

# DIMENSIONNEMENT DE L'AIR NEUF SOUS COVID 19 COÛTS/GAINS

**La ventilation comme mesure de protection collective**

30/01/2022

*Guy Lardinois*

*Expert HVAC Bureau GREISCH*

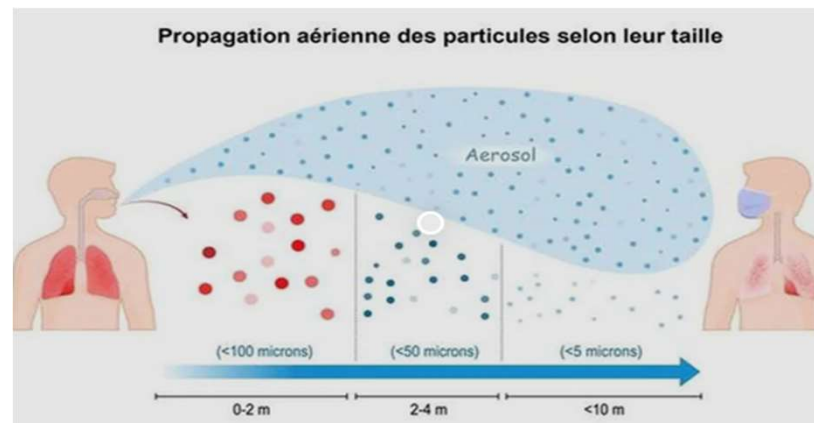
# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- La ventilation (introduction d'air neuf) est-elle efficace contre le covid19 et comment (ratio coûts/efficacité) ?
- La mesure du CO2 est-elle pertinente et quelle valeur cible choisir ?
- Quel est la pertinence économique-prophylactique des centrales de renouvellement d'air avec récupérateurs ?

# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- La ventilation (introduction d'air neuf) est-elle efficace contre le covid19 et comment ?

Intuitivement la réponse est **non** car la ventilation dilue trop lentement le virus et participe au transport du virus.



# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

La ventilation (introduction d'air neuf) est-elle efficace contre le covid19 ?

Les essais en situation (sur les premiers variants) montrent que la réponse est **OUI** et même que la ventilation est très efficace, même avec des débits relativement faibles !

L'efficacité du renouvellement d'air est même supérieure au port du masque dans les locaux exigus.



# Résumé <https://www.rtbf.be> 17/01/2022/ impacts des conditions/ventilation

# OCCUPATION ÉLEVÉE

|                                            |                    | EXTÉRIEUR, BIEN VENTILÉ | INTÉRIEUR, BIEN VENTILÉ | MAL VENTILÉ |
|--------------------------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| AVEC UN MASQUE,<br>CONTACT DE COURTE DURÉE | EN SILENCE         | 0,001%                  | 0,091%                  | 0,55%       |
|                                            | EN PARLANT         | 0,005%                  | 0,45%                   | 2,7%        |
|                                            | EN CRIANT/CHANTANT | 0,033%                  | 2,7%                    | 15%         |
|                                            | EXERCICE INTENSE   | 0,077%                  | 6,2%                    | 32%         |
| AVEC UN MASQUE,<br>CONTACT PROLONGÉ        | EN SILENCE         | 0,011%                  | 0,91%                   | 5,3%        |
|                                            | EN PARLANT         | 0,055%                  | 4,5%                    | 24%         |
|                                            | EN CRIANT/CHANTANT | 0,33%                   | 24%                     | 81%         |
|                                            | EXERCICE INTENSE   | 0,76%                   | 47%                     | 98%         |
| SANS MASQUE,<br>CONTACT DE COURTE DURÉE    | EN SILENCE         | 0,003%                  | 0,26%                   | 1,6%        |
|                                            | EN PARLANT         | 0,016%                  | 1,3%                    | 7,5%        |
|                                            | EN CRIANT/CHANTANT | 0,094%                  | 7,5%                    | 37%         |
|                                            | EXERCICE INTENSE   | 0,22%                   | 17%                     | 67%         |
| SANS MASQUE,<br>CONTACT PROLONGÉ           | EN SILENCE         | 0,031%                  | 2,6%                    | 14%         |
|                                            | EN PARLANT         | 0,16%                   | 12%                     | 54%         |
|                                            | EN CRIANT/CHANTANT | 0,93%                   | 54%                     | >99%        |
|                                            | EXERCICE INTENSE   | 2,2%                    | 84%                     | >99%        |



## OCCUPATION ÉLEVÉE

**AVEC UN MASQUE,  
CONTACT DE COURTE DURÉE**

EN SILENCE  
EN PARLANT  
EN CRIANT/CHANTANT  
EXERCICE INTENSE

EXTÉRIEUR, BIEN VENTILÉ  
0,001%  
0,005%  
0,033%  
0,077%

INTÉRIEUR, BIEN VENTILÉ  
0,091%  
0,45%  
2,7%  
6,2%

MAL VENTILÉ  
0,55%  
2,7%  
15%  
32%

**AVEC UN MASQUE,  
CONTACT PROLONGÉ**

EN SILENCE  
EN PARLANT  
EN CRIANT/CHANTANT  
EXERCICE INTENSE

0,011%  
0,055%  
0,33%  
0,76%

0,91%  
4,5%  
24%  
47%

5,3%  
24%  
81%  
98%

**SANS MASQUE,  
CONTACT DE COURTE DURÉE**

EN SILENCE  
EN PARLANT  
EN CRIANT/CHANTANT  
EXERCICE INTENSE

0,003%  
0,016%  
0,094%  
0,22%

0,26%  
1,3%  
7,5%  
17%

1,6%  
7,5%  
37%  
67%

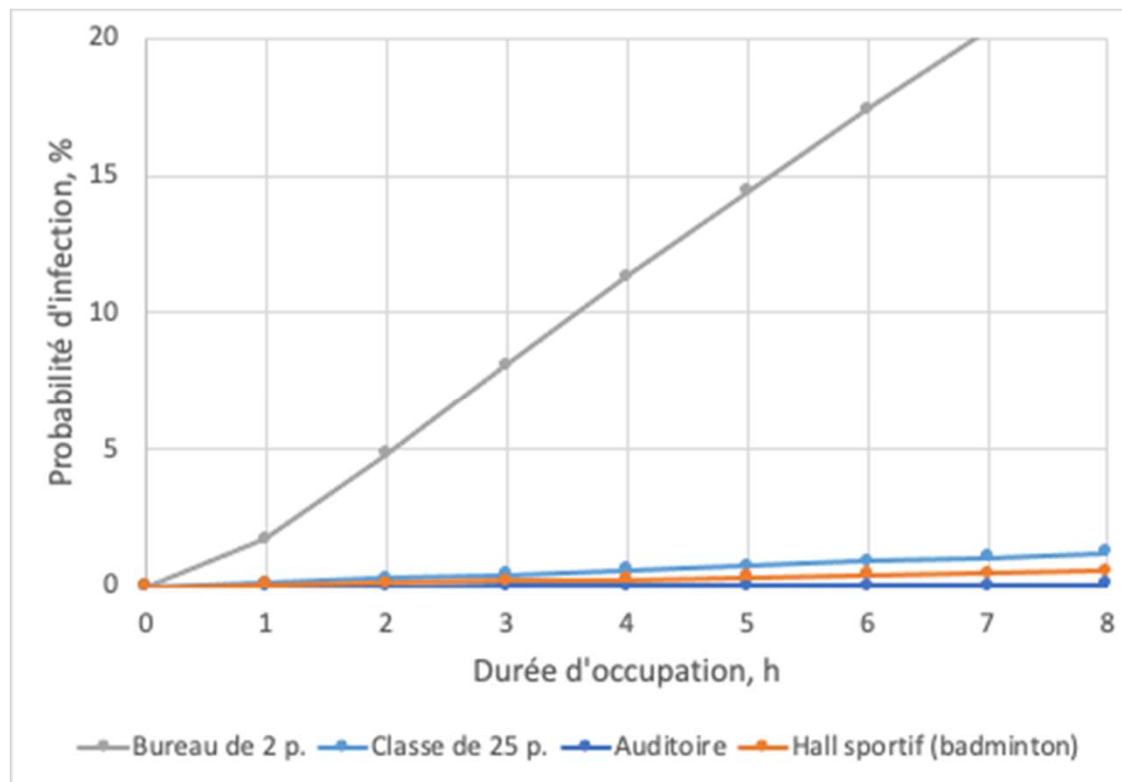
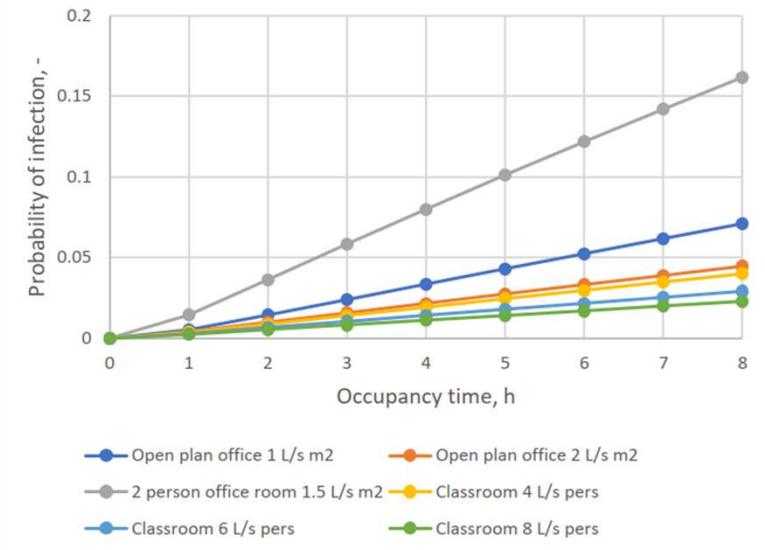
**SANS MASQUE,  
CONTACT PROLONGÉ**

EN SILENCE  
EN PARLANT  
EN CRIANT/CHANTANT  
EXERCICE INTENSE

0,031%  
0,16%  
0,93%  
2,2%

2,6%  
12%  
54%  
84%

14%  
54%  
>99%  
>99%

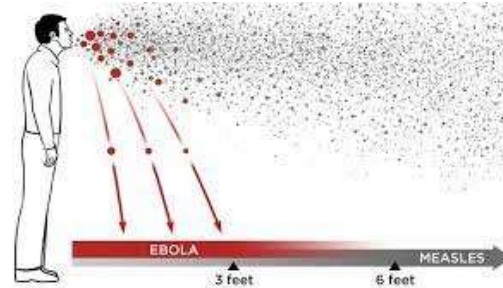


Prof. Denis Flandre, Ingénieur civil, 20 ans de R&D notamment sur des systèmes avancés de détection et mesures d'ADN, bactéries, gaz, UV, respiration...

- **En résumé, des aérations ou ventilations adéquates de nos lieux de vie intérieurs suffisent à réduire les risques de transmission virale de plus de 95 à 99 %. Les efficacités de toutes les autres mesures envisagées pour lutter contre la propagation du Sars-CoV-2 (masques, CST ... et même la vaccination sur les risques de transmission) n'atteignent pas les 80 %, loin s'en faut.** Le CSS mentionne par exemple que *“l'efficacité des masques pour le grand public (chirurgicaux et « faits maison ») pour la protection contre les aérosols varie considérablement (de 26,5 % à 79 %)”* [14](#). Plus récemment, les résultats de Shah et al suggèrent que des taux relativement limités de renouvellement d'air (2 fois par heure) conduisent à des concentrations d'aérosols plus faibles que l'utilisation des masques les plus performants dans un lieu non ventilé [15](#). **La ventilation est donc la mesure qui reste la moins expliquée et pratiquée, et qui apparaît pourtant la plus efficace à court et à long termes, partout et pour tous, indépendamment des comportements individuels qui sont, eux, très variables.** En résumé, la meilleure garantie de non contamination, c'est d'évacuer les particules virales.

# Diffusion des aérosols versus Covid 19

- Les **grosses particules** (entre 0.5 et 0.1 mm ; générées par la toux) suivent une trajectoire balistique et sont au sol après quelques secondes ; la ventilation n'a aucun effet sur ces dernières.



- **Particules moyennes** (entre 0.1 et 0.01 mm ; générées par la respiration)

Une particule de 20  $\mu\text{m}$  (0.02mm) a le même volume que 2 millions de virus.

Les particules de tailles moyennes, de taille supérieure à 20  $\mu\text{m}$ , vont **théoriquement** sédimenter (à 0.01m/s pour 20  $\mu\text{m}$ ) en l'absence de turbulences pour se retrouver au sol en moins de 3 minutes. En pratique elle vont **se déshydrater** par évaporation en quelques secondes et perdre 99% de leur poids bien avant de toucher le sol.

**Ces aérosols secs ne sédimentent pas**  
**et rejoignent la catégorie des particules fines < 0.01mm**



# Diffusion des aérosols versus Covid 19

Les aérosols secs ne sédimentent pas  
et rejoignent la catégorie des particules fines < 0.01mm (10 µm)

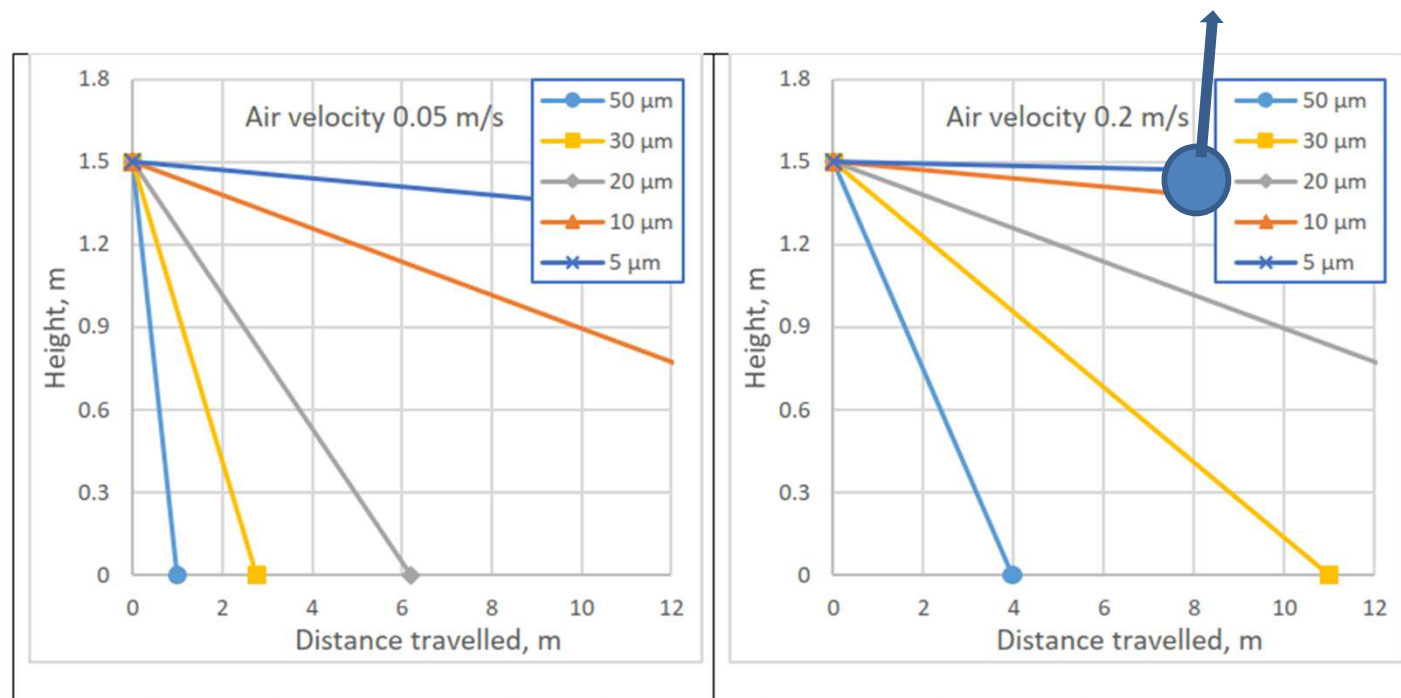
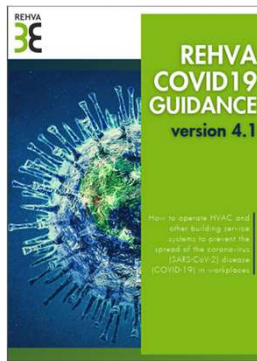


Figure 2. Traveling distance estimates for different sizes of droplets to be carried by room air velocities of 0.05 and 0.2 m/s before settling 1.5 m under the influence of gravity. The travelled distance accounts for movement after the initial jet has relaxed and is calculated with the equilibrium diameter of completely desiccated respiratory droplets (µm values in the figure refer to equilibrium diameters). With turbulence distance travelled is less, but settling time is longer.

# Diffusion des aérosols versus Covid 19

- Dans les faits, nous nous retrouvons avec des particules très fines voire ultra fines ( $0.3 \mu\text{m}$ ), difficiles à filtrer et qui restent en suspension dans l'air brassé très longtemps.
- Ces particules sont transportées dans l'air brassé à  $0.5 \text{ km/h}$  (effet négatif)
- Le comportement des aérosols est donc similaire à un gaz parfait.  
(Le  $\text{CO}_2$  ou dioxyde de carbone émis par la respiration)

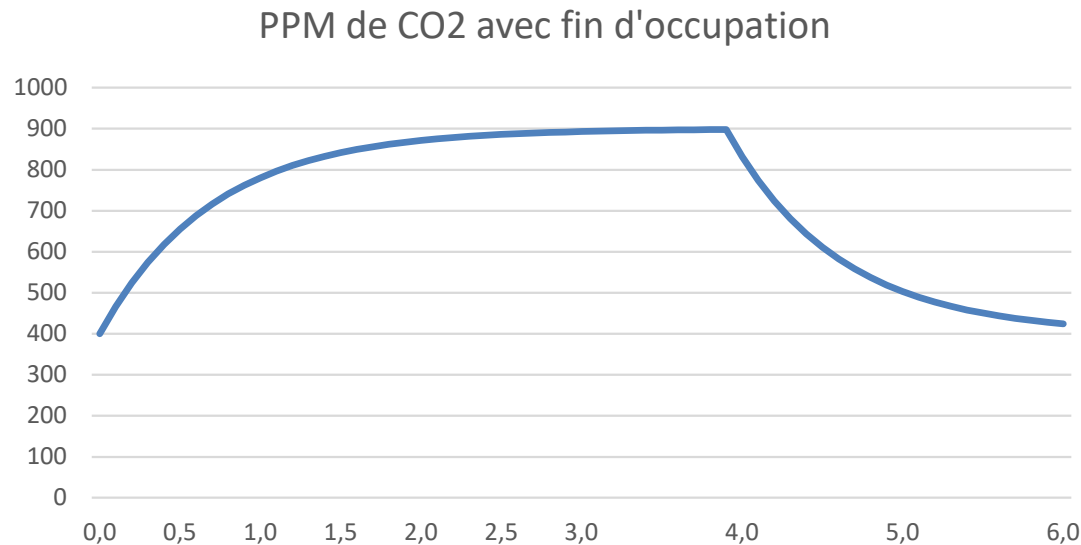
# Diffusion des aérosols versus Covid 19

- Dans les faits, la ventilation dilue les aérosols comme le CO<sub>2</sub>.
- 1 renouvellement d'air par heure demande **2 heures** pour une déconcentration de l'ordre de 90% de la charge virale de l'air qui aurait été émis ponctuellement.
- La contamination par le virus est donc similaire à un gaz parfait si le virus reste virulent **dans le temps long** (exprimé en heure) et que la charge virale contaminante nécessaire est importante (estimée à l'inhalation à 100.000 virus).  
(Le CO<sub>2</sub> ou dioxyde de carbone émis par la respiration)

# Diffusion des aérosols versus Covid 19

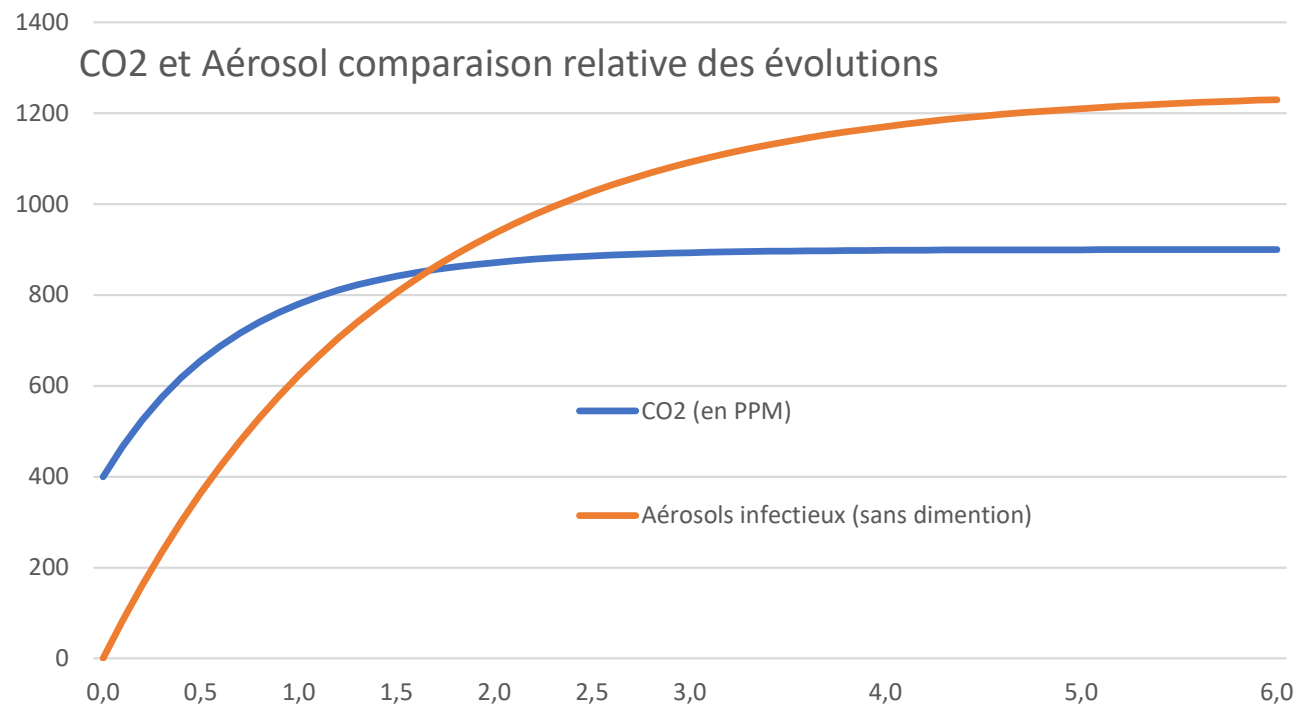
- La contamination par le virus est donc similaire à un gaz parfait si le virus reste virulent **dans le temps long** (exprimé en heure) et que la charge virale contaminante nécessaire est importante (estimée à l'inhalation à 100.000 virus).

(Le CO2 ou dioxyde de carbone émis par la respiration)



# Diffusion des aérosols versus Covid 19

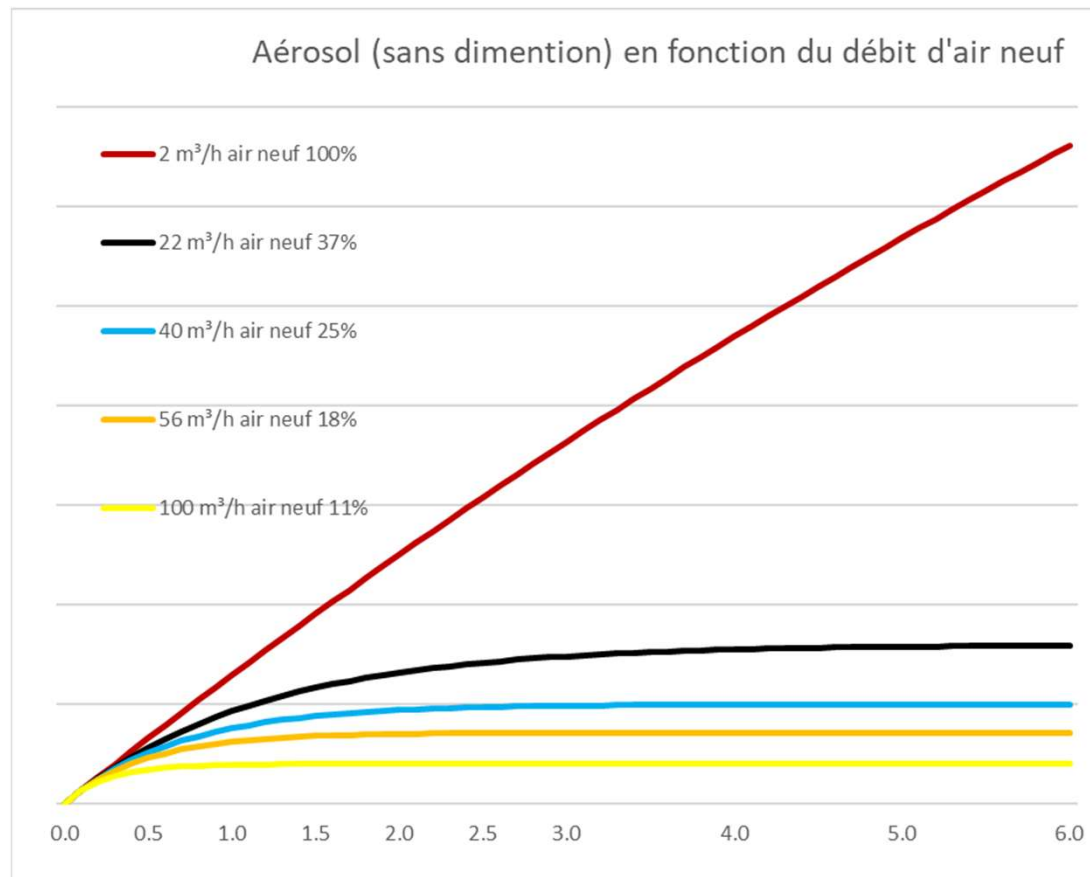
- La concentration du virus est similaire à un gaz parfait





# Diffusion des aérosols versus Covid 19

- La concentration du virus est similaire à un gaz parfait  
*la valeur en % donne une idée des aérosols absorbés sur 6h*

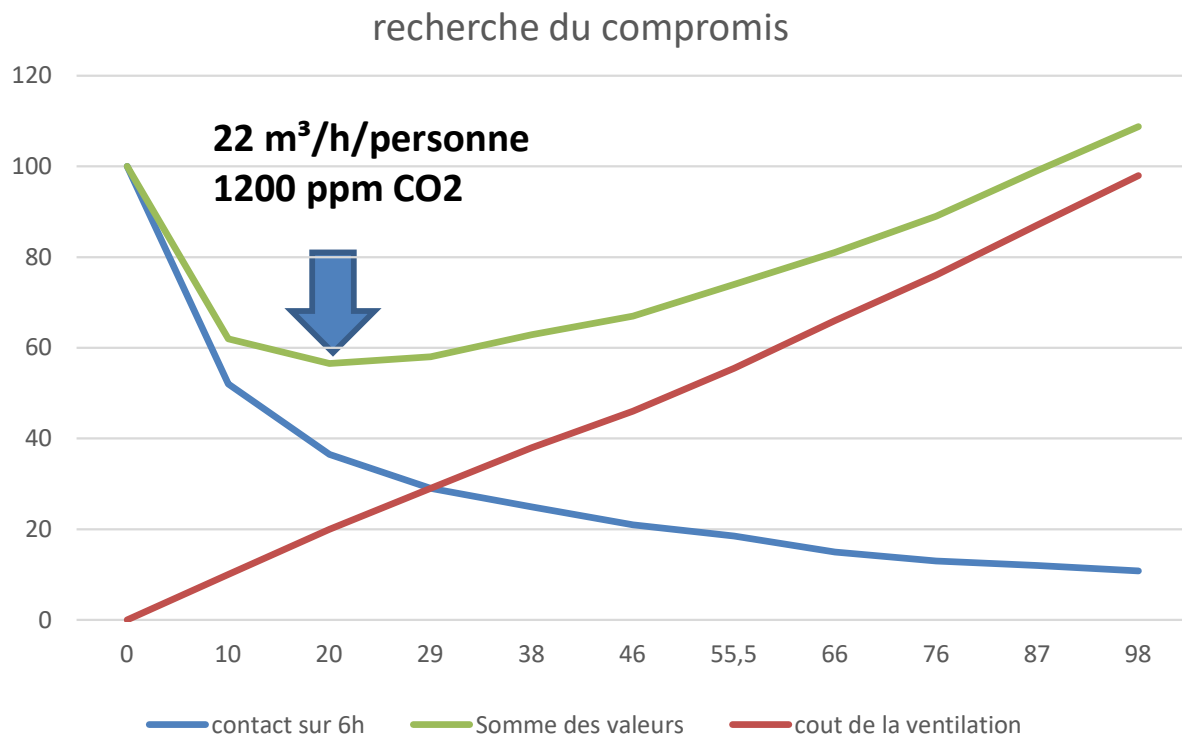
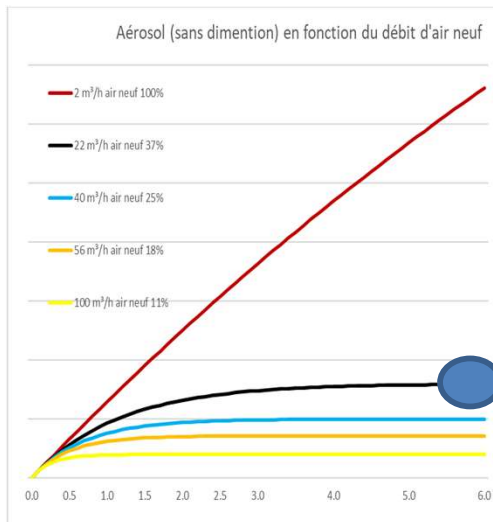


# Recherche du compromis

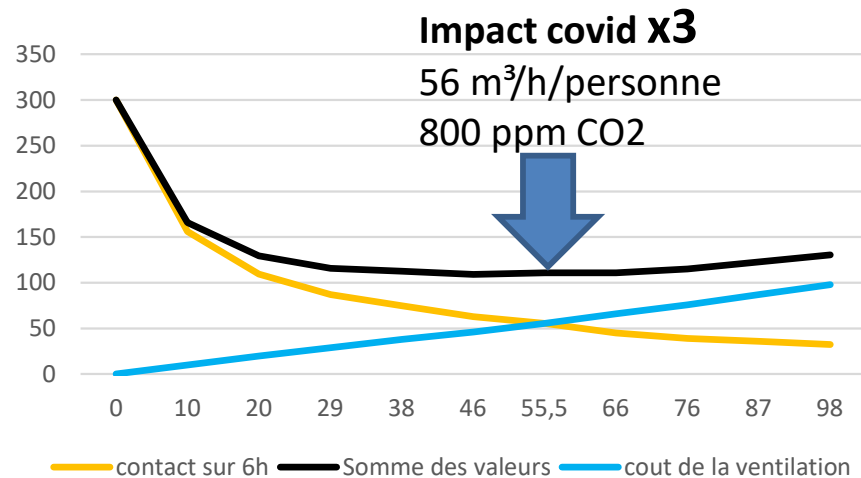
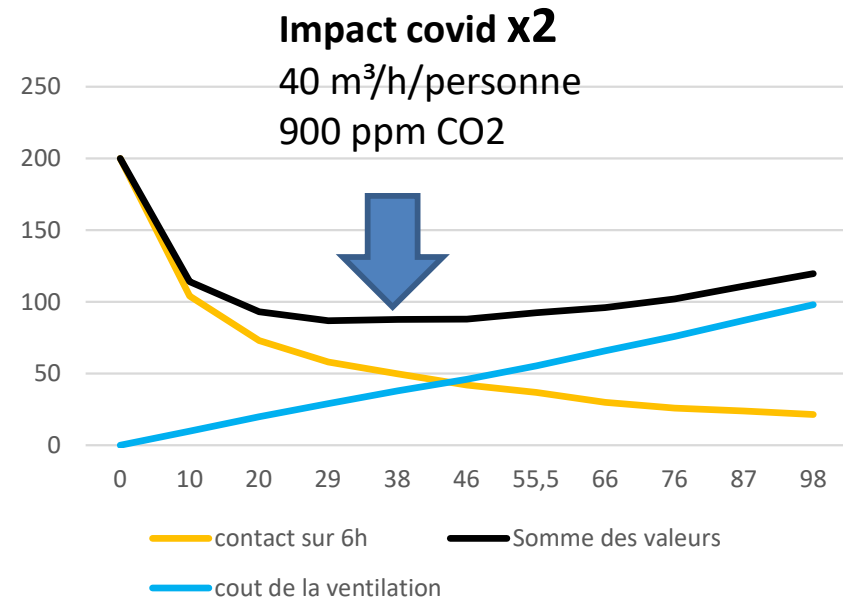
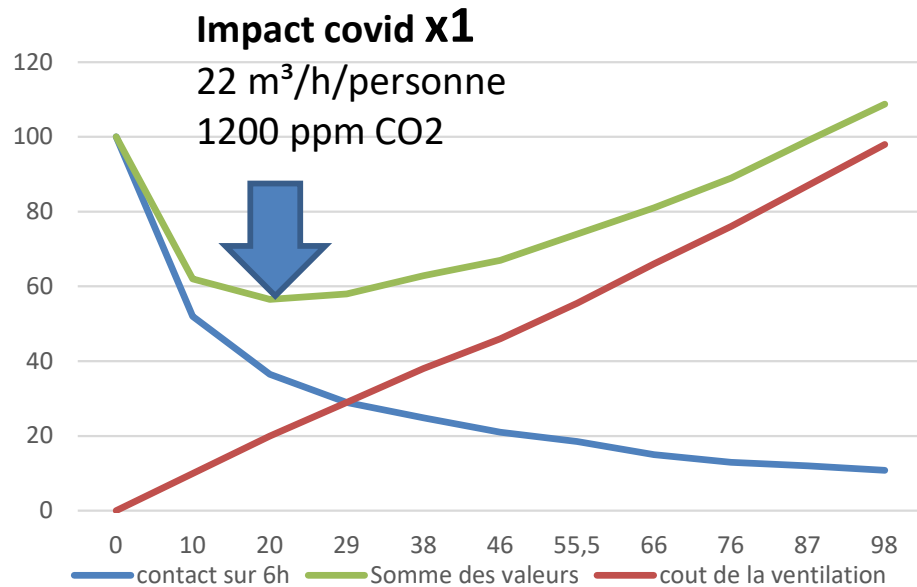
*la valeur en % (bleu) les aérosols absorbés sur 6h 100% = pas de ventilation*

*En noir, le coût de la ventilation supposée proportionnelle au débit injecté*

*En orange, la somme des deux valeurs*



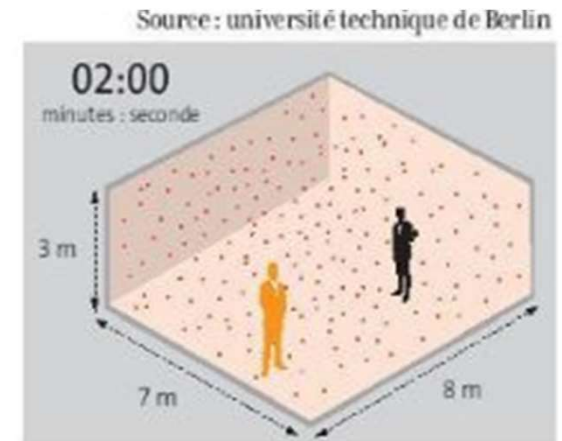
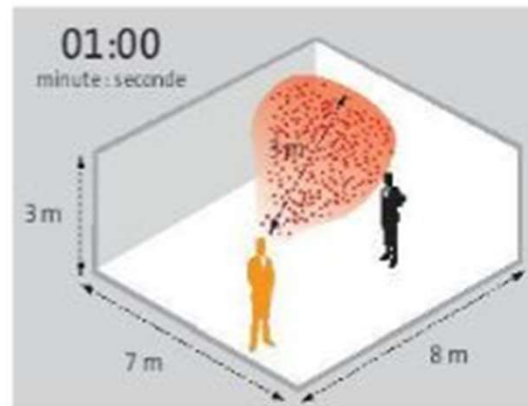
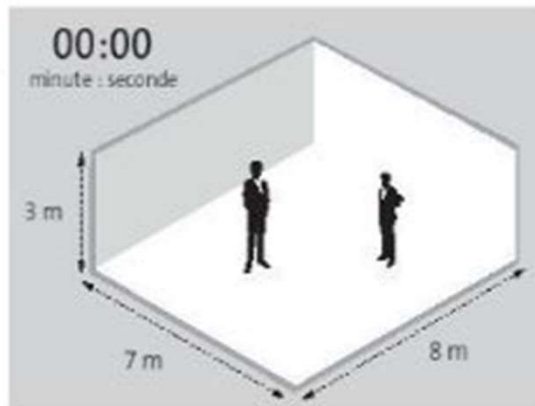
# Recherche du compromis



# Scénario

- Dans un premier temps (2 à 10 minutes) et suivant le taux de brassage secondaire, le virus est dilué dans le volume du local plus ou moins grand.

Dans une pièce fermée, les aérosols flottent dans l'air et se déplacent avec les courants d'air

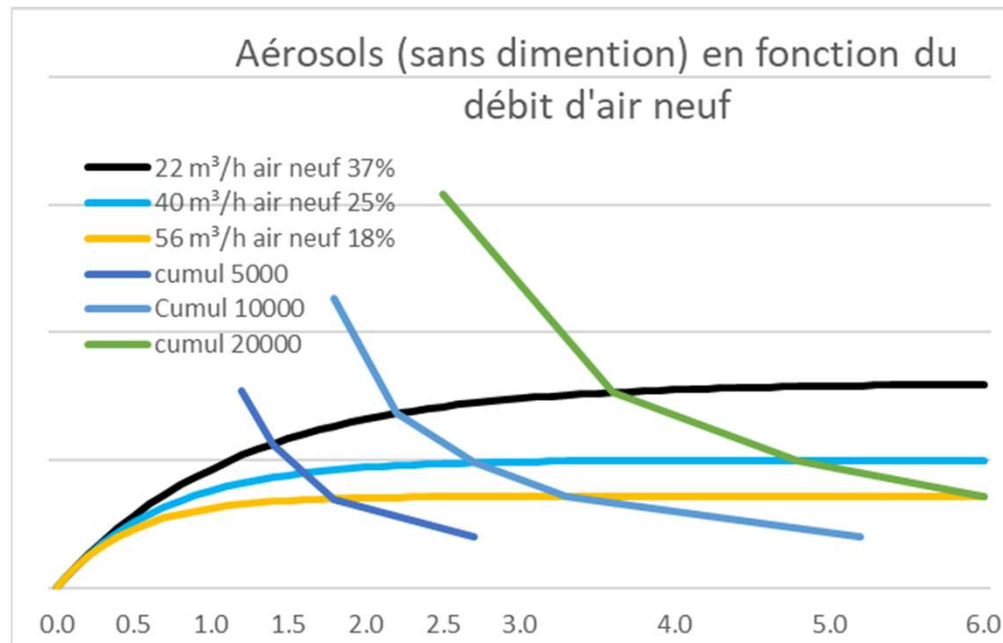


Source : université technique de Berlin

- Cette dilution empêche la concentration des aérosols sur quelques individus circonscrite autour du contamineur. Cette dilution initiale diminue l'intensité du bombardement viral et retarde le seuil contaminant (100.000 virus reçu par un individu. Cette quantité est nécessaire au vu des nombreuses mutations non viable de ce virus qui mute sans interruption).

# Scénario

- Ensuite, la concentration en aérosol va augmenter ( exponentielle asymptotique) d'autant moins vite que l'air neuf est injecté en abondance. Le débit d'air neuf va aussi limiter le niveau asymptotique (concentration maximale mais aussi retarder la charge virale absorbée (cumul)).



- Bien différencier le taux de brassage (recyclage et induction) de l'air neuf.

# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- La ventilation (introduction d'air neuf) est-elle efficace contre le covid19 et comment ?

## Conclusions

la réponse est **Oui** pour les variants jusqu'au Delta

- Cette efficacité est étroitement subordonnée aux caractéristiques du variant considéré. Le contrôle des aérosols est une constante.
- S'il ne survit pas dans l'air sous forme déshydratée ou s'il sédimente, la ventilation est quasiment inutile. Effet trop tardif.
- S'il est hautement pathogène, la ventilation doit être renforcée jusque 100R/h (labo P3 à P4). Sinon, effet négligeable.





# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- La ventilation (introduction d'air neuf) est-elle efficace contre le covid19 et comment ?
- La mesure du CO2 est-elle pertinente et quelle valeur cible choisir ?

**Mesure du CO2 : un bon choix pratique qui a ses limites.**





# CO2

- La mesure du CO2 donne une **image de la qualité** du renouvellement d'air neuf par rapport à la présence d'un nombre d'occupants plus ou moins corpulents et développant une activité plus ou moins intense (La corpulence et l'activité physique augmentent l'émission du CO2 et des aérosols).
- Dans la plupart des cas, cette mesure donne une appréciation de l'impact de la ventilation sur la transmission des virus par voie aérienne. Elle n'a aucune valeur pour les contaminations balistiques ou par contact. Suivant un TFE du CERFACS, les aérosols non balistiques sont uniformément répartis dans un bureau par la ventilation en 10 minutes et restent en suspensions plusieurs heures. Ce qui correspond assez bien au comportement du CO2 ; d'où l'intérêt de mesurer l'un pour estimer l'autre.



# CO2

La corrélation n'est pas totale pour quatre raisons :

1. Un super contaminateur (qui peut contaminer jusqu'à 100 personnes) ou une personne à risque n'émet pas plus de CO2 qu'une personne saine et robuste. Remarquons qu'un taux de CO2 élevé indique aussi une promiscuité élevée avec un plus **grand nombre de cibles potentielles à protéger**.
2. La durée de vie des virions et leurs potentiels de contamination n'est pas constante. Il y a destruction par les conditions ambiantes ; toutes les nombreuses mutations ne sont pas viables. Les mesures de présence d'ADN dans les gouttelettes ne sont pas systématiquement liées à des virus viables.
3. La mesure n'est pas pertinente si nous avons la présence d'un super contaminateur à côté d'une personne saine dans un grand volume non ventilé non brassé. Le cas est hautement contaminant malgré un taux de CO2 bas.
4. Une salle contenant 1 orateur et 29 auditeurs passifs aura sensiblement le même niveau de CO2 que la même salle contenant 30 choristes alors que dans le deuxième cas, la quantité d'aérosols est 250x plus importante que dans le premier cas. Le risque sera 17x plus élevé si l'orateur est le contaminateur plutôt qu'un spectateur.



# CO2 conclusions :

- Ces biais de mesures restent marginaux. La mesure du CO2 en **PPM absolus** est accessible, bon marché et compréhensible par tous.
- *La mesure de la concentration en CO2 est, même s'il n'a pas une corrélation parfaite avec le risque biologique, un excellent guide sécuritaire pour la gestion statistique des ambiances à risques. La recommandation de viser 900 PPM absolus est donc socialement et épidémiologiquement pertinente et en moyenne sécuritaire.*
- *Il faut rappeler que les besoins en renouvellement d'air (neuf, filtré ou stérilisé) dépendent de la **résilience** du virus et de sa **virulence-létalité** et qu'il se situe entre Zéro R/h (min 22 m<sup>3</sup>/h/p PEB) et plus de 100 renouvellements /heure en flux laminaire.*

# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- Quel est la pertinence économique-prophylactique des centrales de renouvellement d'air avec récupérateurs ?



C'est quoi un traitement prophylactique ?

Tout **traitement prophylactique** est destiné à prévenir l'apparition, la propagation ou l'aggravation d'une maladie, contrairement au **traitement curatif** qui, lui, vise à guérir d'une maladie. Un **traitement prophylactique** peut aussi être envisagé en cas d'exposition au paludisme, aux épidémies de grippe (covid), etc...

# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- Coûts encombrement ?

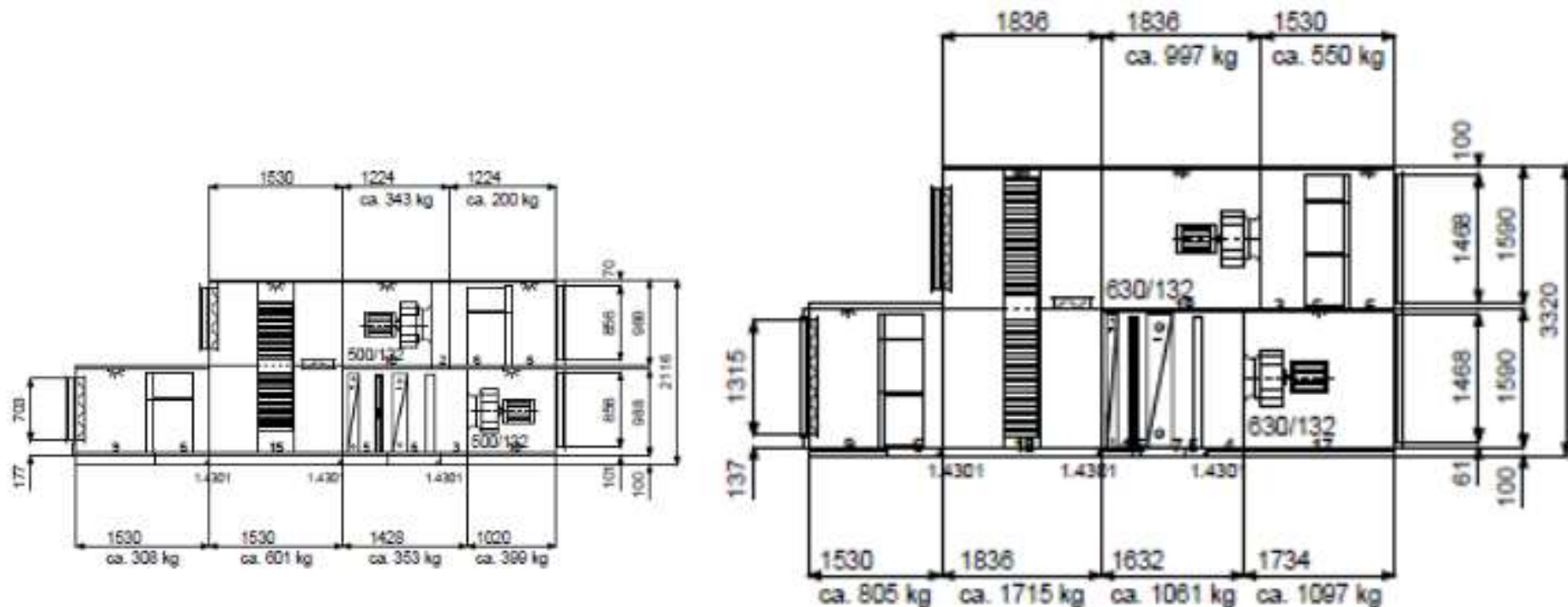
AR Bien-être au travail - avril 2016 + ERP 2017/2018 + PEB 2017

**1200 ppm CO<sub>2</sub> ou 22 m<sup>3</sup>/h/p**

**800 ppm CO<sub>2</sub> ou 56 m<sup>3</sup>/h/p**

Vue en plan : Débit de 11 000 m<sup>3</sup>/h

26 000 m<sup>3</sup>/h

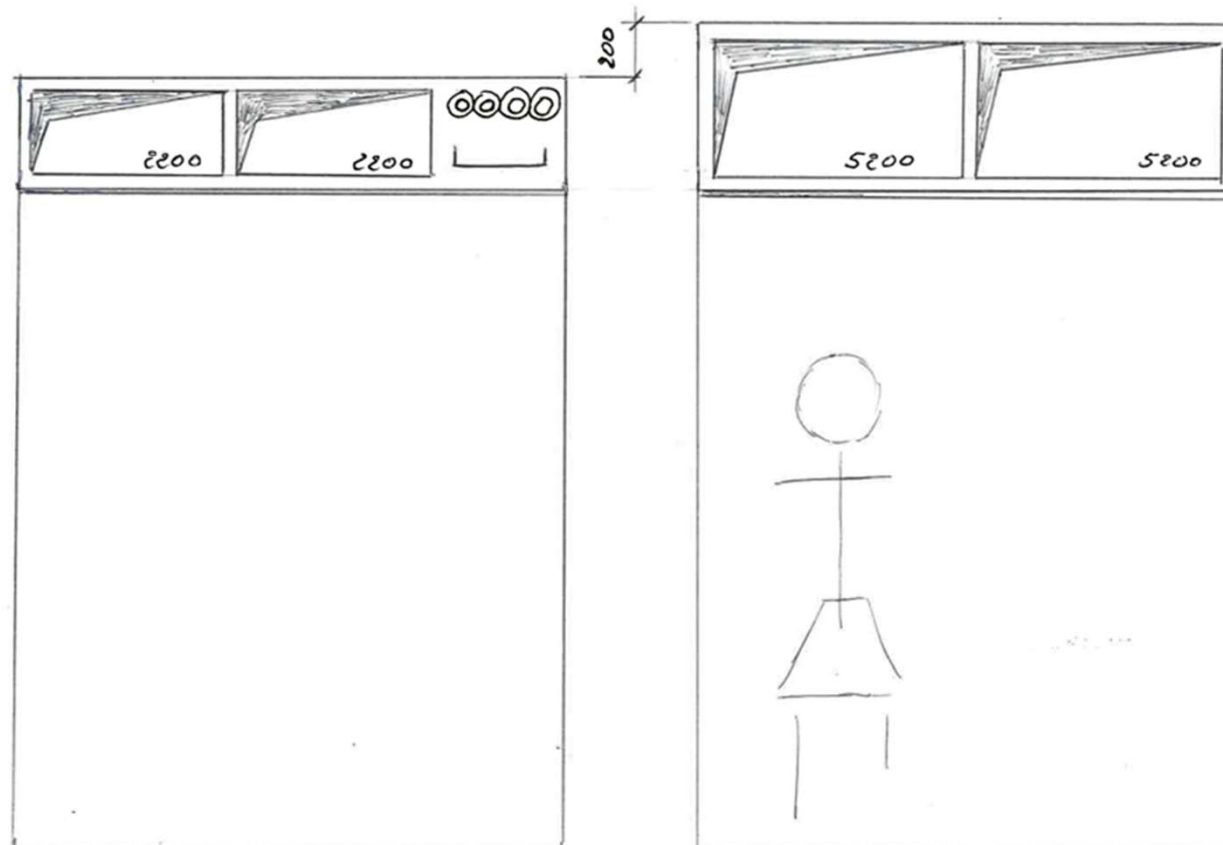


# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

- Cas des faux plafond en couloir. Mêmes débits répartis sur 5 étages.

**1200 ppm CO2 ou 22 m<sup>3</sup>/h/p**

**800 ppm CO2 ou 56 m<sup>3</sup>/h/p**





# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

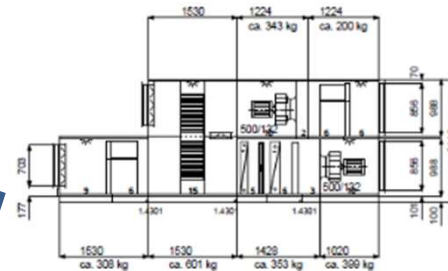
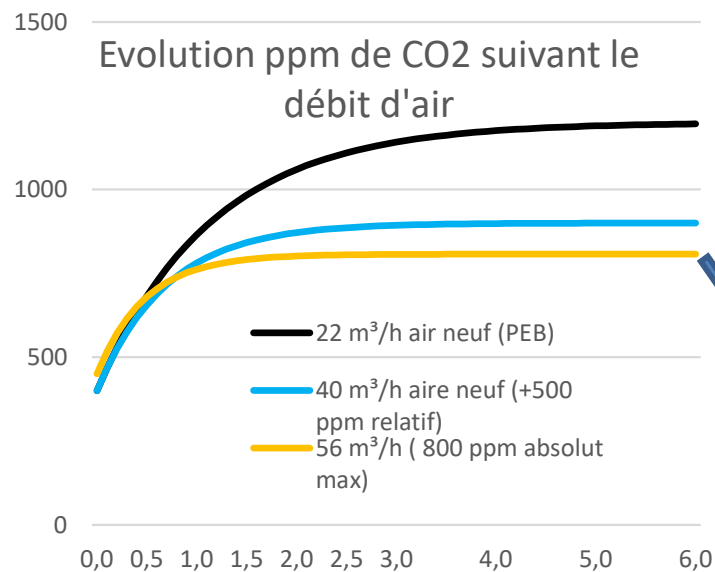
- Prévenir ?



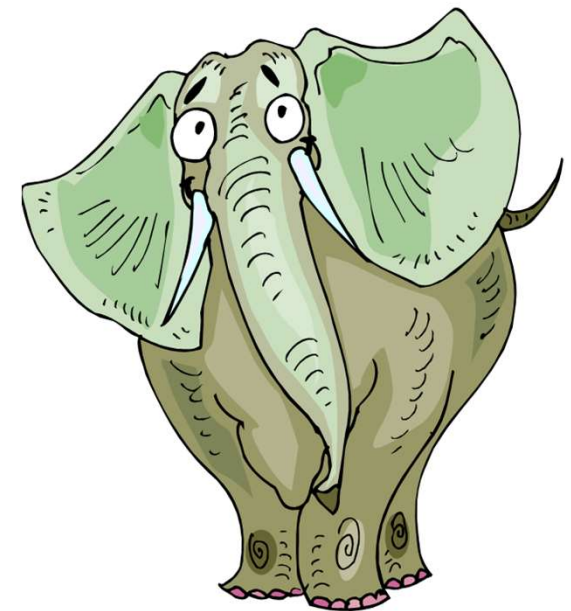
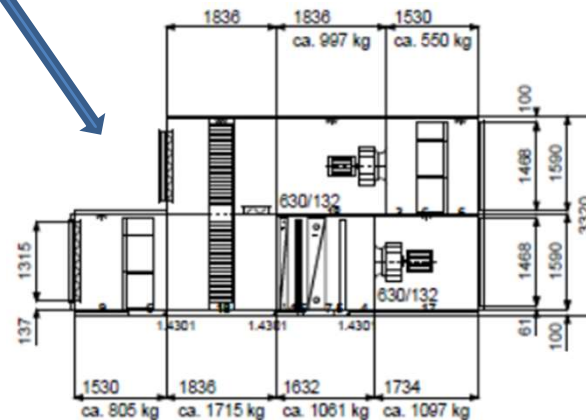
- Soit on est équipé de centrale double flux avec récupérateur (mesure des 900 ppm!) - quasiment rien à faire.
- Soit on n'a que des GP GE avec recyclage. Passer en tout air neuf va coûter en énergie car on forcera les chaudières pour compenser des échangeurs sous dimensionnés - d'où l'intérêt des 900 ppm.
- Soit on n'a rien et il faudra investir (si et seulement si les locaux techniques et les faux plafond sont confortablement dimensionnés) - Le temps de créer un marché public, de commander, d'approvisionner et de réaliser, l'épidémie sera terminée ou pas !

# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

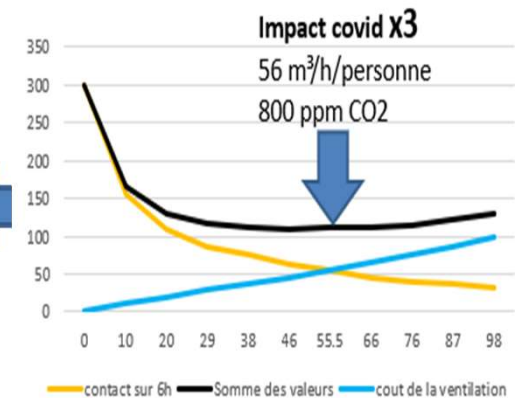
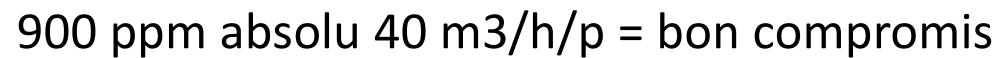
- Choisir ?



900 ppm absolu 40 m<sup>3</sup>/h/p = bon compromis



- Choisir ?



# Ventiler : efficacité - mesurer - installer

## Conclusions :

- La taille des installations efficaces est définie par le pathogène.
- Une ventilation est un investissement à long terme.
- Placer une ventilation double flux est un processus long ( marchés publics, recherche de fonds et subsides, commandes, exécution), qui s'exprime en mois.
- L'investissement est conséquent pour de petits clubs de sport où fleurit le bénévolat.
- La mesure puis l'analyse des caractéristiques du virus, la publication et la prise en compte prend du temps, bien plus que la succession des variants.
- La présente analyse est peut être déjà dépassée ou pas.

# Conclusions générales :

Plus le débit d'air neuf est important, plus il protège de virus davantage contaminant.

Il faut tenir compte des activités. Le chant est 250x plus producteur de particules qu'une personne silencieuse (voir RTBF), un orateur 17x.

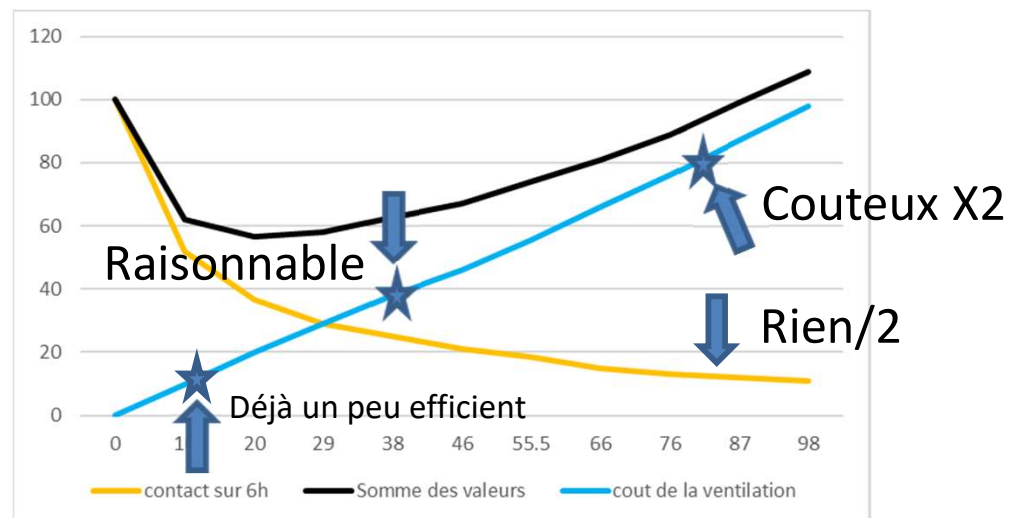
La protection est déjà significative pour des débits réduits. En effet, les études montrent une efficacité bien supérieure aux modèles simples que nous utilisons pour contrôler les gaz (CO<sub>2</sub>).



# Conclusions générales:

Cibler une ventilation qui maintient 900 ppm absolu de CO<sub>2</sub> est un must quand c'est possible et finançable.

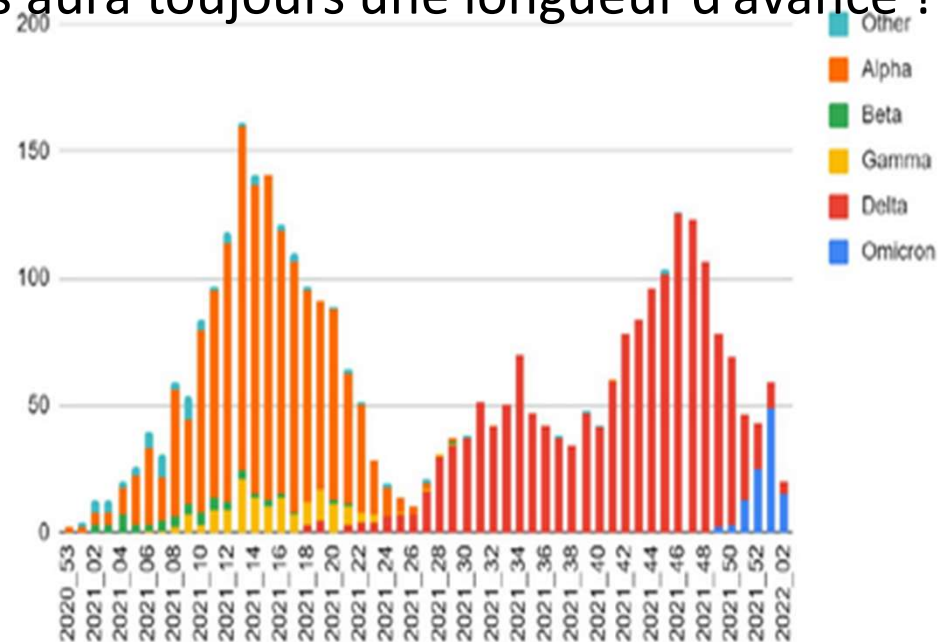
Dans le cas du covid, descendre en dessous de cette valeur (650 ppm) consiste à doubler l'investissement et finalement diviser rien par 2. Sauf à se prémunir d'un hypothétique variant plus virulent et plus mortel.



# Conclusions:

Déterminer le débit nécessaire pour se protéger d'un covid dépend de l'activité (le CO2 ne mesure pas les aérosol ni le virus (ARN) ni le virus viable), mais également du type de virus qui in fine détermine l'efficacité du renouvellement d'air. Le virus aura toujours une longueur d'avance !!

Les prescriptions doivent venir **d'équipes pluridisciplinaires** ayant pris le temps nécessaire pour établir l'efficacité de la ventilation dans des situations réelles.



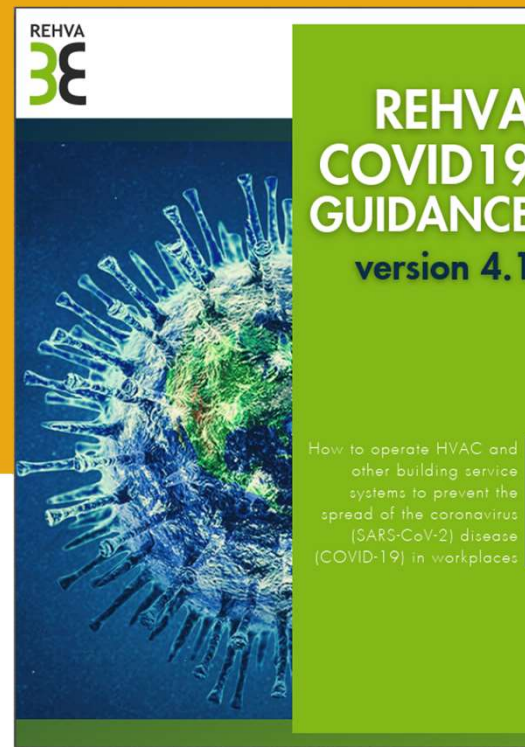
**Figure 3:** Weekly evolution of the number of variants of concern reported among **hospitalized** patients using a whole genome sequencing (WGS) approach (data source: Sciensano - subset of sentinel hospitals; data of the last weeks may still evolve in the future as a consequence of delayed reporting).



# DIMENSIONNEMENT DE L'AIR NEUF SOUS COVID 19 COÛTS/GAINS

La ventilation comme mesure de protection collective

Références :



Atic  
for HVAC professionals