

# Comment réduire le risque d'infection par voie aérienne grâce à la ventilation/ Purification de l'air?

**Halton**

Gaëtan Michielsens  
Sander Ramioul

**Atic**  
for HVAC professionals



# Contenu de la présentation

- Les différents besoins de nettoyage / purification
  - Purification de l'air
    - Purification de l'alimentation en air
    - Nettoyage supplémentaire de l'air ambiant pour contrôler les niveaux de contamination
- Présentation des différentes techniques de purification de l'air
- Impact de la ventilation / purification des infections par voie aérienne
  - Cas: retour en toute sécurité au bureau de Halton Pasila en Finlande.
- Exemples de conception de certaines situations de purification de l'air
  - Contrôle de la contamination de l'air ambiant

# Besoins en matière de purification de l'air dans les bâtiments

## & Précautions supplémentaires dues au Covid

- Alimentation en air
  - Nettoyage des particules de l'air extérieur (et éventuellement d'une contamination gazeuse dans certaines zones urbaines congestionnées)
  - Objectif : protéger le système de ventilation, le bâtiment et les personnes
  - En général, pas besoin de précautions supplémentaires dues au Covid-19
- Systèmes de recirculation d'air pour plusieurs pièces
  - Protection du système contre la poussière
  - Nécessité d'une meilleure purification de l'air (par exemple HEPA) pour éviter la contamination croisée - difficile à réaliser dans les systèmes existants

# Besoins en matière de purification de l'air dans les bâtiments

## & Précautions supplémentaires dues au Covid

- Purification supplémentaire de l'air ambiant pour contrôler les niveaux de contamination, souvent réalisée par des purificateurs d'air mobiles
  - Nettoyage de l'air ambiant des impuretés telles que les particules, les odeurs (telles que les composants organiques volatils)
  - Objectif : compléter une ventilation insuffisante, compenser des émissions locales élevées ou protéger les personnes sensibles
  - **Besoin de réduire le risque d'infection en réduisant le contenu microbien de l'air ambiant**
    - Afin d'avoir un impact remarquable, il est important que l'efficacité de nettoyage, la capacité de l'air et la capacité d'influencer le mouvement de l'air ambiant soient assurées

# Techniques de purification de l'air

- Filtration mécanique
  - Filtres bruts / fins
  - Filtres HEPA
- Lumière ultraviolette
- Électrofiltres / Ionisers
- Filtre chimique - pour l'élimination des contaminants en phase gazeuse, **non applicable pour le nettoyage microbien**
- (Gazage - principalement dans des pièces spéciales)

REMARQUE! Les purificateurs d'air peuvent et utilisent souvent une combinaison de différentes techniques

# Évaluation des performances

## Nettoyage de l'air par recirculation

- L'efficacité d'un purificateur d'air dépend de l'efficacité du nettoyage et du débit d'air. **La capacité de l'unité à distribuer l'air dans tout l'espace à nettoyer est également importante, en particulier lorsque des contaminants critiques tels que (Covid-19) doivent être nettoyés.**
- Une cote d'efficacité couramment utilisée est **CADR** (Clean Air Delivery Rate - Taux de livraison d'air pur). Elle illustre la capacité de l'unité à nettoyer l'air de certains contaminants au même taux que l'air de ventilation nettoyé :

$$CADR = E_i \times Q_{max}$$

$E_i$  est l'efficacité de nettoyage de l'unité pour un contaminant préoccupant [ $i$ ]

$Q_{max}$  est le débit d'air maximal [ $m^3/h$ ]

- L'efficacité  $E_i$  est naturellement différente pour les différentes tailles de particules, microbes ou gaz, selon le problème. Il est donc essentiel de savoir quel est le but d'utilisation
  - À titre d'exemple pour la contamination particulaire, il est important de s'assurer que l'unité est efficace pour les particules qui doivent être capturées (pour les filtres mécaniques, la mesure est la taille des particules)**REMARQUE! La taille des particules du Covid-19 est 0,1  $\mu m$**

# Filtration mécanique

- La filtration mécanique élimine les contaminants particulaires de l'air - l'efficacité dépend de la qualité et du type de filtre utilisé
- Lorsqu'il est correctement utilisé et entretenu, il n'y a aucun effet indésirable à prendre en compte
  - Empêcher la pénétration d'humidité (ventilateurs, air extérieur,...)
  - Changer régulièrement (facile à surveiller en mesurant la perte de charge)
  - Les filtres mécaniques provoquent une chute de pression et peuvent consommer un peu plus d'énergie que les méthodes de purification sans filtre
    - Cependant, la plupart des appareils de purification ont également un filtre mécanique inclus
    - Cela doit être pris en compte lorsque l'ajout / le changement de type de filtre est pris en compte dans le système existant
- L'efficacité en général et pour l'élimination du Covid-19 est discutée dans les diapositives suivantes

# Filtration des particules - Théorie

1/2

- Différents mécanismes de filtration affectent l'efficacité totale de la filtration - La diffusion et l'interception dominent en pratique
  - La diffusion est particulièrement importante pour les petites particules
- Chaque filtre a une taille de particule la plus pénétrante (**Most Penetrating Particle Size - MPPS**) avec une efficacité la plus faible

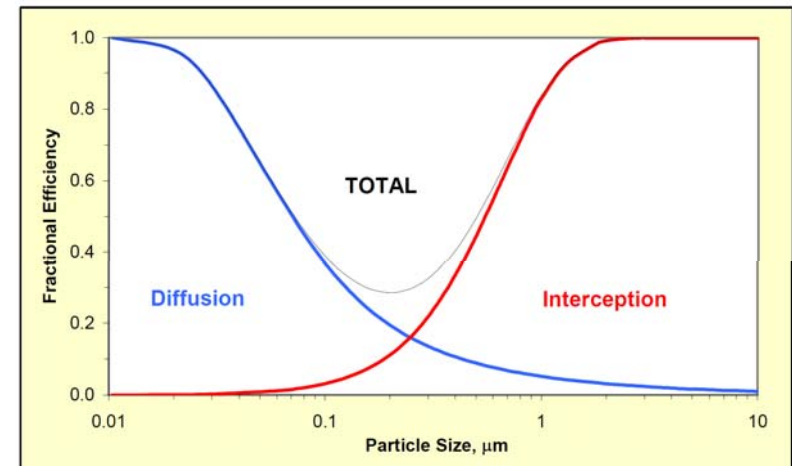
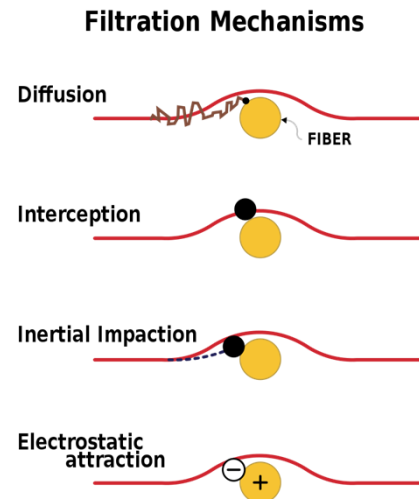


Figure 1: Generalized performance curve for a MERV 15 filter showing components.



# Filtration des particules - Théorie

2/2

- Le MPPS devient plus petit et l'efficacité minimale augmente lors du passage à une classe de filtre supérieure
- La vitesse à travers le matériau filtrant a un impact sur l'efficacité - en particulier en altérant l'effet de diffusion
- Les chiffres montrent les courbes d'efficacité des filtres MERV : ASHRAE M13 comparable au filtre EN779: F7
  - La taille de particule la plus pénétrante est proche de la taille de la molécule du Covid-19

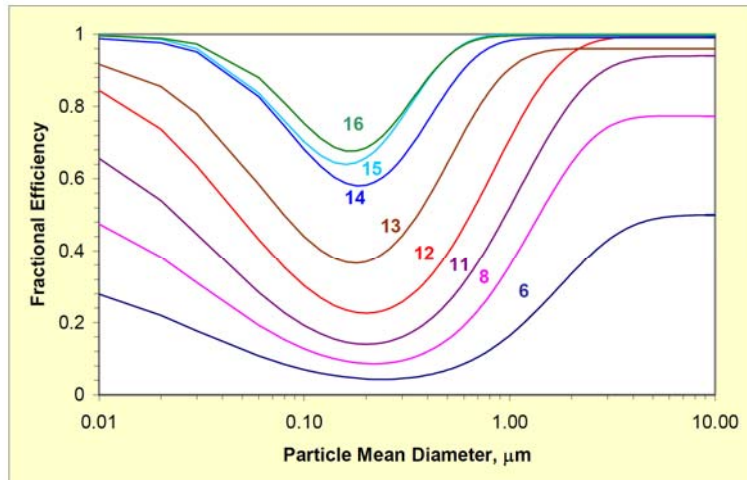


Figure 4: Composite of all MERV filter models, based on initial conditions.

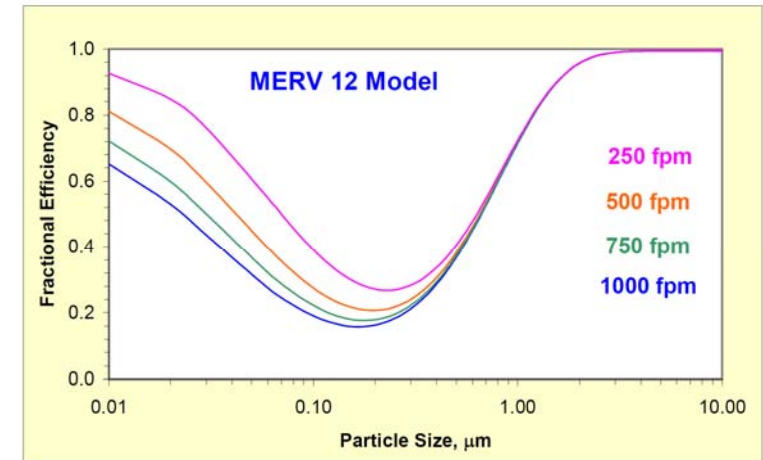


Figure 5: MERV 12 filter model at various operating velocities.

# Efficacité de filtration – Filtres à particules fines

- La nouvelle norme de classification des filtres ISO 16890 est basée sur l'efficacité moyenne (en masse) de la gamme de certaines tailles de particules, c.à.d. la taille des particules ePM1 va de 0,3 – 1,0 Microns, donc cela ne nous apprend rien à propos de l'efficacité une taille de particule spécifique. (L'ancienne norme EN 779 se concentrait sur les particules de 0,4 micron)

EN 779:2012	ISO 16890		
Filter class	ePM 1	ePM 2,5	ePM 10
M5	5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6	10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7	40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8	65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9	80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%

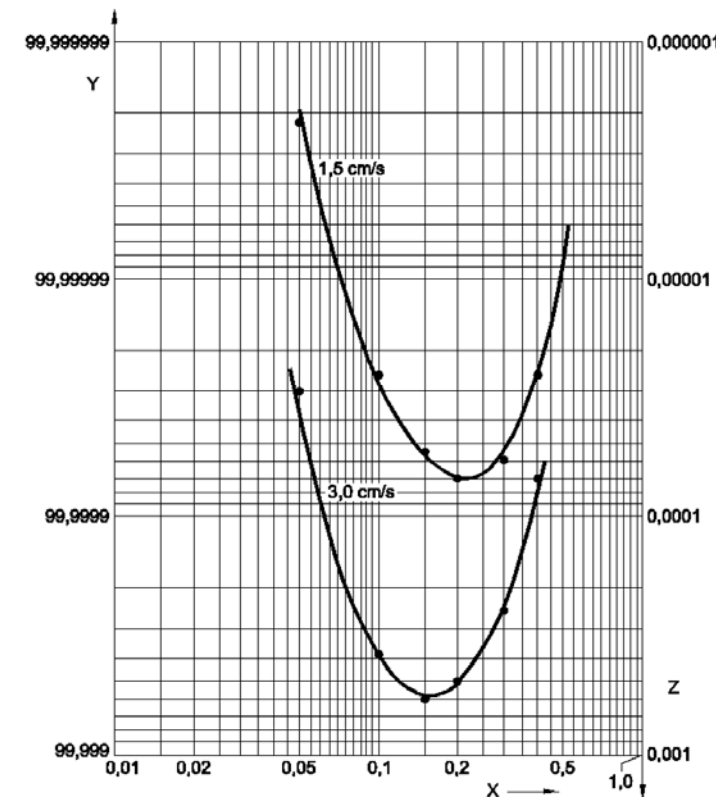
Source: Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications (1st edition).

Eurovent 4/23 – 2017, 09 January 2018, <https://eurovent.eu>

# Efficacité de filtration – Filtres HEPA/ULPA

- Le média filtrant HEPA / ULPA implique des tests de MPPS et d'efficacité minimale
  - Le MPPS pour les filtres HEPA/ULPA se trouve entre 0,1 - 0,2 microns
  - Grâce à cette méthode, il est possible de connaître l'efficacité minimale du filtre pour une taille de particule spécifique.
- Les tests de filtres complets sont également basés sur l'analyse de l'efficacité pour différentes tailles de particules
  - L'efficacité est définie pour un nombre de particule d'une certaine taille au lieu de la masse de particule sur une gamme de particules pour les filtres bruts/fins. (Les plus grosses particules ont une masse plus grande que les plus petites)
- Par exemple, l'efficacité du filtre H14 est > 99,99% pour des particules de taille Covid-19.

Figure 2 — Particle size efficiency E and penetration P of an ULPA-filter medium as function of the particle diameter  $d_p$  for two different filter medium velocities (example)



# Exemple de purificateur d'air mobile de haute capacité avec des performances suffisantes pour combattre le Covid-19

Applications, par exemple :

- Dans toutes les pièces pour compléter la ventilation pour réduire le risque d'infection
- Pour purifier l'air dans un espace spécifique (CleanUp)
- Garder les couloirs propres

Halton VCR – Toutes les caractéristiques nécessaires d'un purificateur d'air efficace:

- Le volume du flux d'air est élevé par rapport à la quantité de ventilation normale dans la pièce
  - CADR élevé, jusqu'à 2700 m<sup>3</sup>/h ( **particules < 0,3 µm** )
- Le flux d'air propre est fourni efficacement dans toute sa zone d'influence
- Possibilité d'intégrer les UV pour une inactivation efficace des microbes collectés par le filtre
- Possibilité d'intégrer un filtre combiné pour la réduction des COV
- Maintenance réduite, la période de changement de filtre /service est de 1 an



Halton VCR est un purificateur d'air HEPA ( H14 ) mobile de haute capacité conçu initialement pour améliorer la propreté de l'air de la salle d'opération.

# Démonstration de performance, nettoyage de la salle

Durée avec et sans ventilation VCR 150 m<sup>3</sup>/h VCR 1250 m<sup>3</sup>/h (capacité 45%)

AVEC VCR

CADR élevé



VENTILATION SEULE



# Purification UV-C

- La purification UVC est basée sur l'inactivation des micro-organismes dans l'air et sur les surfaces.
  - Le taux d'inactivation dépend du type de microbe, de l'efficacité d'irradiation et du temps d'exposition - **plus de détails dans la diapositive suivante**
  - Une preuve de l'efficacité spécifique pour le microbe concerné doit être fournie, en particulier pour de l'air en mouvement, où il est difficile d'atteindre un « sufficient dwell time » et efficacité.
  - Les UV n'ont aucun effet sur l'élimination des particules - un filtre final mécanique supplémentaire est nécessaire pour la capture des particules
    - Un préfiltre est également recommandé pour protéger les lampes
- Les UVC ont les effets indésirables suivants qui doivent être pris en compte
  - La lumière UV est également nocive pour les personnes
    - Si le système fonctionne avec des personnes présentes, elles doivent être protégées de l'exposition directe à l'irradiation
    - Alternativement, les systèmes peuvent être utilisés pendant les heures de non-occupation (pratique typique lors du nettoyage de surface)
  - Une forte irradiation UV peut également affecter les matériaux et les surfaces
  - Les UVC génèrent de l'ozone nocif pour les personnes - il est nécessaire d'avoir la preuve que celui-ci est éliminé dans le produit à utiliser.
    - Assurer l'utilisation d'UVC à émission nulle / faible et une génération d'ozone suffisamment faible par rapport au flux d'air de ventilation
- Il se peut qu'il n'y ait pas encore de preuves de l'efficacité des produits existants pour le Covid-19. Au minimum, il devrait y avoir des preuves de l'efficacité du produit sur plusieurs microbes pour pouvoir évaluer le potentiel.





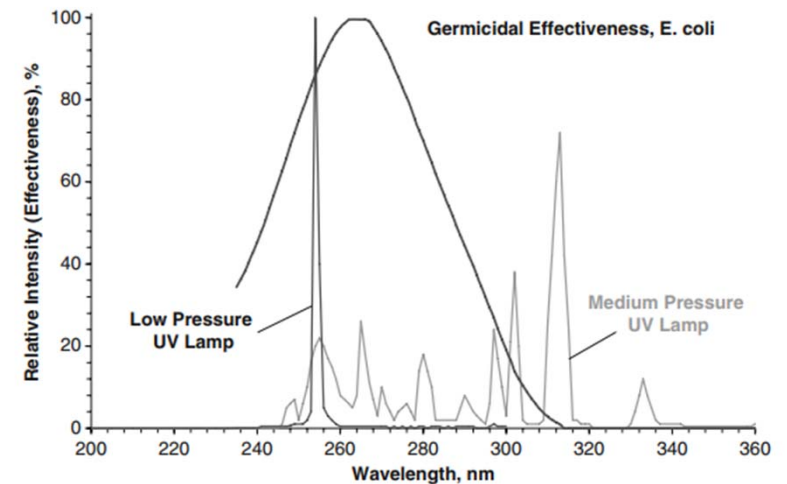
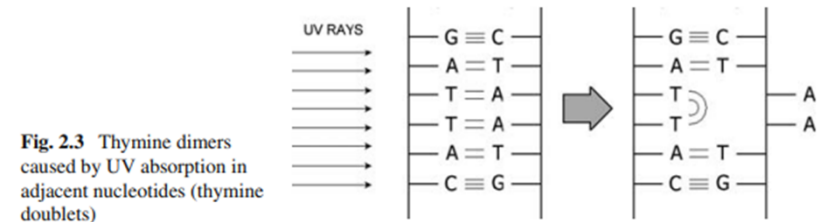
# Contexte théorique UV

- L'irradiation germicide ultraviolette (UVGI) est un rayonnement électromagnétique qui peut détruire la capacité des micro-organismes à se reproduire en provoquant des changements photochimiques dans les acides nucléiques. Les longueurs d'onde de la gamme UVC sont particulièrement dommageables pour les cellules car elles sont absorbées par les acides nucléiques.
- L'irradiation UV affecte l'ADN / ARN des agents pathogènes en brisant les liaisons thymine de l'hélice et en les réticulant (également connu sous le nom de Thymine Dimer)
- La vitesse à laquelle un pathogène est inactivé peut être décrite par l'équation ci-dessous

$$S = e^{-kIt} \quad \text{Eq. 1}$$

- Le k représente la sensibilité individuelle des agents pathogènes à la dose UV donnée ( $D = I * t = \text{Intensité lumineuse} * \text{Temps d'exposition}$ )

Intensité  
ou  
Temps  
d'exposition  Taux de survie  
des agents  
pathogènes 




**Fig. 2.1** Germicidal efficiency of UV wavelengths, comparing High (or medium) and Low pressure UV lamps with germicidal effectiveness for *E. coli*. Based on data from Luckiesh (1946) and IESNA (2000)

# Impact de la ventilation / nettoyage sur les infections par voie aérienne





A photograph of a modern office interior. On the left, a large, lush green plant with long, thin leaves stands next to a silver laptop. In the center, a window with white blinds is partially open, and a white cushioned bench with two bright green pillows and a grey blanket sits in front of it. To the right of the window, several colorful sticky notes are pinned to the wall. The text is overlaid on a semi-transparent white box in the center of the image.

Les infections par voie aérienne  
et la pandémie doivent être  
prises en compte lors de la  
conception et de l'exploitation de  
la ventilation dans les nouveaux  
bâtiments et les projets de  
rénovation.



L'employeur doit également aménager la ventilation de manière à réduire le risque d'infection.

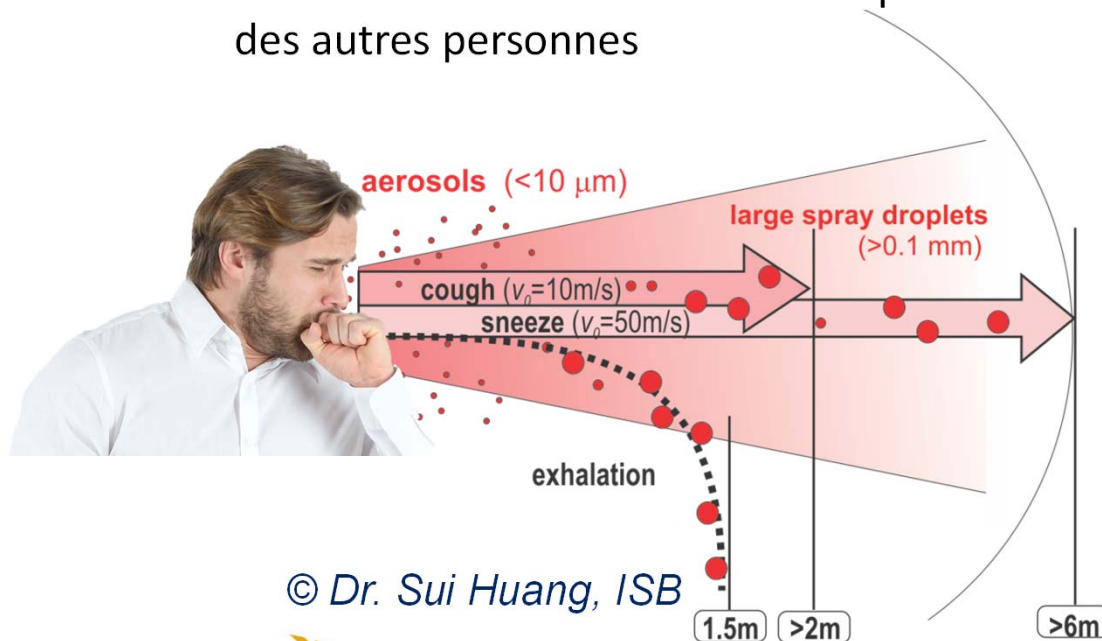
Il existe des moyens de réduire considérablement le risque d'exposition.



# Exposition à la maladie

## Exposition directe

- Les gouttelettes et les aérosols se propagent directement dans les zones de respiration des autres personnes



## Exposition indirecte dans l'air

- Les gouttelettes et surtout les aérosols planent avec les courants d'air dans l'espace et dans les zones de respiration des autres personnes
- La ventilation réduit la quantité de virus dans l'air
- La distribution générale de l'air vise à diluer les polluants uniformément dans l'espace

# Comment la ventilation et la direction des flux d'air peuvent-elles réduire le risque d'infection?

## Exposition directe

- Évaluer les situations où le risque d'exposition directe ne peut être exclu malgré la distance de sécurité de deux mètres
- Vérifier les situations avec des tests de fumée et apporter les modifications nécessaires
- Changements physiques (parois en plexi, rideaux d'air)
- Changements dans la disposition des sièges



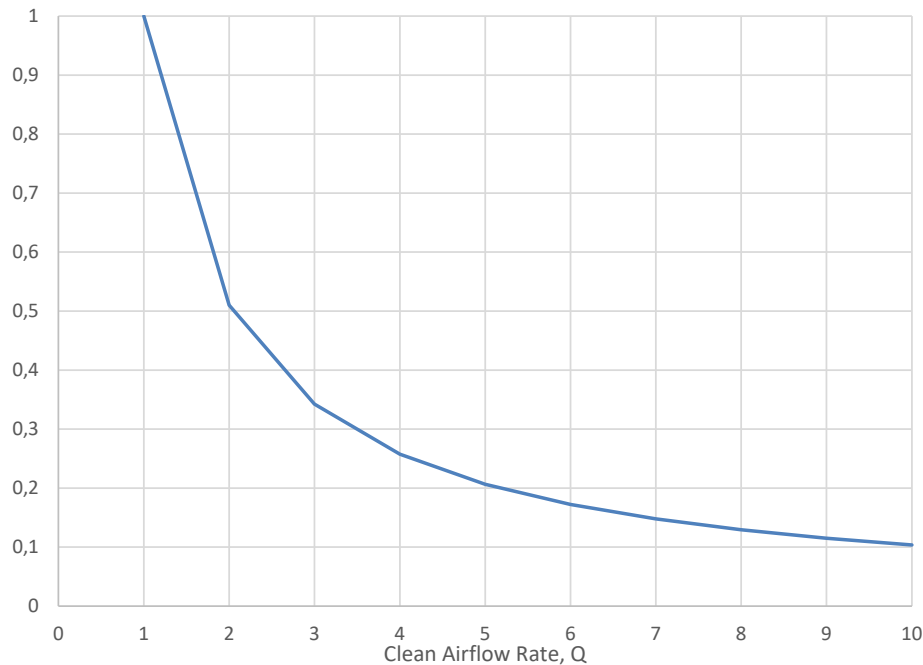
## Exposition indirecte dans l'air

- Sélectionner des situations où une personne infectée peut exposer d'autres personnes dans le même espace (scénario de risque)
- Calculer le risque que des employés en bonne santé soient infectés par des particules en suspension dans l'air à l'aide du modèle Wells-Riley
- Étudier l'amélioration de la ventilation et de la distribution de l'air et identifier d'autres mesures pour réduire le risque
- Si la capacité du système de ventilation n'est pas suffisante, des purificateurs d'air locaux efficaces pourront aider

# Modèle Wells-Riley

## L'augmentation de la ventilation réduit le risque d'infection

New infections



### Transmission - Wells-Riley Equation

$$C = S [1 - \exp(-Iqpt / Q)]$$

- C = new infections
- S = number of susceptibles
- I = number of infectors
- q = number of infectious doses
- p = pulmonary ventilation rate per susceptible
- t = exposure time
- Q = flow rate of uncontaminated air

Le modèle Wells-Riley peut être utilisé pour évaluer le risque d'attraper une infection respiratoire par voie aérienne par des personnes dans un espace sur une période de temps, lorsque nous connaissons le nombre total de personnes dans l'espace ainsi que celles déjà infectées, la quantité de la ventilation et l'infectiosité de la maladie. Cela peut être rapporté en tant qu'individus (C) ou en pourcentage d'individus à risque (C /S).

Pour évaluer l'infectiosité de la maladie, il faut connaître le nombre de particules infectieuses dans l'air expiré des personnes infectées ainsi que le nombre de particules à l'origine de la maladie, dont le rapport décrit le coefficient d'infectiosité (q).

# Applicabilité du modèle W-R pour l'évaluation du risque d'infection par voie aérienne?

## Fête d'anniversaire, Charlton Texas, USA

- La fête d'anniversaire (2 heures) a réuni 25 personnes dont une personne était atteinte de Covid 19.
- 18 personnes sont tombées malades après la fête (72%)
- Estimation du risque d'infection par voie aérienne (exposition indirecte) dans cette situation, lorsqu'une ventilation de base est supposée : 75%

## Entraînement de chorale, Mount Vernon, Washington, USA

- 61 personnes assistaient à l'entraînement de la chorale pendant 2,5 heures, une personne étant déjà atteinte du Covid-19 avant l'occasion.
- Le risque d'exposition au Covid a été reconnu et les gens ont appliqué des pratiques pour éviter l'exposition directe
- 53 personnes sont tombées malades après l'entraînement (87%)
- Estimation du risque d'infection par voie aérienne (exposition indirecte) dans cette situation, lorsqu'une ventilation de base (ASHRAE) est supposée : 86%



L'estimation du risque d'infection à l'aide de l'équation de Wells-Riley dans ces cas documentés démontre la possibilité que le risque d'infection puisse être expliqué même simplement par une exposition indirecte en suspension dans l'air.

(Le rôle / l'importance de l'infection par voie aérienne est toujours à l'étude par les autorités)

# Exemples de conception de purification de l'air ambiant

Les 2 exemples suivants sont des applications typiques pour la purification de l'air ambiant :

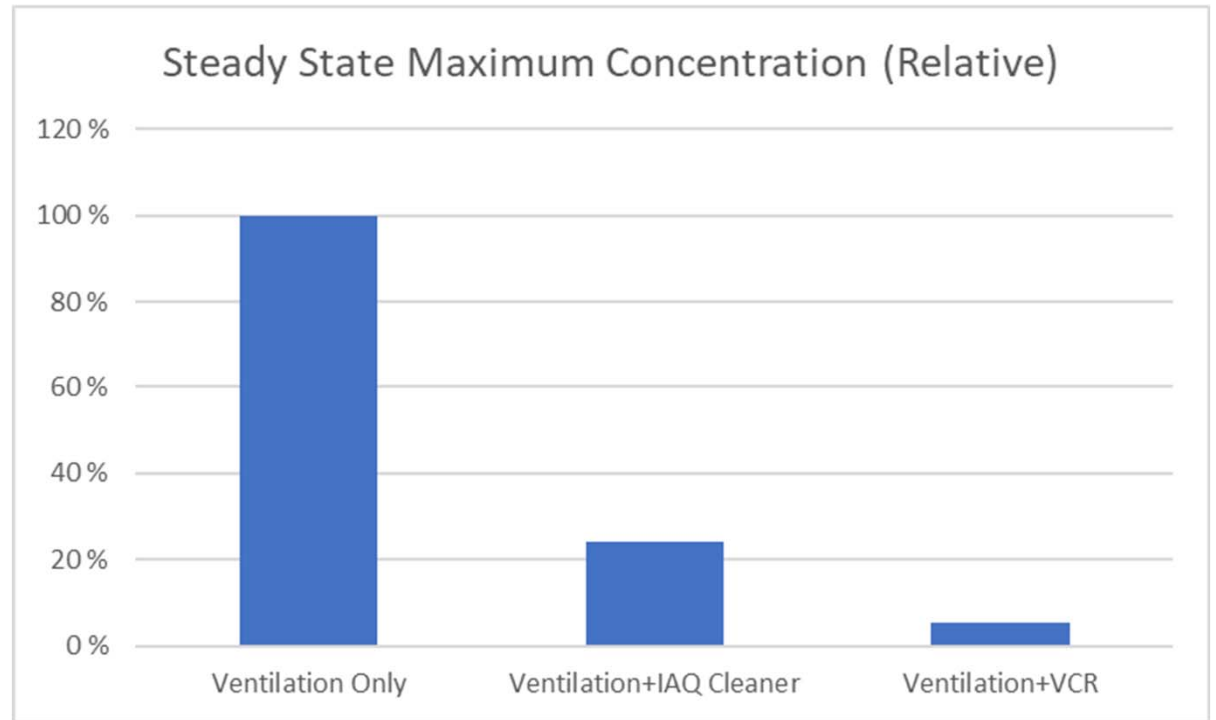
- **Objectif 1: réduire le risque d'infection par voie aérienne pendant l'utilisation**
  - Il est nécessaire de réduire la quantité de particules viables dans l'air
  - En séjour à long terme, l'accent est mis sur la concentration des particules à l'état d'équilibre (par exemple les microbes)  
« **Steady State Concentration of particles** »
- **Objectif 2: Protéger le prochain utilisateur de la pièce contre les infections par voie aérienne suite à une utilisation antérieure**
  - Il est nécessaire d'atteindre une réduction rapide des particules (ex: microbes) dans l'espace entre les utilisations (CleanUp)
  - Concentration décroissance des particules (par exemple microbes)

# Comparaison de la concentration à l'état d'équilibre

Cas de conception de pièce 20m<sup>2</sup>, par ex. bureau / dentiste / chambre d'hôtel

- Flux d'air de ventilation 72 m<sup>3</sup>/h
  - Purificateur d'air ordinaire 188\* m<sup>3</sup>/h
  - Purificateur d'air haute capacité 900\* m<sup>3</sup>/h
  
  - Efficacité de la ventilation (diffusion d'air):
    - Purificateur d'air haute capacité 100%,
    - Ventilation et purificateur d'air ordinaire 70%
  
  - Avec un purificateur d'air haute capacité, la pièce est :
    - 20 fois plus propre qu'avec la ventilation seule
    - 5 fois plus propre qu'avec un purificateur IAQ
- ➔ Correspondant à une réduction du risque d'infection de 1:20 ou 1: 5 respectivement

\*(CADR, particules < 0,3 µm)





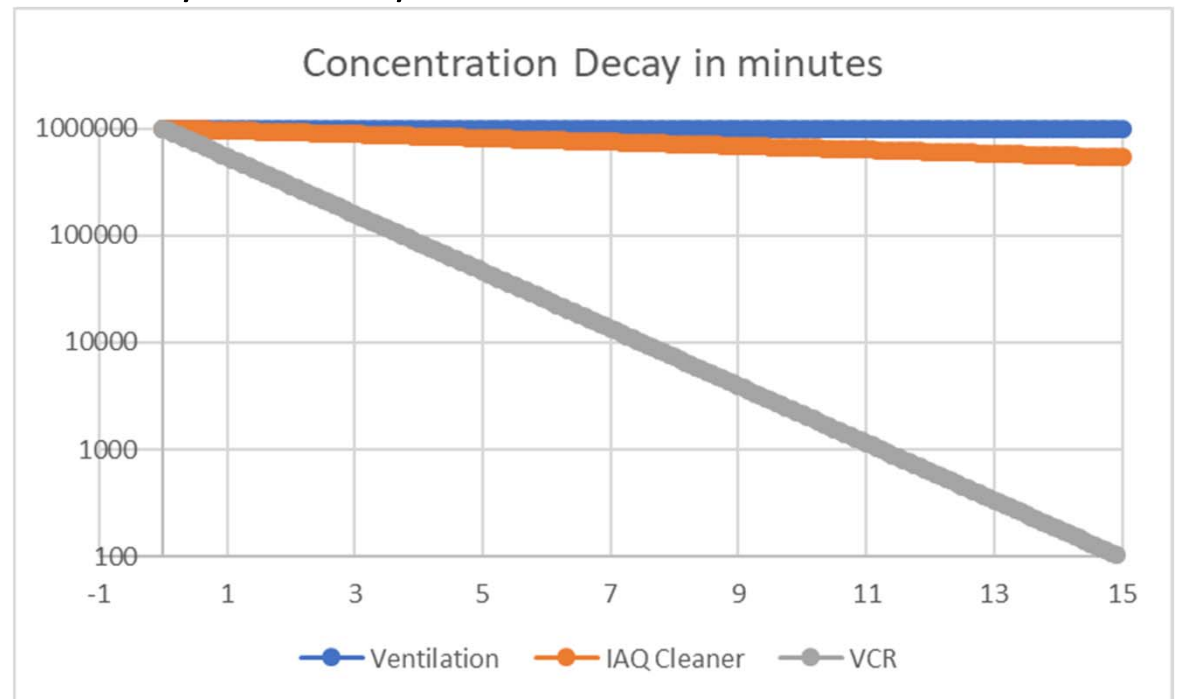
# Décroissance de concentration dans une pièce non ventilée

Cas de conception de pièce 20m<sup>2</sup>, par ex. bureau / dentiste / chambre d'hôtel

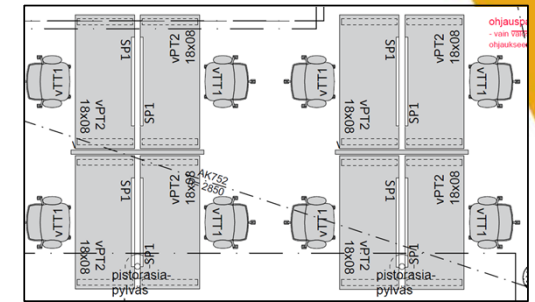
- Situation, lorsque le purificateur d'air ambiant est démarré après utilisation, pas de ventilation
- Purificateur d'air ordinaire 188\* m<sup>3</sup>/h
  - Jusqu'à 46% de décroissance de concentration après 15 minutes
- Purificateur d'air haute capacité avec 2700\* m<sup>3</sup>/h pour
  - 90% de décroissance de concentration en <4 minutes
  - 99% de décroissance de concentration en <8 minutes
  - 99,9% de décroissance de concentration en 15 minutes

➔ Élimine le risque d'infection aéroportée pour le prochain utilisateur dans une période très courte

\*(CADR, < particules 0,3 µm)

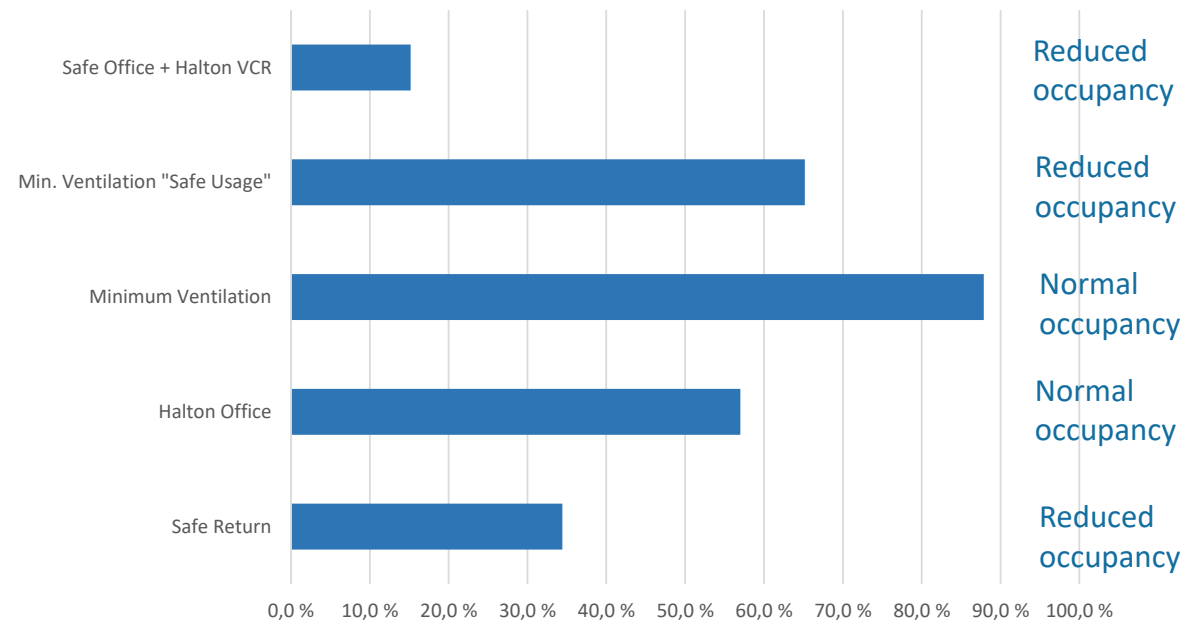


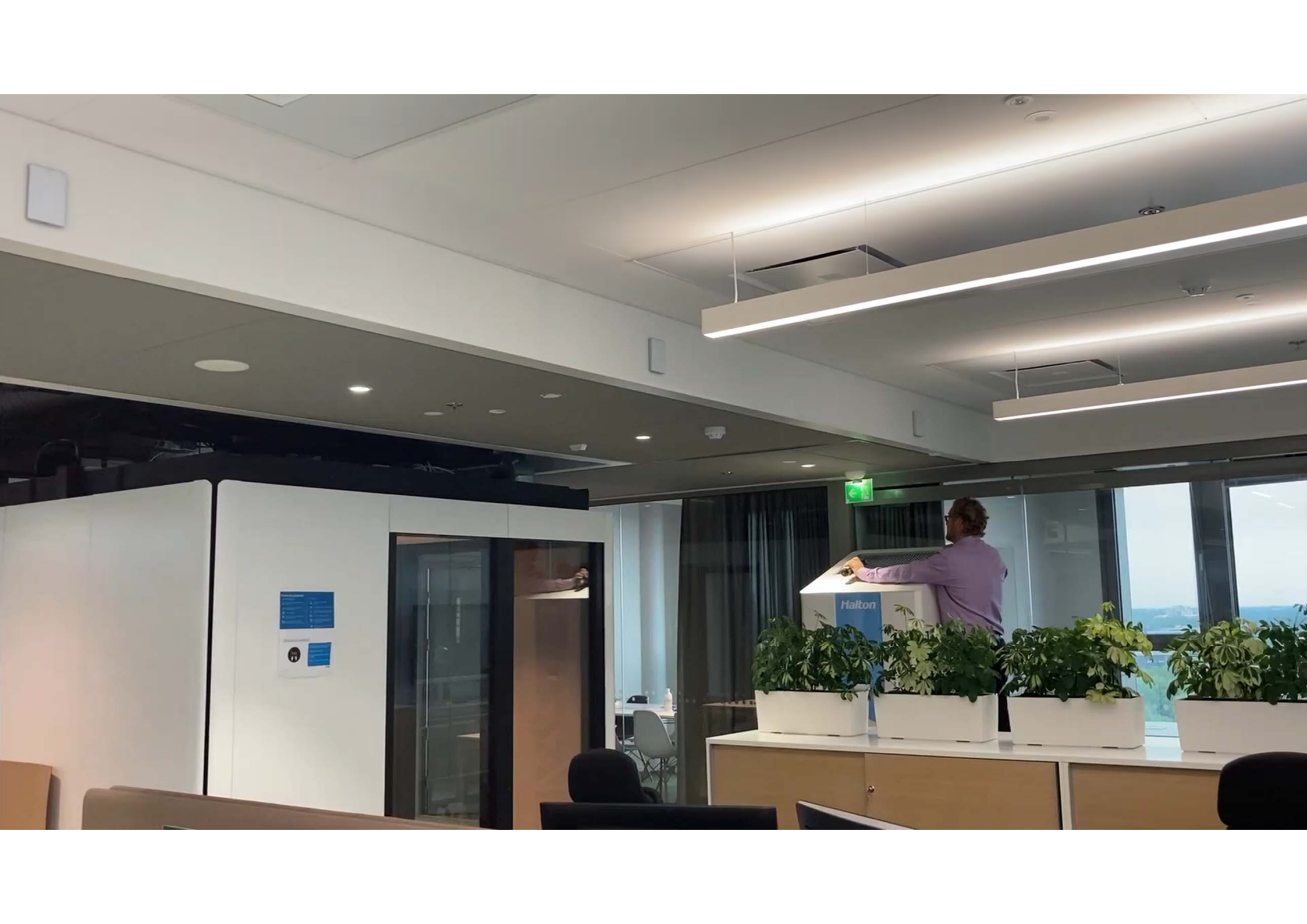
# Réduction de l'exposition indirecte dans l'air - Cas: Bureau open space



- **Scénario:** Dans la zone de huit postes de travail, le nombre d'employés est réduit de moitié à quatre personnes. Tant avant qu'après, 25% des personnes propagent l'infection (2/8 contre 1/4 des personnes) et causent un risque d'infection à ceux qui travaillent dans la même zone
- **Évaluation du risque d'infection à l'aide de la méthode Wells-Riley :** *Pourcentage de risque pour ceux qui travaillent en même temps dans le bureau de tomber malade au cours d'une journée de travail (7,5 heures)*
- **Estimation:**
  - Le risque d'infection dans un scénario ciblé est plus élevé que lorsqu'on regarde l'ensemble du bureau
  - Les mesures prévues réduiront considérablement le risque d'infection

Open Office Block, Risk of Infection (Wells-Riley)





# Exposition indirecte par voie aérienne, résumé

- Le risque d'exposition indirecte par voie aérienne ne peut être exclu
- L'analyse des risques peut être utilisée pour évaluer le risque d'exposition dans chaque espace séparément
- Le risque d'exposition indirecte par voie aérienne à l'intérieur ne peut pas être complètement éliminé, mais peut être considérablement réduit par des mesures de ventilation
- Un climat intérieur de haute qualité augmente le confort quotidien des travailleurs et réduit considérablement le risque d'infections par voie aérienne par rapport au niveau de ventilation minimum des normes internationales.
- Les purificateurs d'air de haute capacité peuvent avoir un impact significatif sur le risque d'infection par voie aérienne

## A considérer:

Qu'est-ce qu'un risque d'infection acceptable / responsable sur votre lieu de travail / dans vos bâtiments?

# Conception des lieux de travail - améliorer le bien-être et la sécurité



Merci!