

QAI, COVID 19 et Ventilation

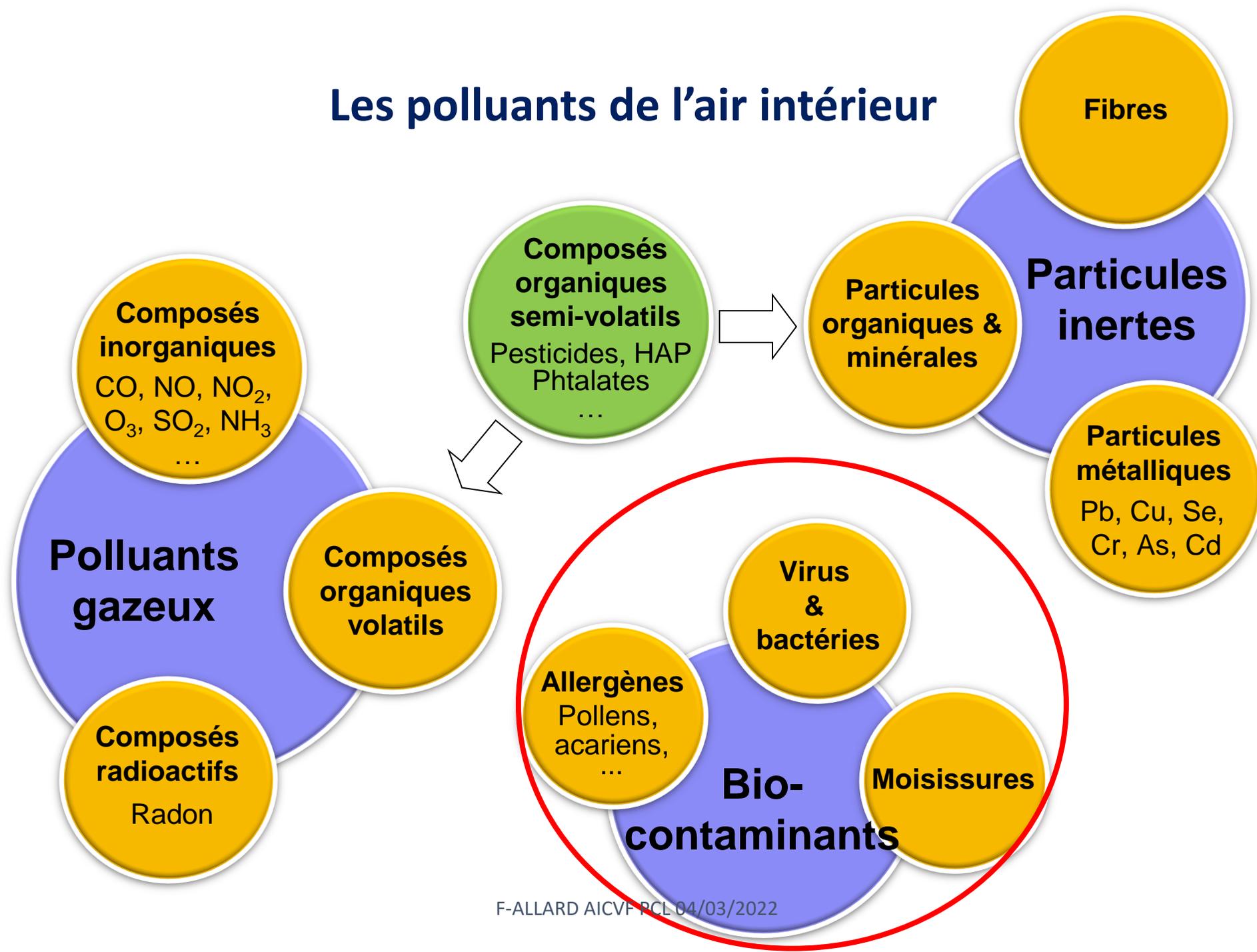
Francis. ALLARD

francis.allard@univ-lr.fr



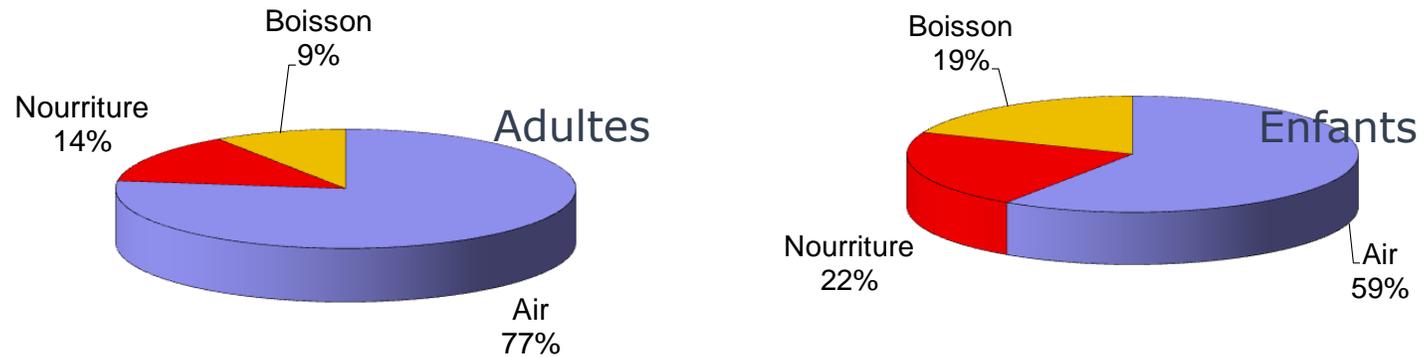
Les polluants de l'air intérieur

2

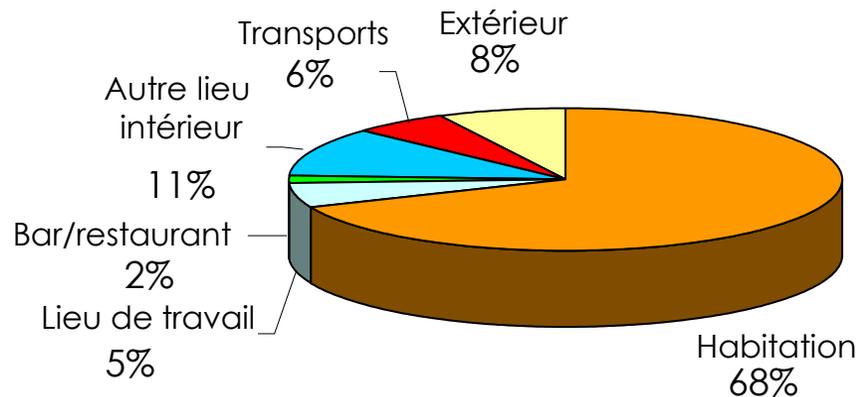


Fort impact sur la santé !

Répartition des différentes voies d'exposition à la pollution



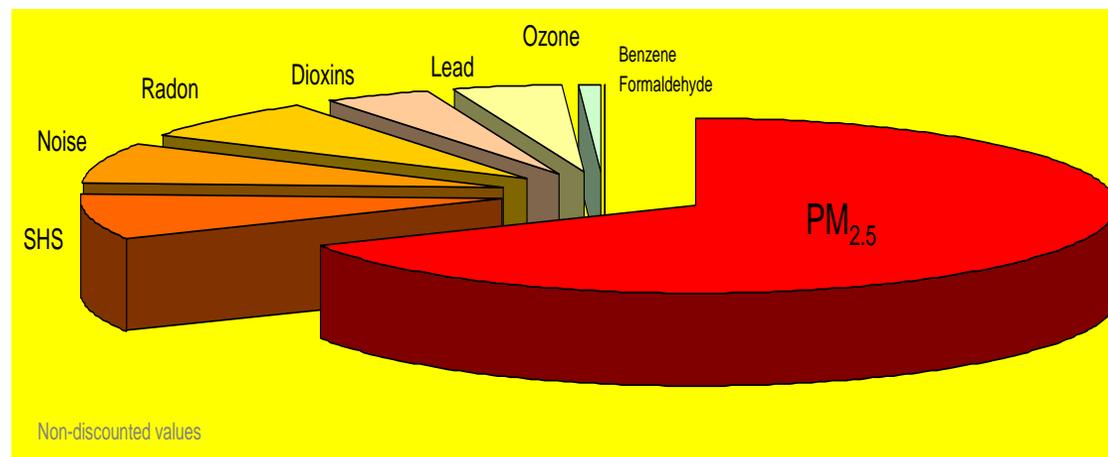
Budget espace-temps de la population



Source : Licari et al, 2005

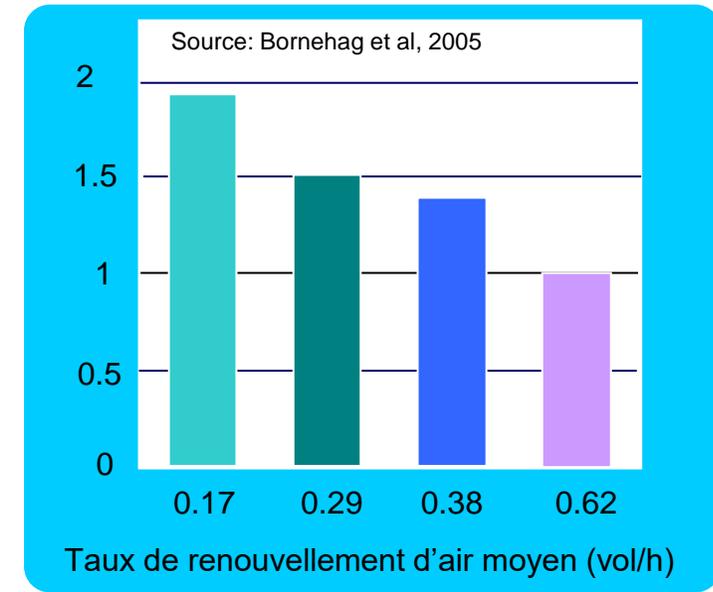
Source: Klepeis et al, 2001

Fort impact sur la santé !



Maladies recensées sur des patients et attribuables à la qualité des environnements habités (Hänninen & Knol, 2011).

Probabilité pour un enfant de ressentir un symptôme allergique en fonction du taux de renouvellement d'air de son logement.



Fort impact économique

5

■ Coût social:

■ Mortalité précoce liée à la QAI

Coût social estimé entre 20 et 30 milliards d'euros /an en France en 2005 (Etude Envie¹, 2009)

■ Morbidité: prise en charge des congés maladies et des soins

Asthme en France, 2006 (IRDES²):

- 4 millions de personnes touchées
- 600 000 journées d'hospitalisation, 7 millions de jours d'arrêt de travail/an
- Coût estimé à 1.5 milliard € /an³⁻⁴

¹ Sur la base d'un coût de la vie de 115 000 €/an donné par le rapport Quinet de 2013

² Institut de recherche et de documentation en économie de la santé

³ Dont 1 M€ pour le remboursement des médicaments anti-asthmatiques, + 60% par rapport à 2000

⁴ Coût social et sanitaire de la grippe (année moyenne): 460 millions €/an (BVS ANSES n°20, 2013)

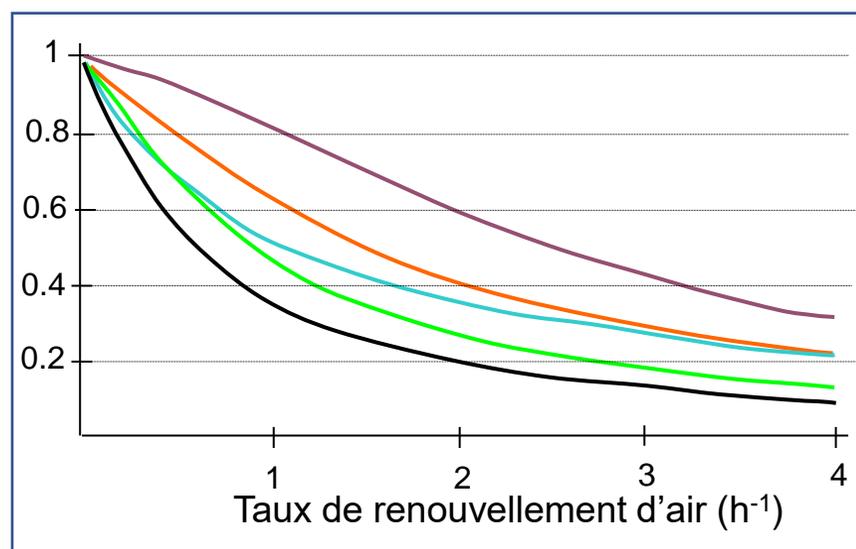


Fort impact économique

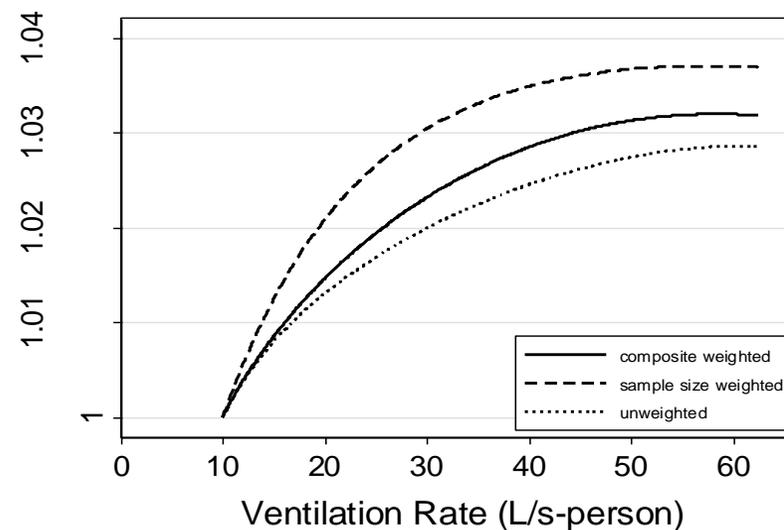
6

Coût privé: baisse de productivité & absentéisme au travail

Absentéisme/QAI *Fisk et al. 2003*



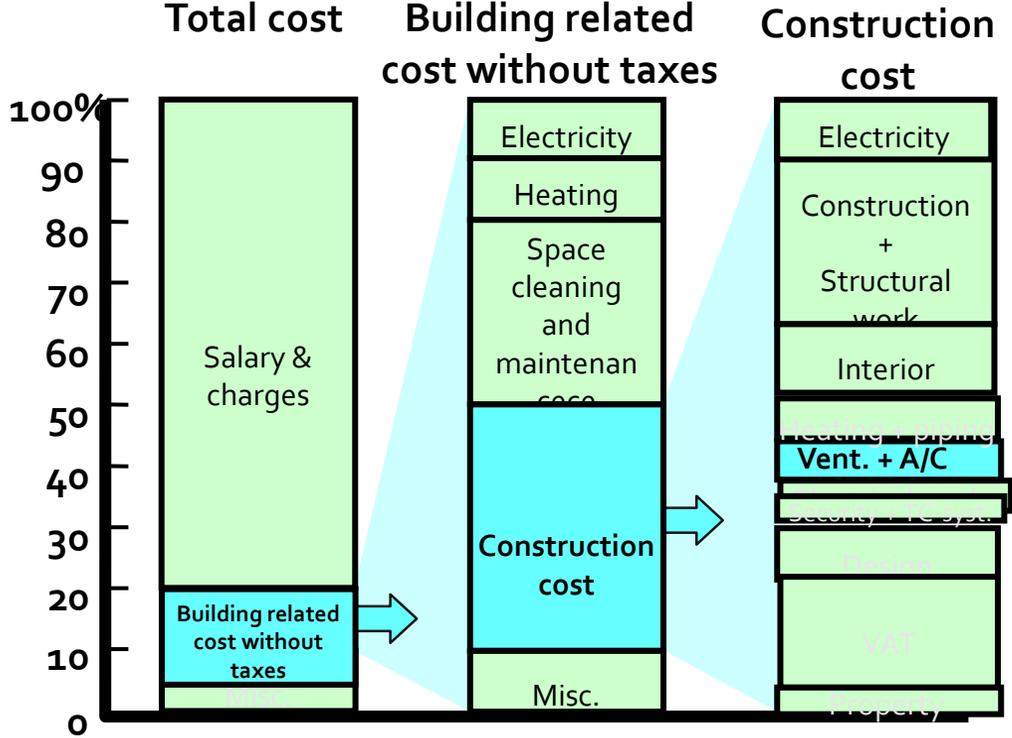
Productivité/QAI



Seppänen, Fisk, Lei 2005

- Milton (2002), Congés maladie, bureaux
- Brundage (1998), maladie, casernes, toutes les années
- Brundage (1998), maladie, casernes, données 1983
- Drinka (1996), maladie, maisons de retraite
- Modélisation de la concentration en particules

Ça coûte cher mais ça peut rapporter gros !

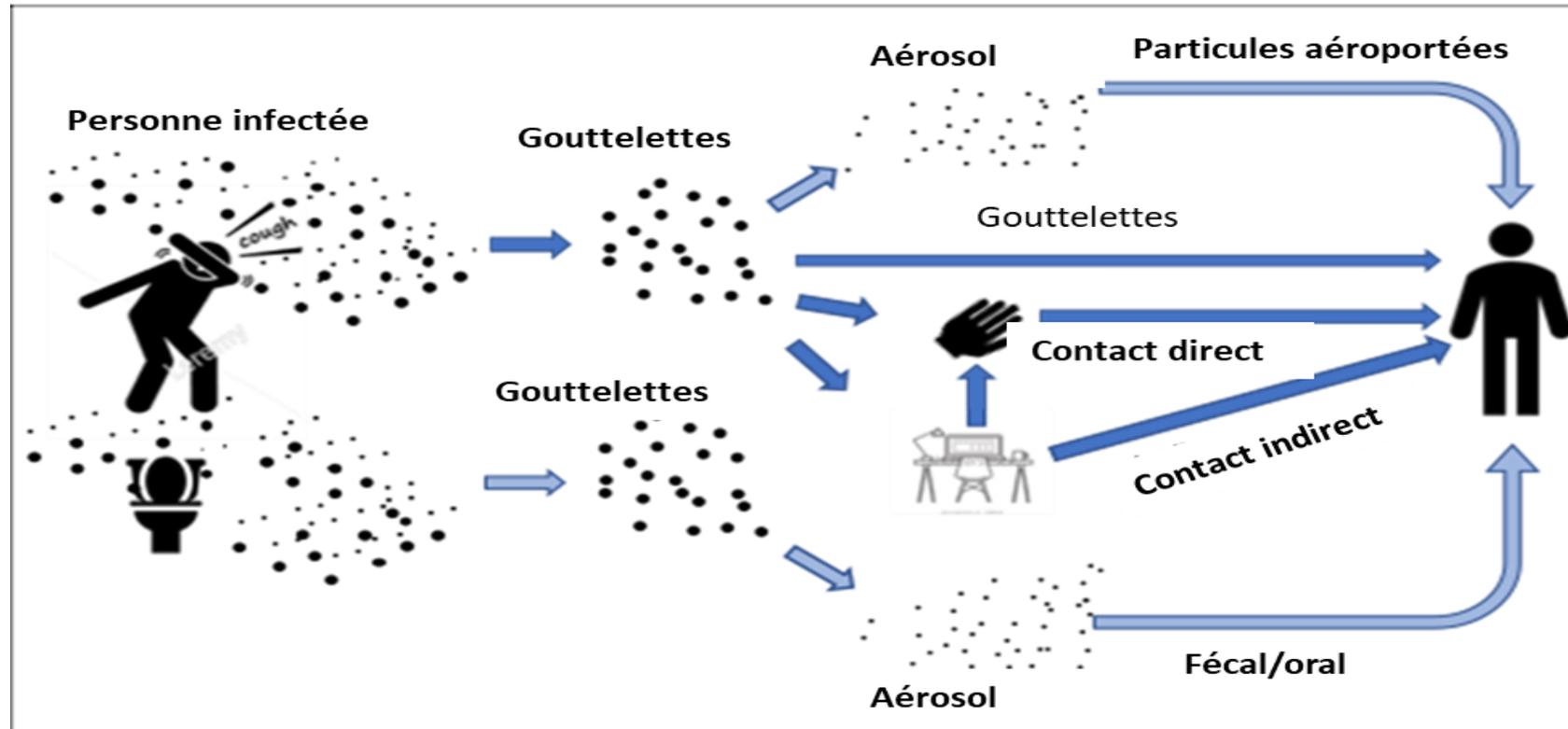


REHVA Guidebook No 6 Indoor Climate and Productivity, 2006

Les problèmes liés à la QAI ont été exacerbés par la pandémie:

- Problèmes sanitaires
- Problèmes économiques

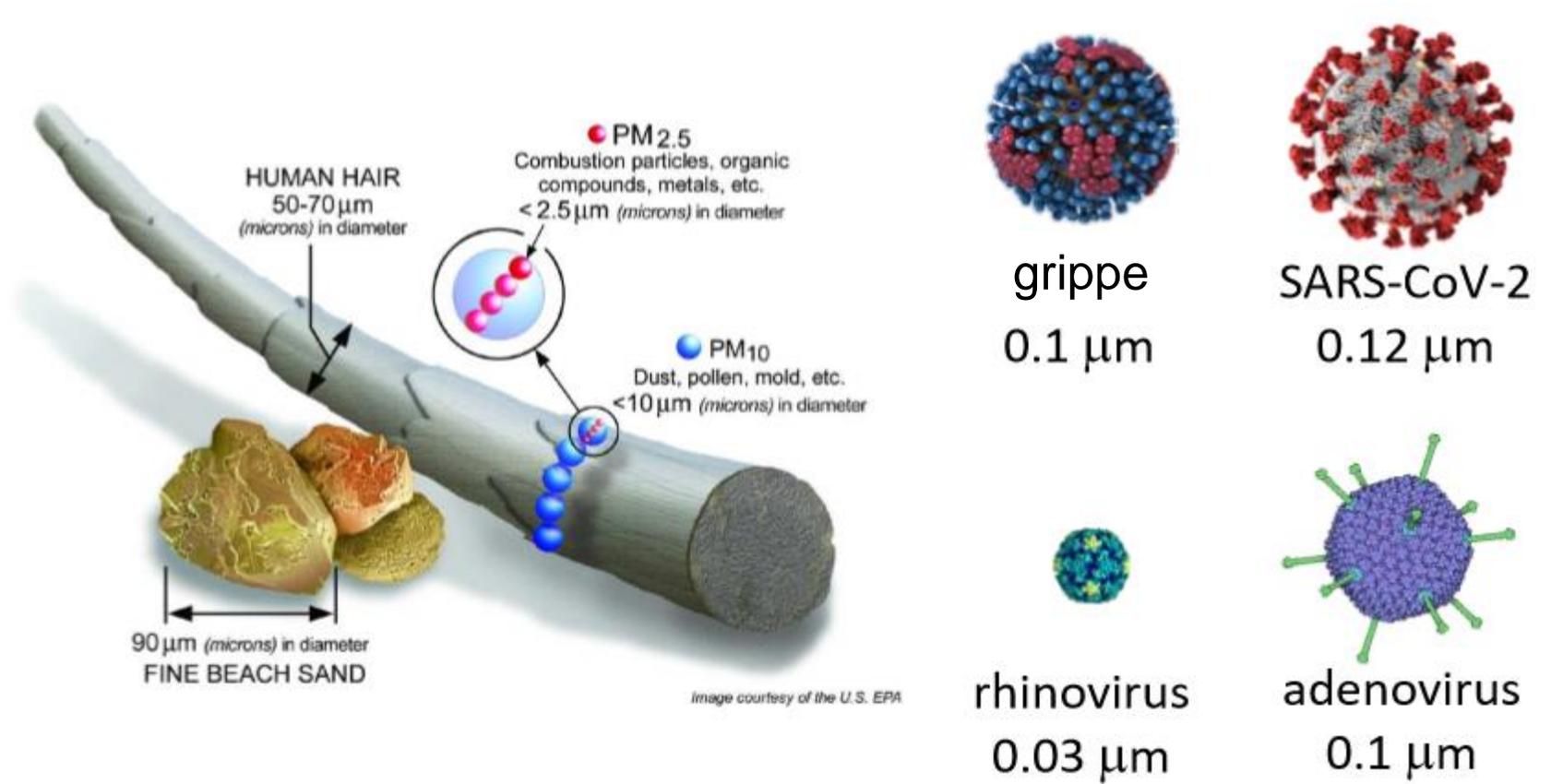
Voies d'infection



Voies de transmission privilégiées des infections virales respiratoires :

La couleur bleu clair représente les mécanismes de suspension dans l'air connu du SRAS CoV-1 et maintenant également identifiée pour le SARS-CoV-2 (figure : courtoisie Francesco Franchimon).

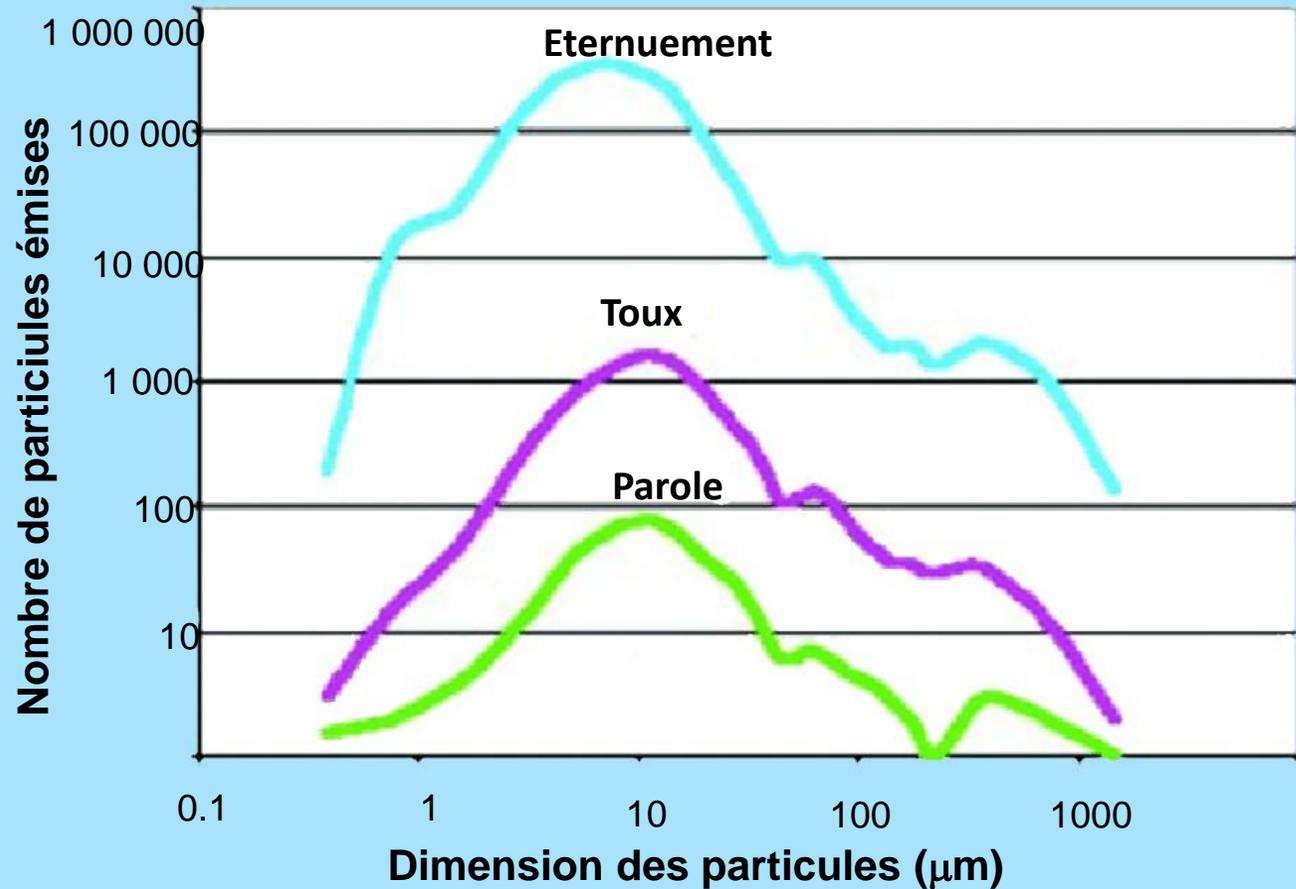
Taille des virus



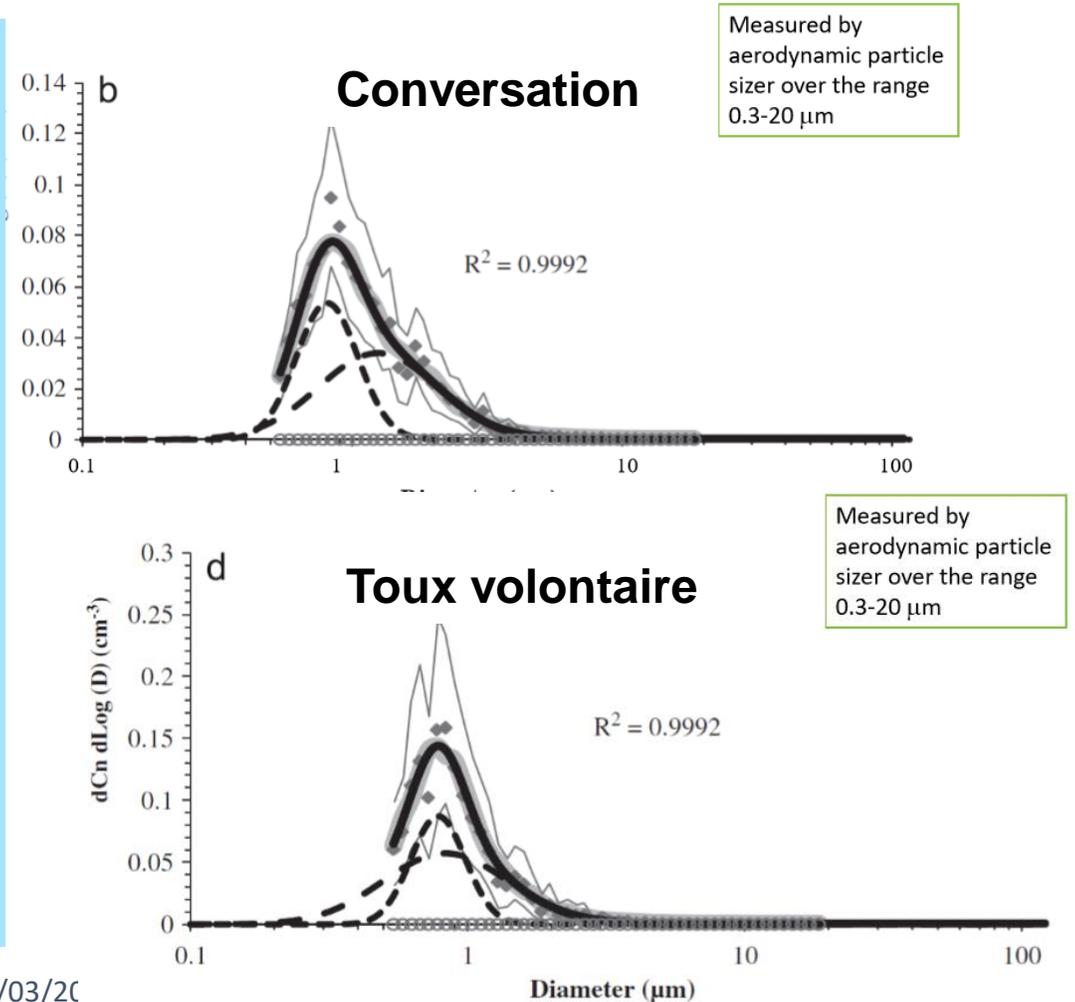
Tailles des particules fines émises par l'homme

11

Particules émises



Particules résiduelles

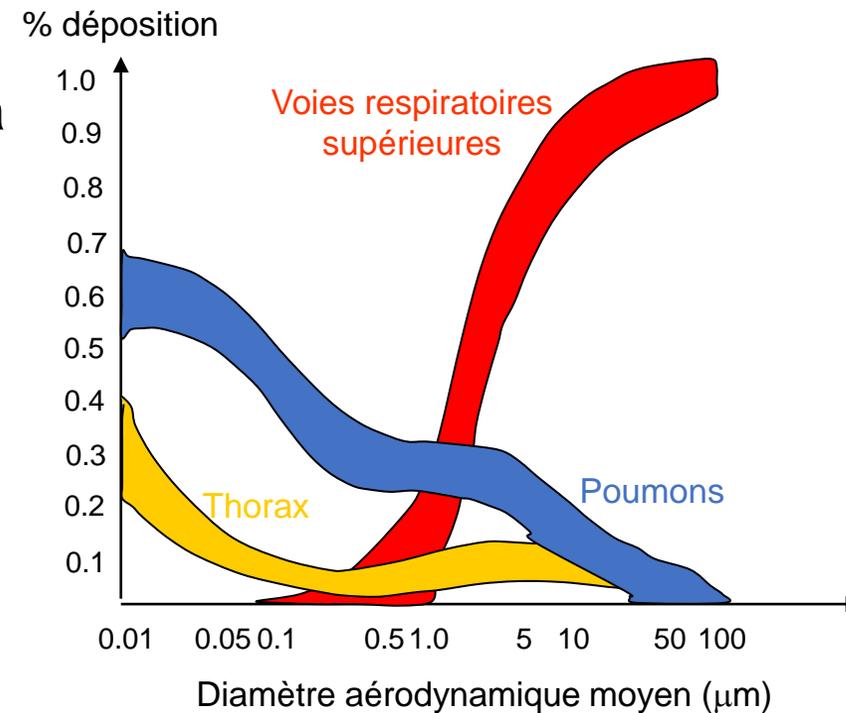
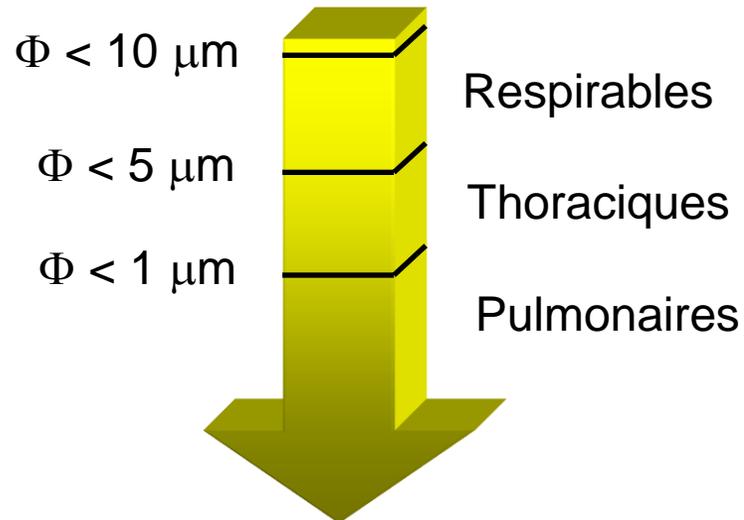


Risque sanitaire associé aux particules

12

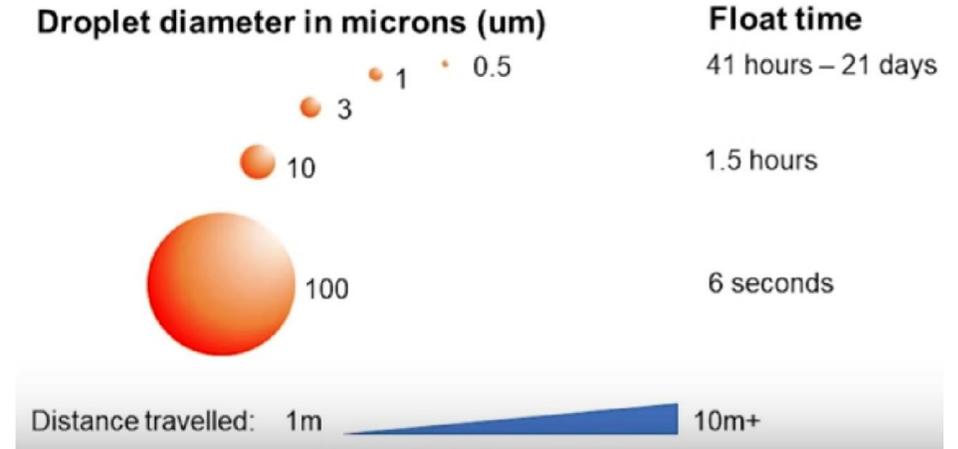
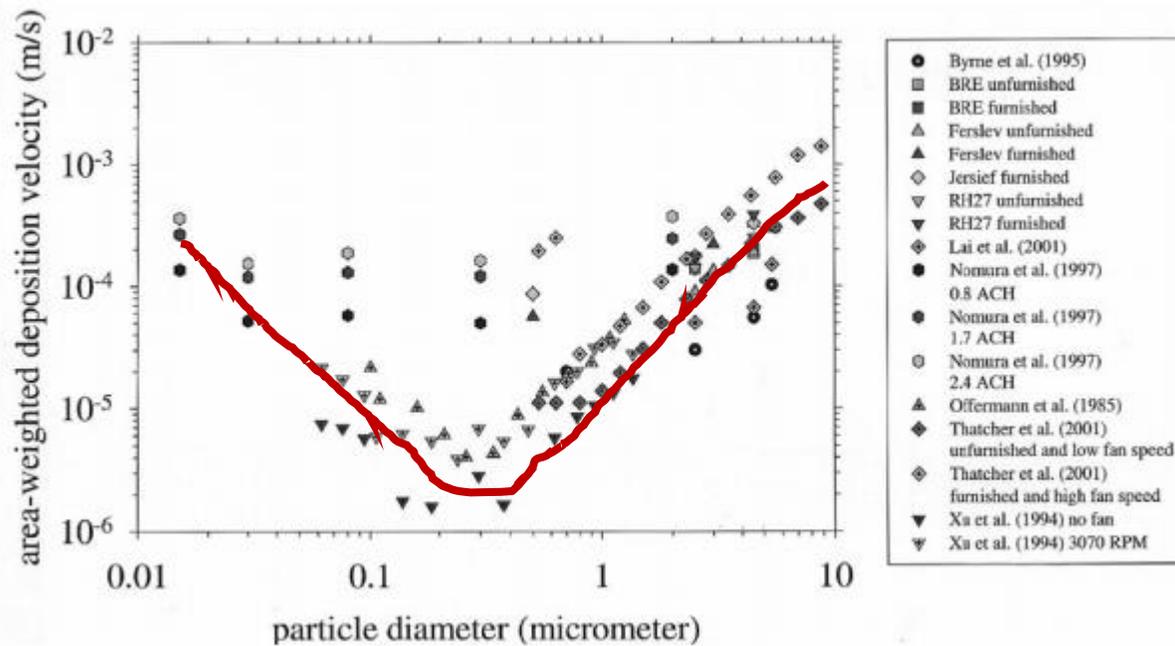
Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans l'organisme, et donc plus elles sont potentiellement dangereuses pour la santé

Classification
en taille



Vitesse de dépôt des particules fines

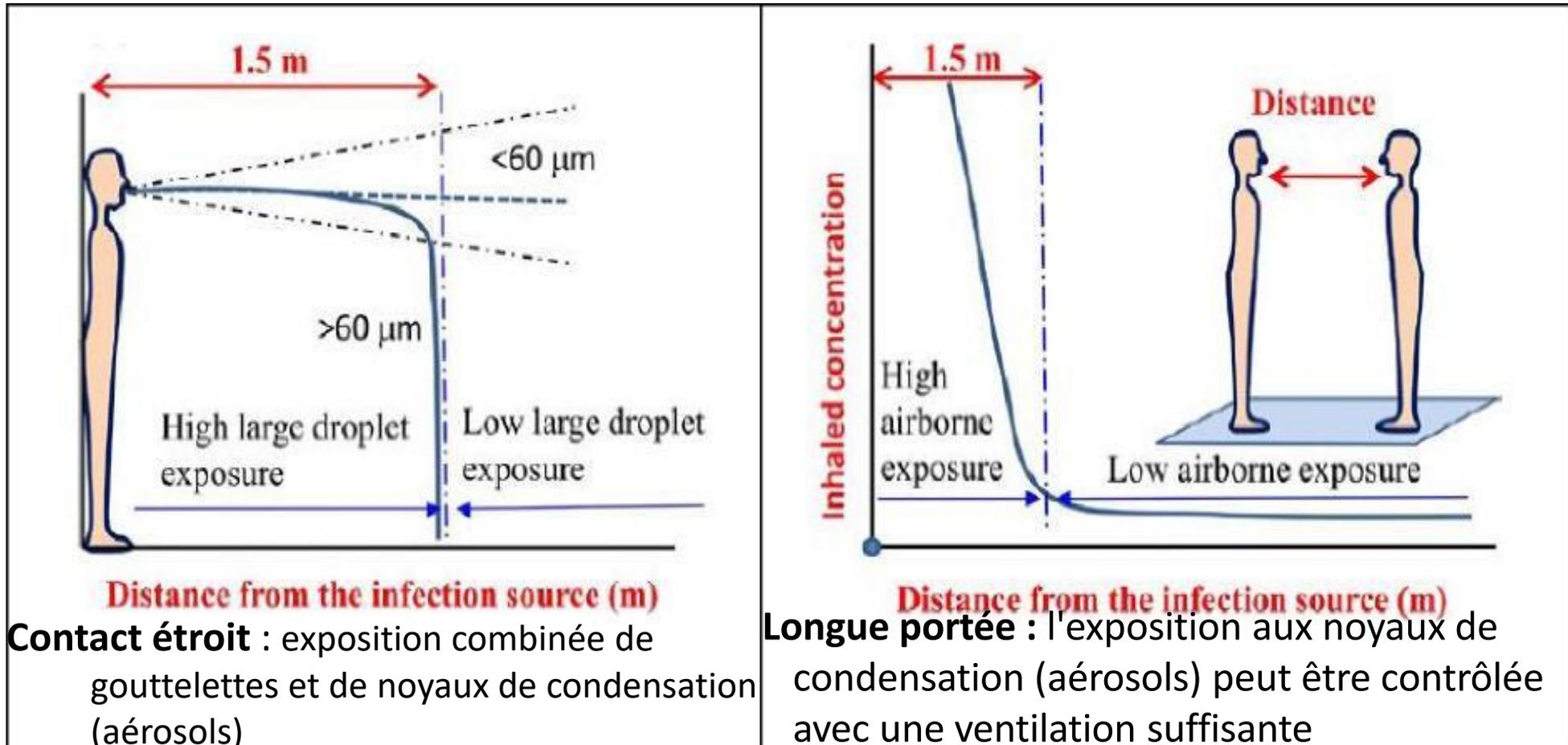
13



Vitesses de dépôt et permanence dans l'air des particules fines dans les environnements intérieurs LAI (2002).

Exposition aux émissions humaines en fonction de la taille des particules résiduelles

14



Permanence dans l'air et sur les surfaces

15

- **Dans l'air:** La décroissance est exponentielle, la durée de demi-vie serait de l'ordre d'une heure (1,1 à 1,2 h) avec une permanence constatée par plusieurs auteurs après 3 heures.

Guo Z-D, Wang Z-Y, Zhang S-F, Li X, Li L, Li C, et al. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020. Emerg Infect Dis. 2020 Jul [date cited]. <https://doi.org/10.3201/eid2607.200885>

- **Sur les surfaces:**

- Quelques heures sur les surfaces poreuses: cartons, papier, tissus,....
- Jusqu'à plusieurs jours sur des surfaces dures: acier poli ou certains plastiques durs.

Neeltje van Doremalen, Trenton Bushmaker, Dylan H. Morris, Myndi G. Holbrook, Amandine Gamble, Brandi N. Williamson, Azaibi Tamin, Jennifer L. Harcourt , Natalie J. Thornburg, Susan I. Gerber, James O. Lloyd-Smith, Emmie de Wit1, Vincent J. Munster, Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1

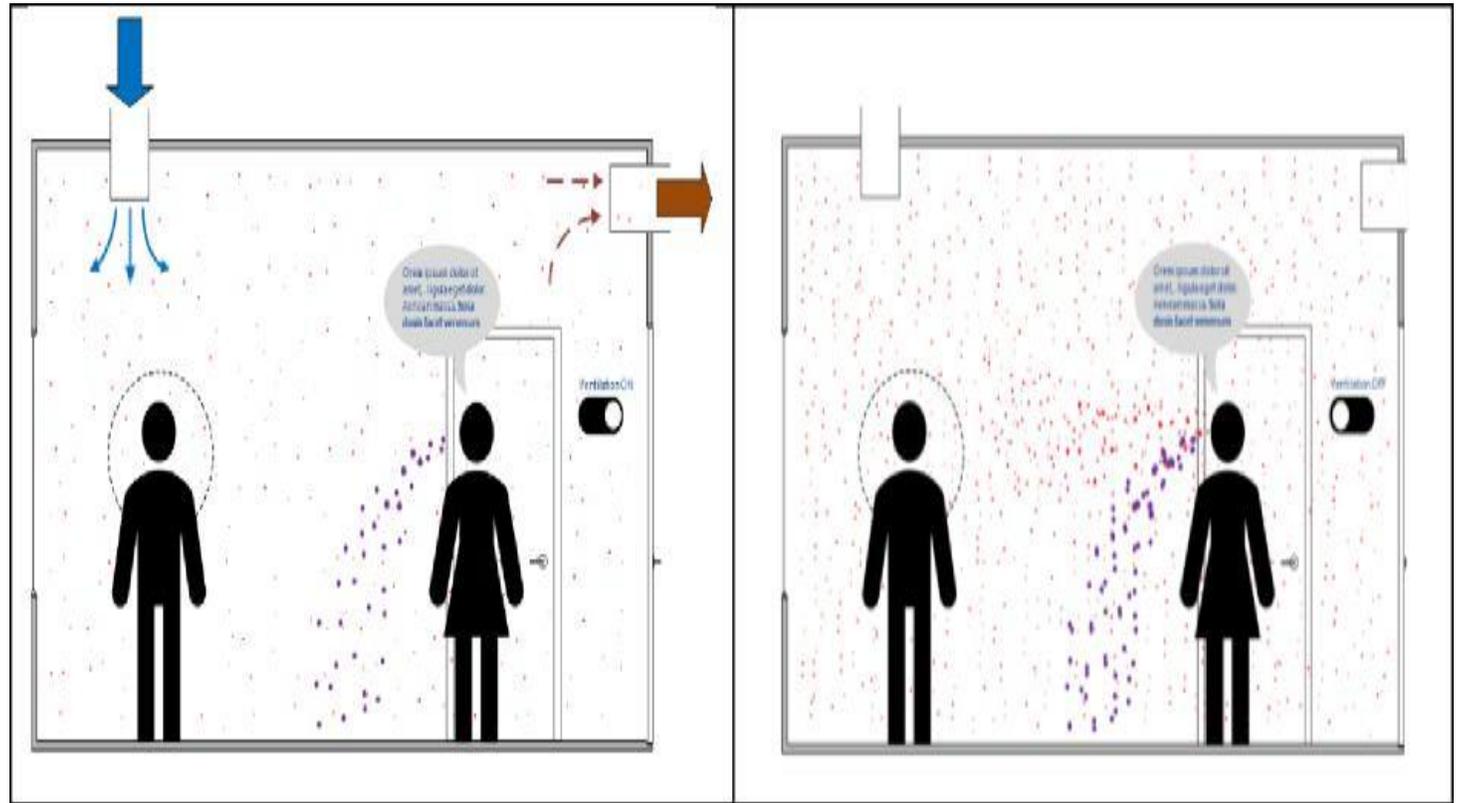
Rôle de la ventilation

Systeme de ventilation en marche

Systeme de ventilation arrêté

16

Illustration de la manière dont une personne infectée (femme parlant à droite) conduit à une exposition à un aérosol (pics rouges) dans la zone de respiration d'une autre personne (homme à gauche dans ce cas).



L'expiration des grosses gouttelettes est marquée par des pics violets. Lorsque la pièce est ventilée avec un système de ventilation mixte, le nombre de particules chargées de virus dans la zone de respiration est beaucoup plus faible que lorsque le système de ventilation est arrêté.

Rôle de la ventilation/prédiction du risque d'infection: Théorie de Wells-Riley

17

Probabilité d'infection par des particules aéroportées en fonction du taux de génération de particules infectieuses q et du taux de renouvellement d'air.

$$P_{infection} = 1 - e^{-n}$$

$P_{infection}$ = probabilité d'infection (nombre d'infection/ nombre d'individus exposés)

n = Nombre de quanta inhalés.

NB: Un quantum est défini comme la dose de noyaux de gouttelettes en suspension dans l'air nécessaire pour provoquer une infection chez 63 % des personnes sensibles

Rôle de la ventilation/risque d'infection: Théorie de Wells-Riley

Les quanta inhalés n (quanta) dépendent de

C_{moy} : la concentration moyenne temporelle des quanta (quanta/m³)

Q_b : la fréquence respiratoire volumétrique d'un occupant, (m³/h)

D : la durée d'occupation (h):

$$n = C_{moy} Q_b D \quad (2)$$

Un modèle de bilan de masse entièrement mélangée pour la pièce (équation (3)) peut alors être appliqué pour calculer la concentration :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{E}{V} - \lambda C \quad (3)$$

où

E : Taux d'émission des quanta (quanta/h),

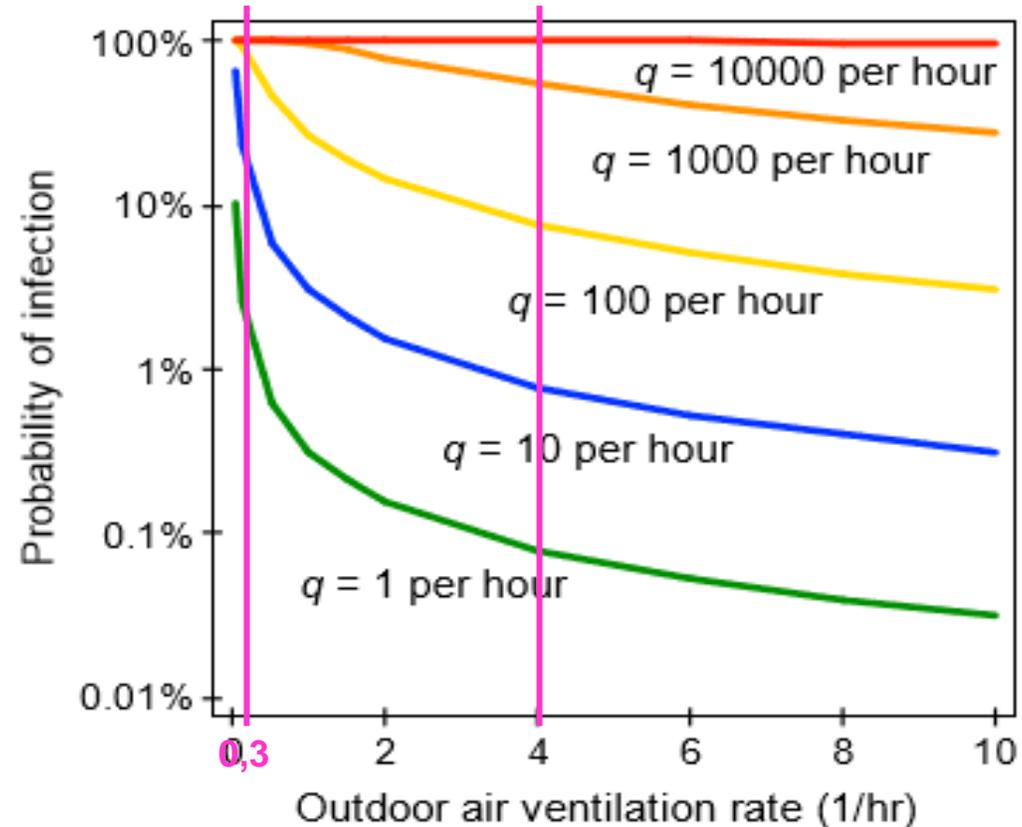
V volume de la pièce (m³),

λ : coefficient de taux de perte de premier ordre pour les quanta/h en raison des effets additionnés de la ventilation λ_v , (1/h), du dépôt sur les surfaces λ_{dep} , (1/h) et de la désintégration du virus k , (1/h), (à ces termes naturels peuvent être ajoutés des termes additionnels liés à des facteurs externes tels que la filtration ou l'épuration)

Rôle de la ventilation: Théorie de Wells-Riley

19

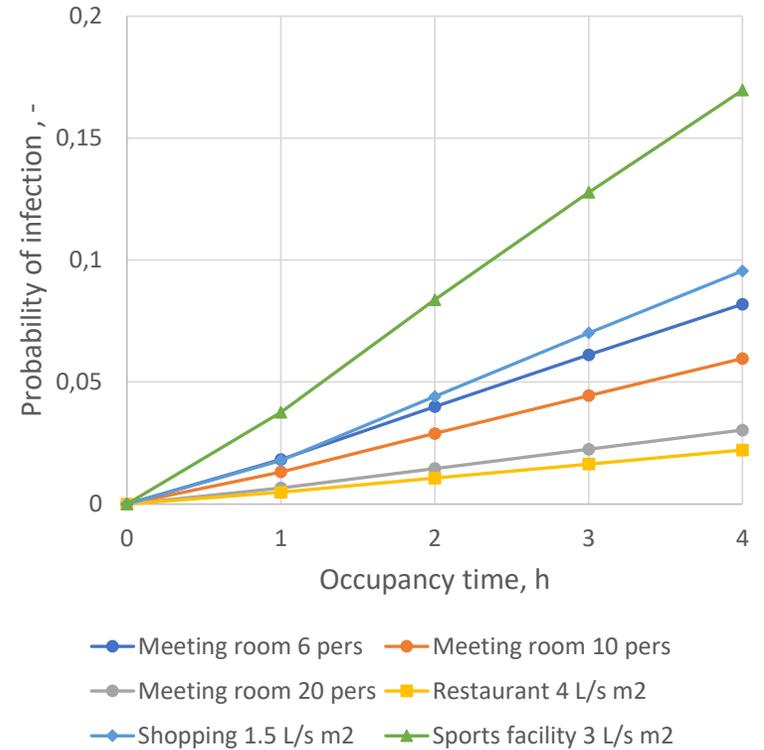
Aucun renouvellement d'air extérieur ne pourrait empêcher la propagation de la maladie la plus infectieuse (hypothétique $q = 10\,000 / h$) tandis que le risque de contracter le SARS CoV1 (avec $q = 100 / h$) pourrait être réduit de près de 100 % dans un bâtiment étanche ($0,3 \text{ vol} / h$) à moins de 10% en augmentant le taux de renouvellement d'air à $4 \text{ vol} / h$.



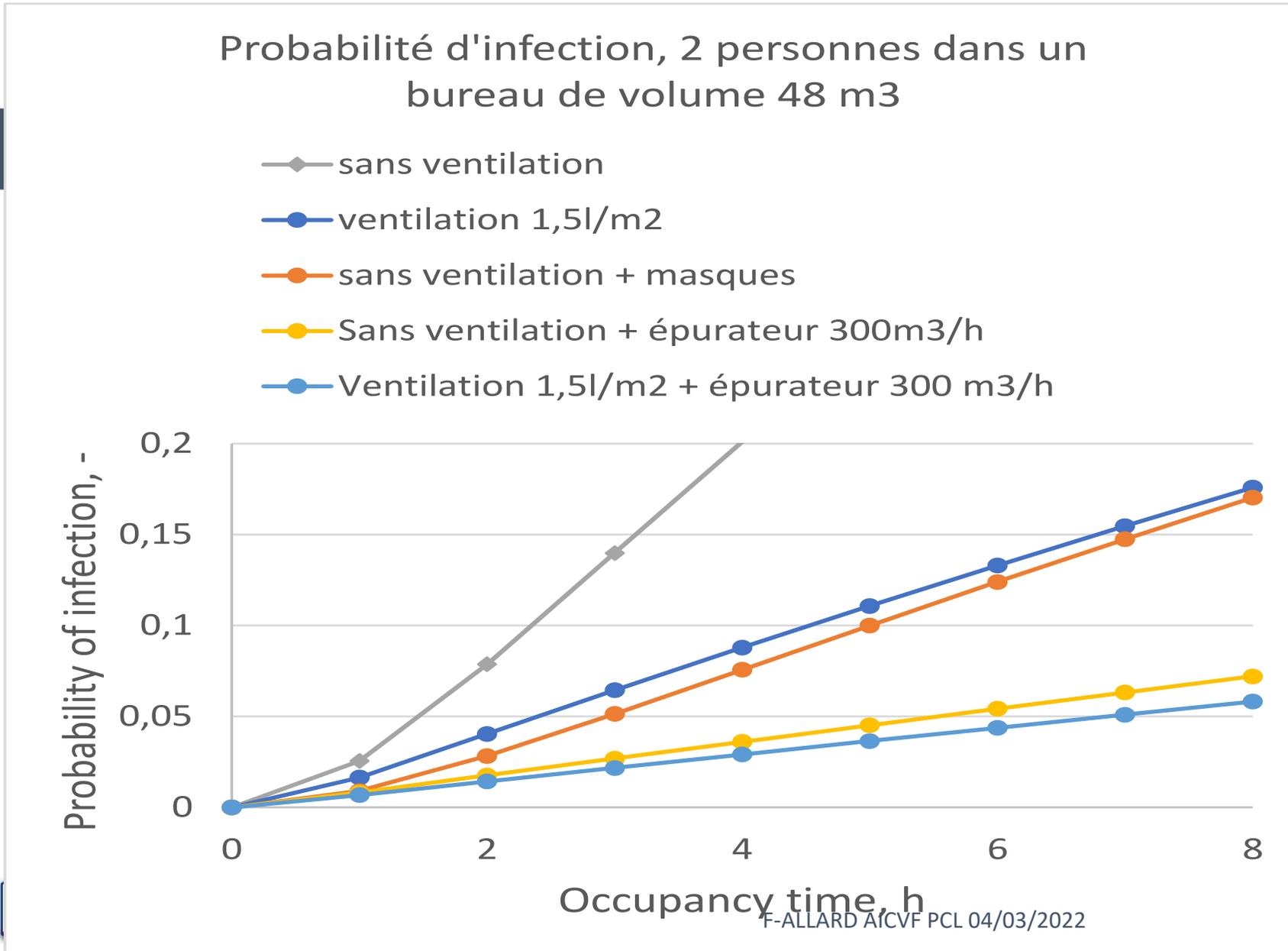
Probabilité d'infection par des particules aéroportées en fonction du taux de génération de particules infectieuses q et du taux de renouvellement d'air. (cas d'un bureau paysagé de 500m^2 avec 8h de présence, d'après HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases, final report, The National Air Filtration Association (NAFA), 2012)

REHVA COVID-19 Calculator

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	REHVA COVID-19 Ventilation Calculator for estimation of ventilation effect on COVID-19 airborne infection															
2	version 2.0, September 14, 2021															
3	This calculator is intended to design ventilation in well-mixed indoor spaces for the event reproduction number $R < 1$. Air cleaners, facial masks, and															
4	complementary measures possible to calculate. Alternatively, the calculator may be used for the risk assessment in existing indoor spaces.															
5																
6	Input Parameters															
7			Value		Comment											
8	No of infectious persons in the room		1 -		One infectious person is default assumption in all cases											
9	Mask efficiency for susceptible person		0 -		0 for no facial mask, default value for a mask 0.3											
10	Mask efficiency for infectious person		0 -		0 for no facial mask, default value for a mask 0.5											
11	Inactivation rate of the virus		0,63 h ⁻¹		van Doremalen et al. (2020)											
12	Deposition to surfaces		0,24 h ⁻¹		Buonanno et al. (2020b), Miller et al. (2020), could vary 0.24-1.5 h ⁻¹ , depending on particle size range											
13	Additional control measures		0 h ⁻¹		May be used to insert a removal rate of UV disinfection											
14																
15	Case Specific Input Parameters & Calculation for model rooms															
16	Air cleaner Clean Air Delivery Rate: Insert CADR (product of efficiency and airflow rate) in m ³ /h units (1 L/s = 3.6 m ³ /h), 0 for no air cleaner															
17	Quanta emission rate: Select a value depending on physical and communication activities, and a virus variant, as shown below															
18	Breathing rate: Select a value depending on physical and speaking activities as shown below															
19	No of susceptible persons in the room = total No of persons - No of infectious persons in the room															
20	Probability of infection is the individual probability of a susceptible person; No of infected persons = probability x No of susceptible persons															
21	R event is the event reproduction number that is defined as number of new disease cases divided by number of infectors; to control epidemic $R < 1$															
22																
23	Room	Floor area	Height	Ventilation	Air cleaner	Quanta em	No of sus	Breathing	Occupancy	Air change	Total first	x steady	Average	Quanta in	Prot	
24		A (m ²)	h (m)	L/(s m ²)	m ³ /h	quanta/h	-	m ³ /h	h	λ_v (h ⁻¹)	λ (h ⁻¹)	β	quanta/m ³	quanta	-	-
25	Open plan office 1 L/s m ²	50	3	1	0	5	5	0,65	8	1,2	2,07	0,94	0,015	0,08	0,076	0,38
26	Open plan office 2 L/s m ²	50	3	2	0	5	5	0,65	8	2,4	3,27	0,96	0,010	0,05	0,050	0,25
27	2 person office 1.5 L/s m ²	16	2	1,5	0	5	1	0,65	8	1,8	2,67	0,95	0,027	0,10	0,476	0,48



Quelques résultats de simulations obtenus avec l'outil REHVA



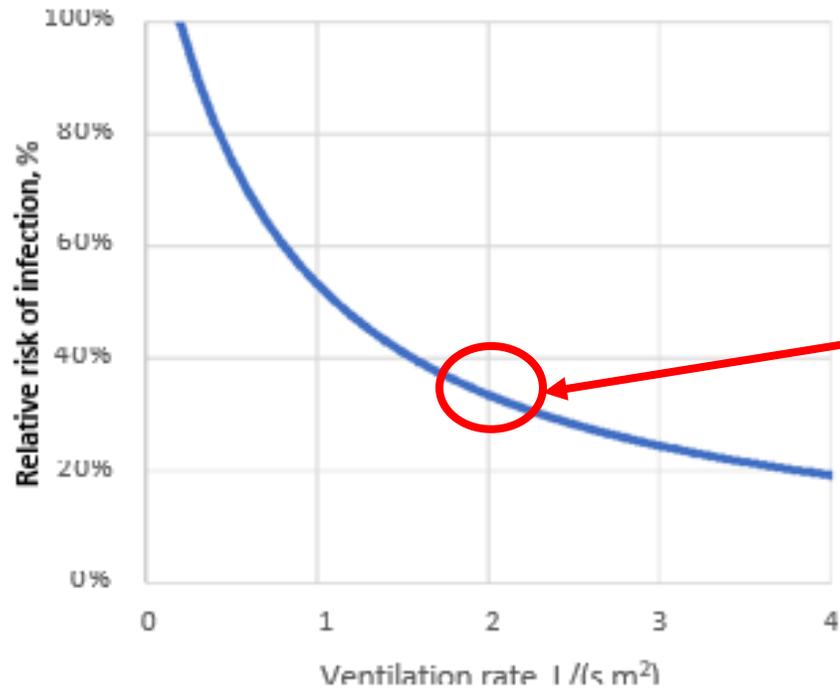
REHVA
3E



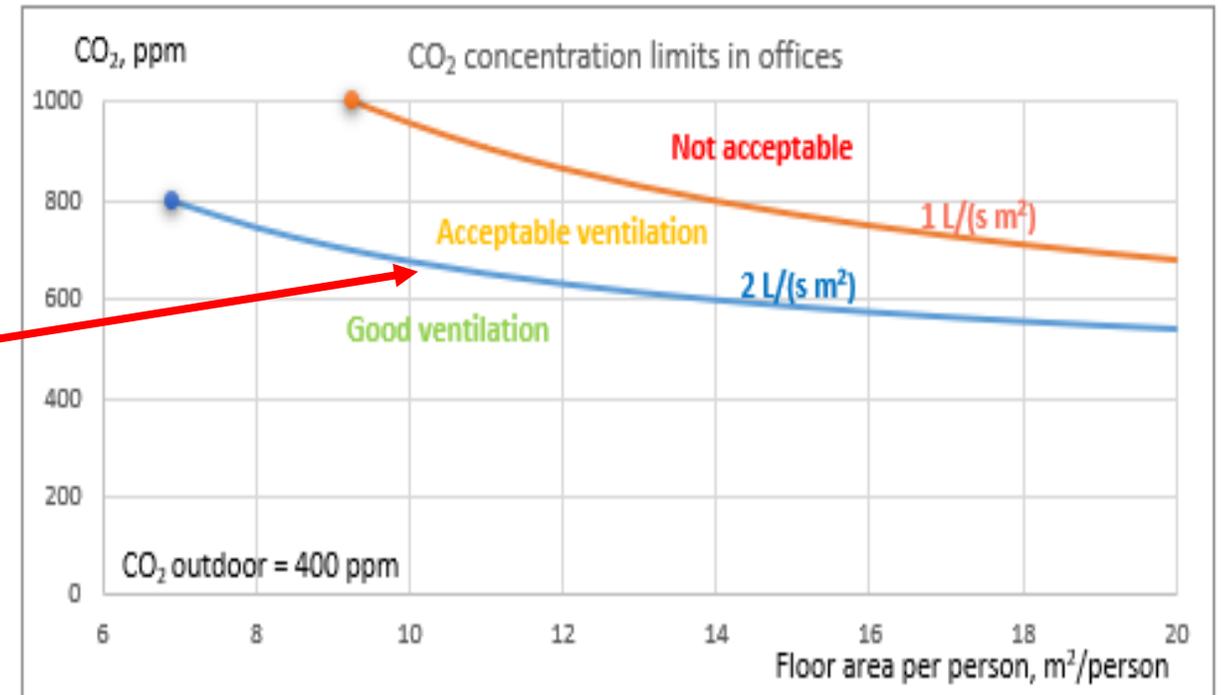
Mise en évidence de l'intérêt de la ventilation, du port des masques et d'un épurateur d'air.

Influence du taux de renouvellement d'air

22



Risque relatif dans un bureau de 50 m² où le taux de ventilation de 2 L/s par personne: (0,2 L/s par m² est considéré comme un niveau de référence pour un événement de super propagation avec un risque relatif de 100).



Concentration en CO₂ (valeurs absolues qui incluent la concentration extérieure) dépendante du taux de ventilation et de l'occupation des bureaux.

Avis du Haut Conseil de la Santé Publique du 28/04/2021 concernant le CO₂.

23

- *« Le HCSP indique que le taux de renouvellement de l'air **peut être approché facilement par la mesure de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air** à des points et des périodes représentatives en période d'occupation. Une concentration en CO₂ **supérieure à un seuil de 800 ppm** doit conduire dans tous les cas à ne pas occuper la salle et à agir en termes d'aération/renouvellement d'air et/ou de réduction du nombre de personnes admises dans les locaux d'un ERP. »*



Outil de calcul INRS de la concentration de CO₂ ou du taux de renouvellement d'air

Outil_CO2 [Lecture seule] - Excel

Phil 335

Partager

Fichier Accueil Insertion Mise en page

Coller Calibri 11

Police

Estimer l'évolution de la concentration en dioxyde de carbone

Surface du local: 50 m² Surface du local = Longueur x Largeur

Hauteur sous plafond: 2.6 m Volume du local: 130 m³

Activité des occupants: Travail de bureau assis - Réunion CO₂ expiré par occupant: 20 L/h

Cas particulier: présence d'enfant(s) de moins de 4 ans Pour traiter le cas des crèches par exemple

Concentration extérieure: 400 ppm Supérieure ou égale à 400 ppm

Concentration initiale: 400 ppm Supérieure ou égale à concentration extérieure

Débit d'air neuf: 25 m³/h Taux de renouvellement: 0.19 vol/h

Créneaux d'occupation de la pièce

Nombre de créneaux horaires: 1 Durée totale: 1 h

Heures Minutes

Durée	h	Nombre d'occupants	Créneau
1	h	10	Créneau 1
0	h		Créneau 2
0	h		Créneau 3
0	h		Créneau 4
0	h		Créneau 5
0	h		Créneau 6
0	h		Créneau 7
0	h		Créneau 8

Retour à l'accueil Réinitialiser Masquer fenêtre Calculer

PDF Architect 7 Creator

Dites-le-nous

Partager

insrs

Evolution de la concentration en CO₂ [ppm]

Temps écoulé	Concentration [ppm]
0h 00m	400
0h 02m	410
0h 04m	420
0h 06m	430
0h 08m	440
0h 10m	450
0h 12m	460
0h 14m	470
0h 16m	480
0h 18m	490
0h 20m	500
0h 22m	510
0h 24m	520
0h 26m	530
0h 28m	540
0h 30m	550
0h 32m	560
0h 34m	570
0h 36m	580
0h 38m	590
0h 40m	600
0h 42m	610
0h 44m	620
0h 46m	630
0h 48m	640
0h 50m	650
0h 52m	660
0h 54m	670
0h 56m	680
0h 58m	690
1h 00m	700

insrs://media.insrs.fr/insrs/outil/

Ventilation et CO₂ : outil de calcul

Estimation de la concentration en CO₂ et du taux de renouvellement d'air

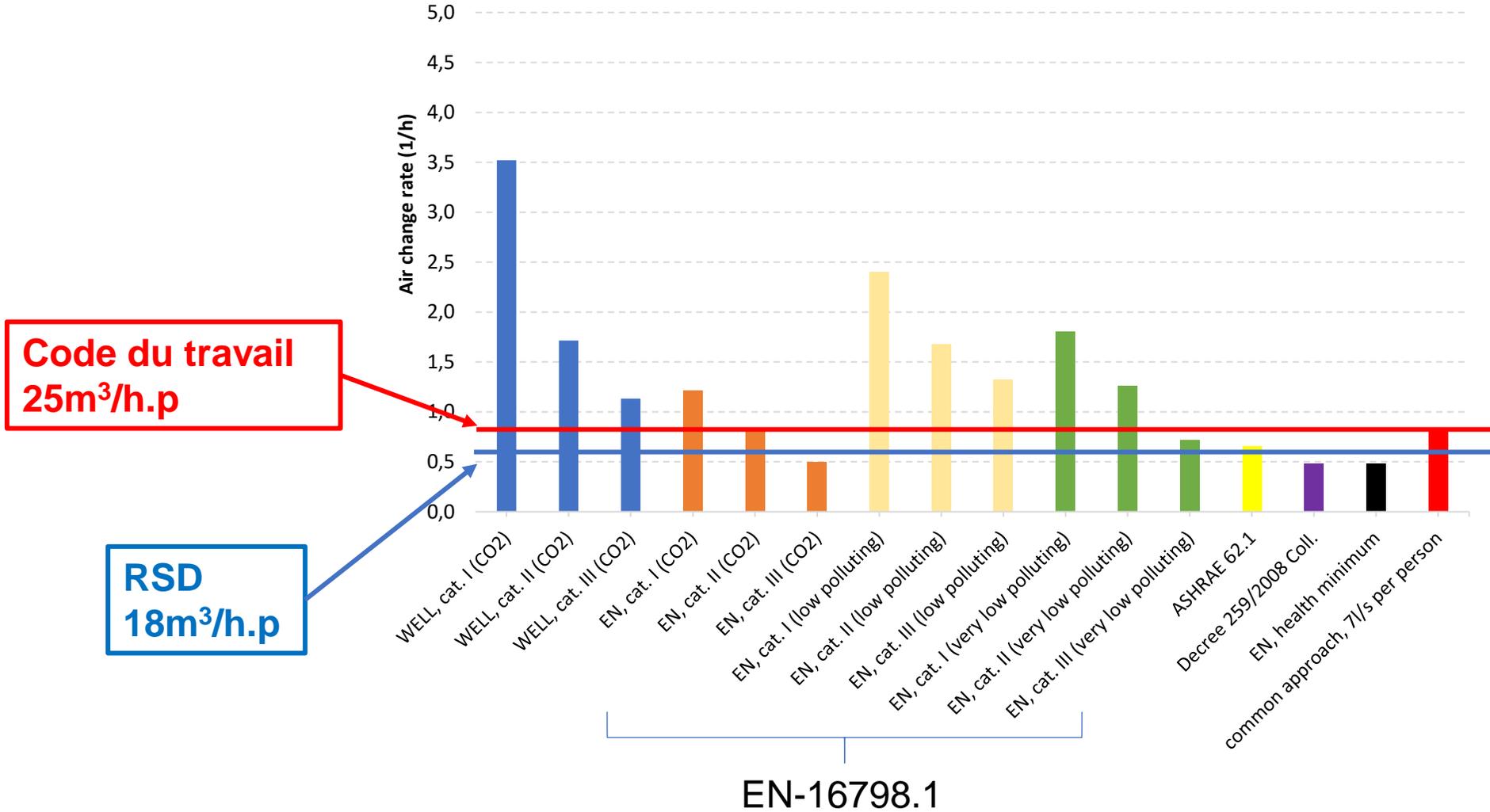
Cet outil a pour objet de simuler l'évolution de la concentration en CO₂ dans un local de travail (bureau, salle de réunion) à partir de mesures simples.

- Estimer l'évolution de la concentration en CO₂
- Estimer le taux de renouvellement d'air



Comparaison/ normes internationales (bureau)

Air change rate at 10 m²/person



CONCLUSION

26

- La pandémie actuelle montre les limites de nos approches du conditionnement des bâtiments.
- Les réglementations françaises sur la ventilation sont anciennes et ne garantissent pas la qualité sanitaire des locaux
- Une réflexion collective est donc nécessaire sur:
 - L'évolution des réglementations en cohérence avec les normes européennes et internationales,
 - Les critères de dimensionnement
 - Les règles de conception des installations et de leur maintenance,
- **L'AICVF se propose d'animer ce débat.**



Nous ne sommes pas seuls!!!!

27

BE REHVA
Federation of European Heating,
Ventilation and Air Conditioning Associations



“We need new criteria for ventilation design”

Written by Olli Seppänen, 26 January 2021



Association des Ingénieurs
et techniciens en
Climatique, Ventilation et Froid



Merci de votre attention

Pour plus d'information:

<https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>