	N/A	42	68
Fr=20, PIF=105	N/A	68	N/A
Fr=24, PIF=135	42	85	135
Fr=30, PIF=210	68	135	210
Fr=36, PIF=270	85	172	270
Fr=42, PIF=360	115	230	360
Fr=45, PIF=430	135	270	N/A
Fr=48, PIF=570	N/A	360	N/A

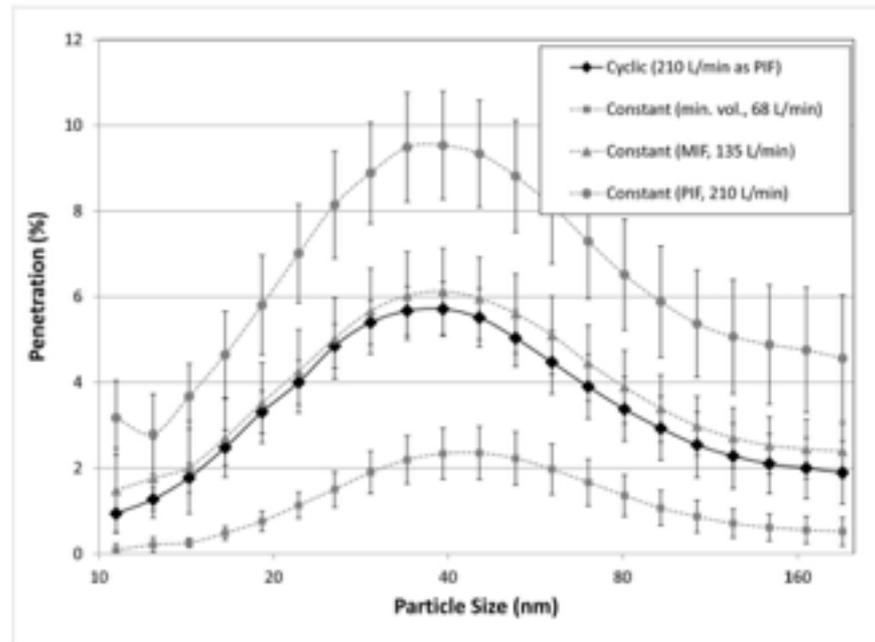


# RÉSULTATS : Pénétration vs cyclique & constants

V<sub>min</sub> = 42 L/min



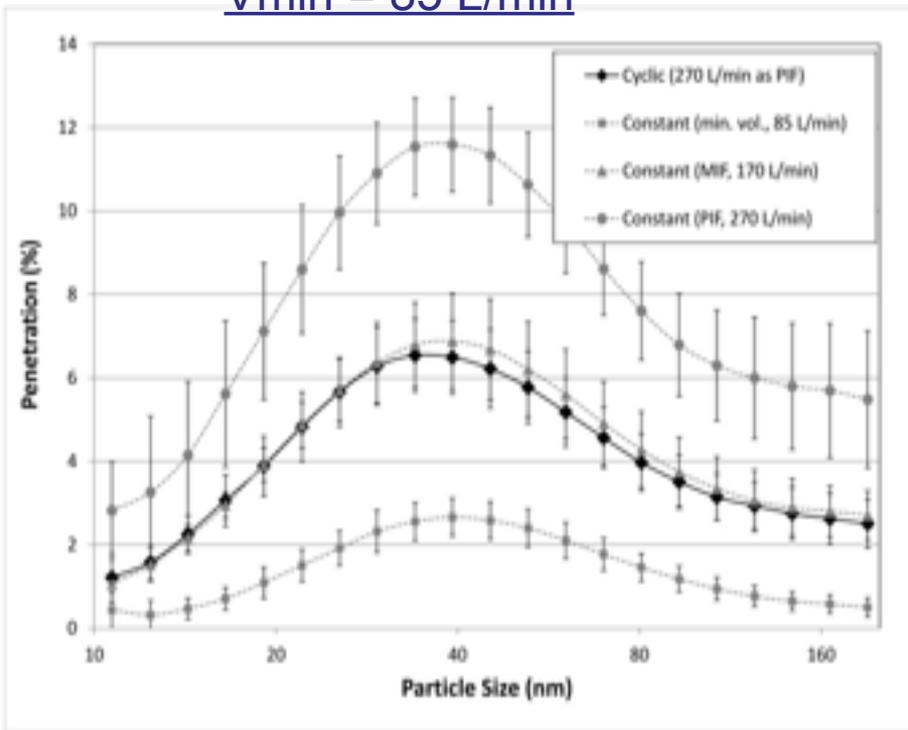
V<sub>min</sub> = 68 L/min



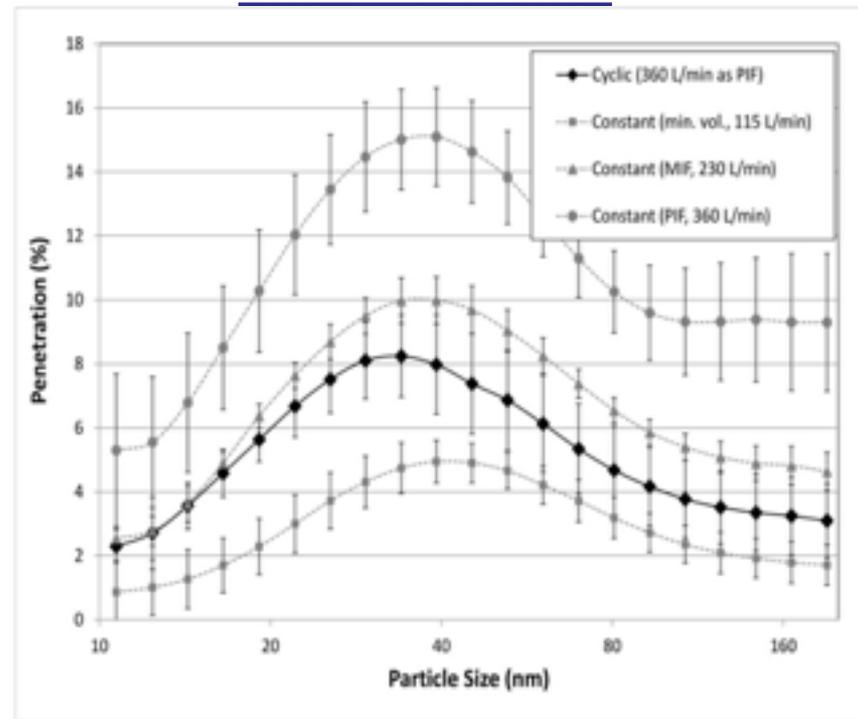


# RÉSULTATS : Pénétration vs cyclique & constants

V<sub>min</sub> = 85 L/min



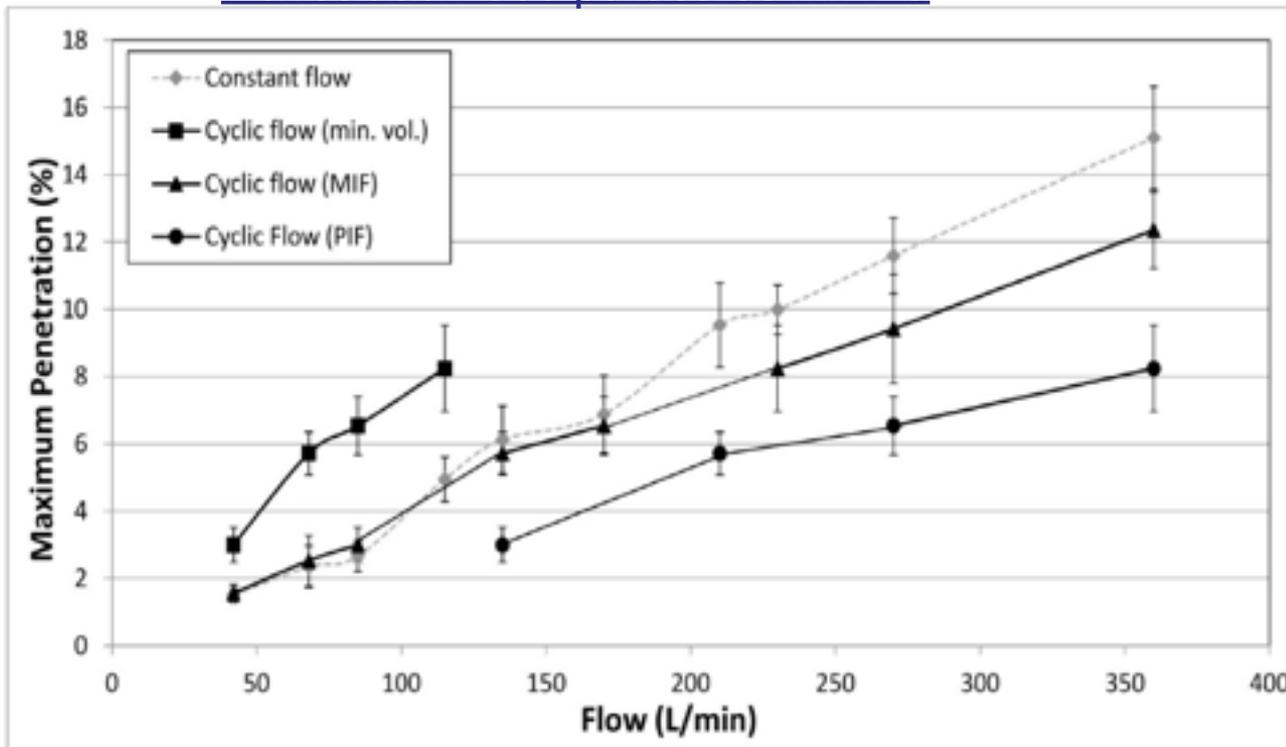
V<sub>min</sub> = 115 L/min



# RÉSULTATS : Pénétration vs cyclique & constants



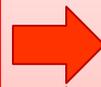
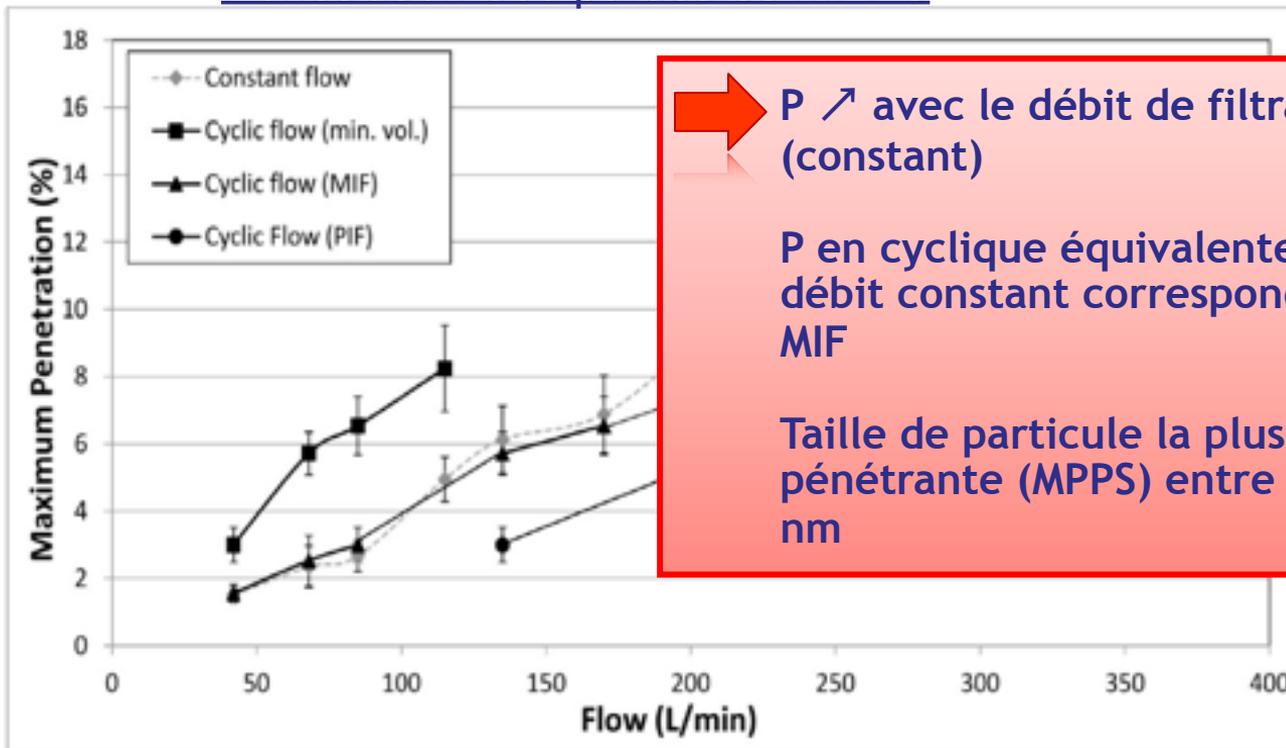
## Pénétration des particules MPPS





# RÉSULTATS : Pénétration vs cyclique & constants

## Pénétration des particules MPPS



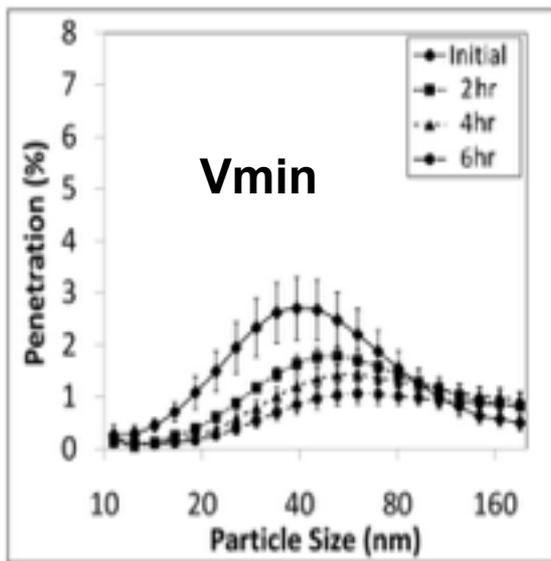
$P \nearrow$  avec le débit de filtration (constant)

P en cyclique équivalente à un débit constant correspondant au MIF

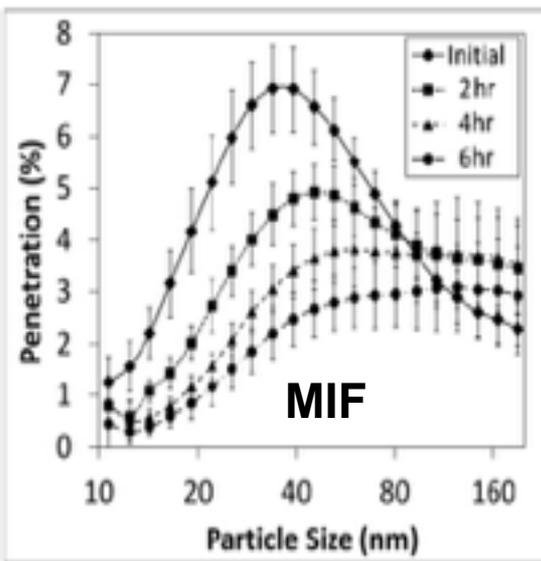
Taille de particule la plus pénétrante (MPPS) entre 30 et 40 nm



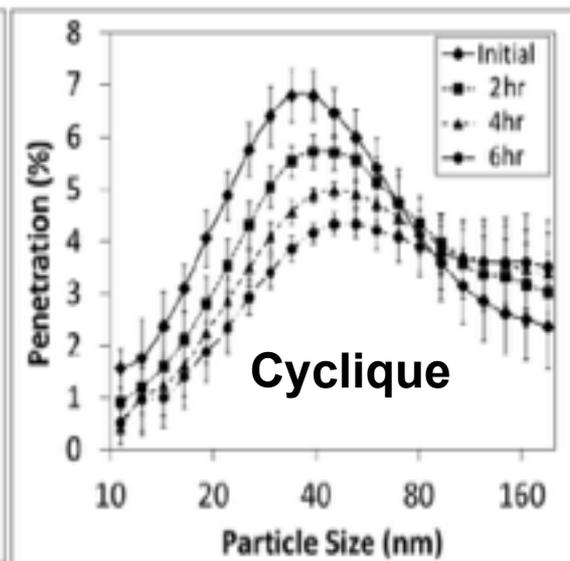
# RÉSULTATS : Colmatage vs cyclique & constants



(a)



(b)



(c)

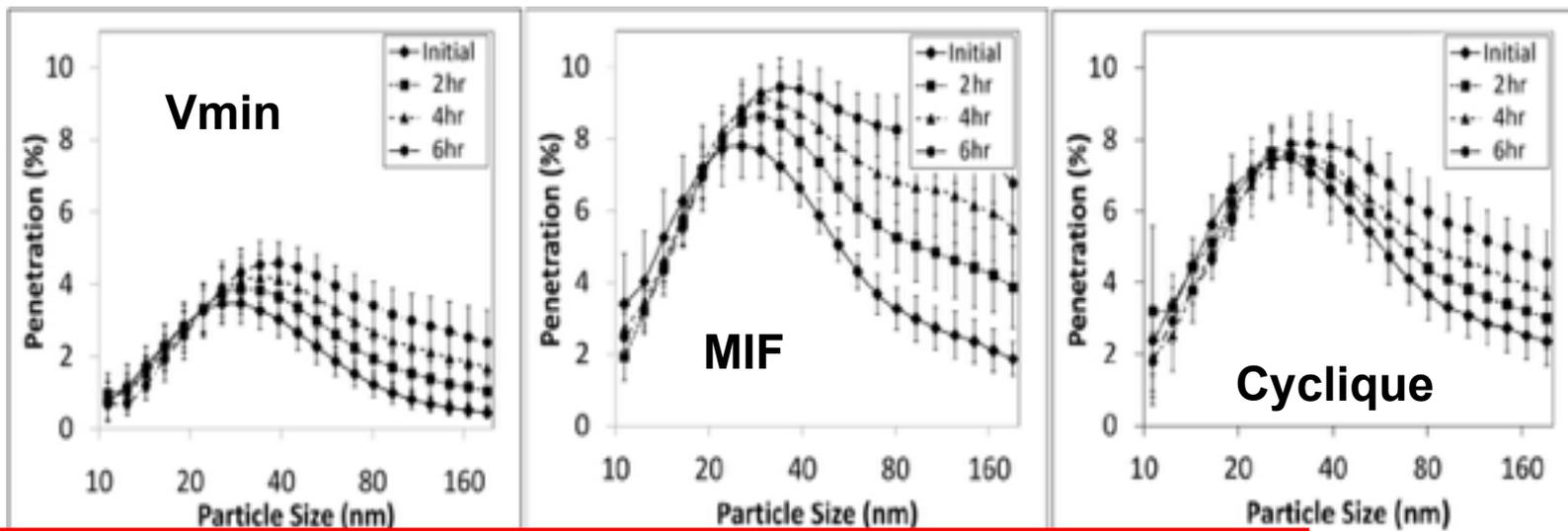
➔  $dp < 100\text{nm}$ :  $P \searrow$  avec le temps  
 $dp > 100\text{nm}$ :  $P \nearrow$  avec le temps  
Décalage de MPPS vers les particules de taille plus grande

Humidité de 10 %





# RÉSULTATS : Humidité vs cyclique & constants



(c)

Humidité n'a pas d'influence sur la pénétration initiale

→ P ↗ au cours du temps pour RH = 50 et 80 %

Décalage de MPPS vers les particules de taille plus grande

Humidité de 50 %



# CONCLUSION

Modes inhalation avec ou sans exhalation **donnent des résultats comparables**

Débit cyclique vs fréquence & amplitude

**P** ↗ avec l'amplitude du débit cyclique

**P** n'est pas influencée par la fréquence débit cyclique

Pénétration vs cyclique & constants (Vmin, MIF, PIF)

**P** ↗ avec l'amplitude du débit

**P** en cyclique équivalent à MIF

**MPPS** se situe entre 30 et 40 nm

Humidité n'a pas d'effet sur **P** initiale

Colmatage à 10 % d'humidité

**dp**<100nm: **P** ↘ avec le temps d'utilisation

**dp**>100nm: **P** ↗ avec le temps d'utilisation

Décalage de la **MPPS** vers les plus grandes particules

Colmatage à 50 % ou 80 % d'humidité

**P** ↗ avec le temps d'utilisation quelque soit **dp**





# VALORISATION

---

## • RAPPORT

1. [Bahloul A.](#); Haghghat, F; Mahdavi, A; Ostiguy, C Rapport : R-919, 2016
2. [Bahloul A.](#) Haghghat, F; Mahdavi, A; Ostiguy, C, Rapport : R-932, 2016
3. Mahdavi, A; Rapport de Maîtrise, codirigé par Haghghat, F et [Bahloul A.](#) 2013

## • ARTICLES DE PÉRIODIQUE

1. Mahdavi A., Haghghat F., [Bahloul A.](#), Brochot C., Ostiguy C., Particle loading time and humidity effects on the efficiency of an N96 filtering facepiece respirator model under constant and inhalation cyclic flows, Annals of Occupational Hygiene, 2015
2. Brochot C., Djebara A., Haghghat F., [Bahloul A.](#), Validation of a laboratory test bench for the efficiency of an N95 filtering face piece, using simulated occupational exposure, Journal of Environmental & Analytical Toxicology, 2015
3. Mahdavi A., [Bahloul A.](#), Haghghat F., Ostiguy C., Contribution of breathing frequency and inhalation flow rate on performance of N95 filtering facepiece respirators, Annals of Occupational Hygiene, 2014
4. [Bahloul A.](#), Mahdavi A., Haghghat F., Ostiguy C., Evaluation of N95 filtering facepiece respirator efficiency with cyclic and constant flows, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2014
5. Mahdavi A., [Bahloul A.](#), Haghghat F., Ostiguy C., 2013, Contribution of breathing frequency and inhalation flow rate on performance of N95 filtering face-piece respirators Annals of Occupational Hygiene, 2013





## • COMMUNICATIONS

1. Brochot C., Mahdavi A. R., [Bahloul A.](#), Haghightat F. Efficiency of an N95 filtering facepiece respirator to capture ultrafine particles under cyclic flows, and comparison with constant flows, Proceeding of 4th Workplace and Indoor Aerosols Conference (Aerosols 2016), Barcelone, Spain , 2016
2. Validation du banc de test des pièces faciales filtrantes N95 - Comparaison des mesures de performances avec une exposition professionnelle simulée
3. Brochot C., Djebara A., Haghightat F., [Bahloul A.](#) Validation du banc de test des pièces faciales filtrantes N95 - Comparaison des mesures de performances avec une exposition professionnelle simulée, Communication présentée à Le risque chimique : méthodes et techniques innovantes, Nancy, France, 2014
4. Mahdavi A., Brochot C., [Bahloul A.](#), Haghightat F., Ostiguy C. Performances des pièces faciales filtrantes N95 - Comparaison de débits constants et cycliques, Congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail / AQHSST, (36e : 7-9 mai, 2014 : Beaufort, Canada), 2014
5. Brochot C., Mahdavi A., [Bahloul A.](#), Haghightat F., Ostiguy C. Performances des pièces faciales filtrantes N95 à débit constant et cyclique - Effet du temps de colmatage et de l'humidité relative, Congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail / AQHSST, (36e : 7-9 mai, 2014 : Beaufort, Canada), 2014
6. Mahdavi A., [Bahloul A.](#), Ostiguy C. Haghightat F. Peak and frequency inhalation flow impact on NP penetration through N95 filters, American Industrial Hygiene Conference and Exhibition / AIHce 2013 (May 18-23, 2013 : Montréal, Canada), 2013
7. Mahdavi A., [Bahloul A.](#), Ostiguy C., Haghightat F. Effectiveness of N95 filters for capturing nano-particles under cyclic and constant flow, Conférence NanoQuébec 2012, (20-21 mars, 2012 : Montréal, Canada), 2012



# Merci pour votre attention

