



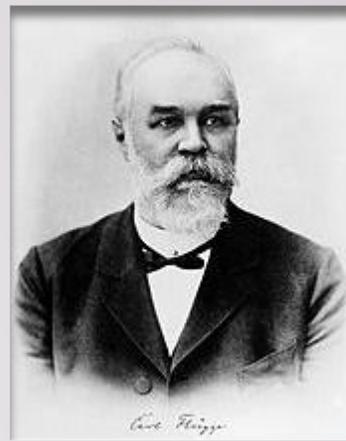
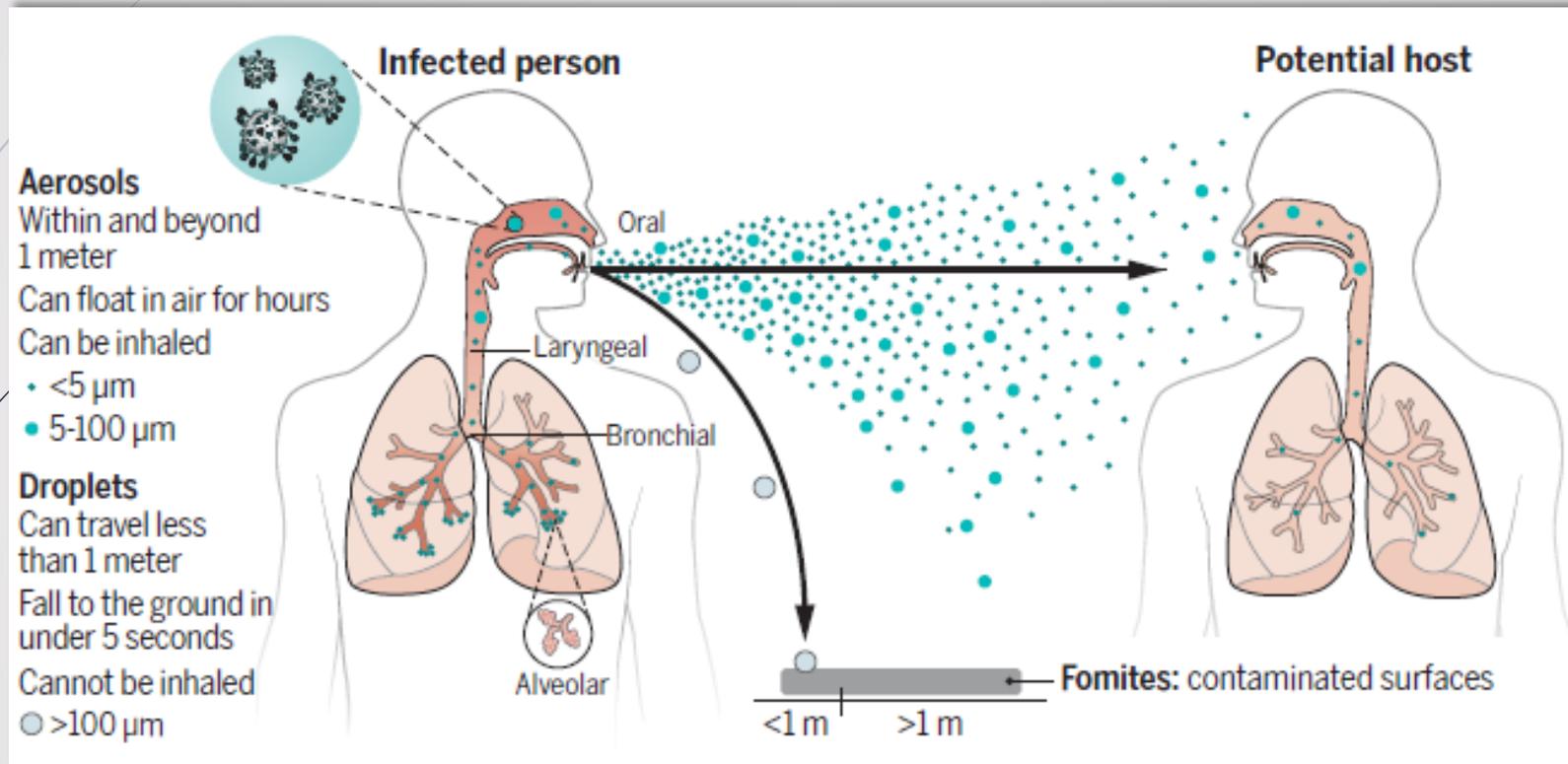
Risque de transmission aéroportée...vers de nouvelles recommandations

Dr Olivia KEITA-PERSE, Monaco



Quelques diapositives
empruntées à
Sara Romano-Bertrand
Pierre Parneix
Philippe Fraise !

Background (1)



- Transmission par voie respiratoire basée sur dichotomie air/gouttelettes
- Questionnée et challengée par de nombreuses études pendant pandémie SARS-CoV-2



Transmission gouttelettes ou air ?

Les deux listes (2013)

Transmission « gouttelettes »

- ▶ *Adenovirus* : infection respiratoire notamment des nourrissons et jeunes enfants
- ▶ *Bordetella pertussis* : Coqueluche
- ▶ *Corynebacterium diphtheriae* : Diphtérie pharyngée
- ▶ *Haemophilus influenzae* :
Épiglottite/pneumopathie de l'enfant
- ▶ *Myxovirus influenzae* : Grippe saisonnière
- ▶ *Myxovirus parotidis* : Oreillons
- ▶ *Neisseria meningitidis* : Méningite - Infection invasive
- ▶ *Rubivirus* : Rubéole
- ▶ Streptocoques groupe A : Angine, scarlatine
- ▶ Virus respiratoire syncytial VRS : Bronchiolite
- ▶ *Yersinia pestis* : Peste pulmonaire

Transmission « air »

- ▶ Coronavirus : SRAS
- ▶ *Morbillivirus* : Rougeole
- ▶ *Mycobacterium leprae* : Lèpre
- ▶ *Mycobacterium tuberculosis* : Tuberculose pulmonaire Confirmée ou suspectée (cf. chapitre particulier)
- ▶ *Varicella-zoster virus* : Varicelle/Zona

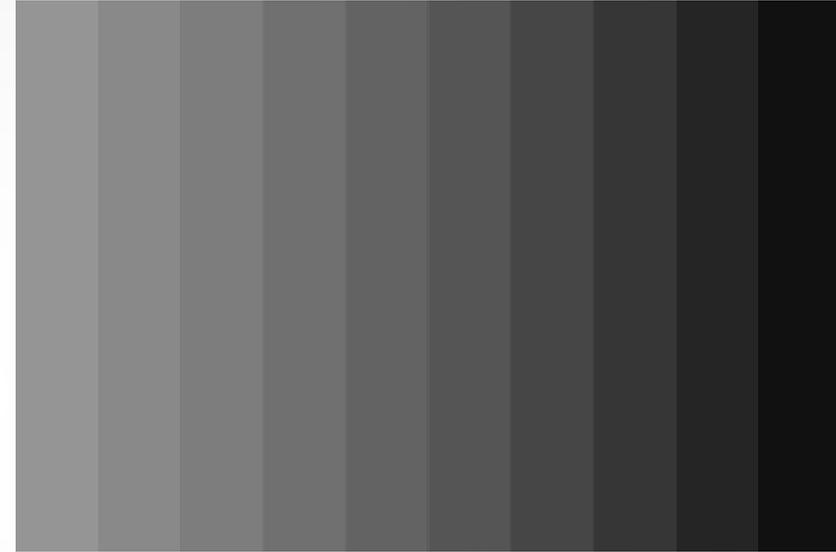




Question de nuance...



Transmission gouttelettes ou air ?



Transmission gouttelettes ~~ou~~ air
et

=> Transmission respiratoire à plus ou moins longue portée



Les précautions post covid vues par les experts internationaux

1 - Sortir de la dichotomie Air/Gouttelettes

**2 - Baser l'approche de prévention
sur une analyse de risque**

Mise à jour des recommandations de 2013



En prenant en compte

- Le **continuum des particules respiratoires** excrétées et leur **caractère infectieux**
 - L'**évolution des particules respiratoires** une fois excrétées
 - Les caractéristiques intrinsèques des **microorganismes** conditionnant leur **transmissibilité**
 - Les caractéristiques liées à la **pathologie** et à l'**hôte émetteur** (y compris le type de soins prodigué) conditionnant à la fois la **transmissibilité** et la **transmission**
 - Les caractéristiques liées à l'**environnement** conditionnant la **transmissibilité** et la **transmission**
 - Les caractéristiques de l'**hôte récepteur/exposé** conditionnant sa susceptibilité à l'infection
- ⇒ **Matrice de risque pour la mise en place des mesures de préventions appropriées**



Composition du groupe de travail

Coordination

Yolène Carré, infirmière en hygiène, CHU de Bordeaux

Olivia Keita-Perse, praticien en hygiène, CH Princesse de Grace, Monaco

Sara Romano-Bertrand, maître de conférences des universités - praticien en hygiène, CHU Montpellier

Membres : 25 participants, multidisciplinaire, représentant de nombreuses sociétés savantes et instituts (SFM, SPILF, SPLF, SRLF, SFAR, SFP, INRS, CLAT, ASPEC)

Ludwig-Serge Aho-Glélé
Marie-Cécile Bayeux-Dunglas
Naïma Berthol
Claire Andréjak
François-Xavier Blanc
Matthieu Boisson
Lydia Bourouiba
Myriam Bouslama
Cédric Dananché
Florence Depaix
Sandra Fournier
Philippe Fraisse
Pierre Frange

Delphine Hilliquin
Thierry Lavigne
Stéphane Ortu
Pierre Parneix
Romain Pimpie
Kevin Roger
Anne-Marie Rogues
Benoit Semin
Loic Simon
Benjamin Sutter
Yacine Tandjaoui-Lambiotte



Champ des recommandations : prévention de la transmission respiratoire inter-humaine

Recommandations pour la pratique clinique – *Base méthodologique pour la réalisation en France* publié par la Haute Autorité de santé (HAS) en 2010

Elle repose d'une part, sur **l'analyse et la synthèse critiques de la littérature médicale** disponible et d'autre part, sur **l'avis d'un groupe multidisciplinaire de professionnels** concernés par le thème des recommandations.

La méthode RPC a été choisie car :

- le **thème à traiter est vaste et se décline en de nombreuses questions et sous-questions**. La rédaction des recommandations repose sur un travail prolongé ;
- le travail consiste à faire une **synthèse de données multiples et dispersées** et non pas à résoudre une controverse.

Les recommandations seront cotées et une phase de relecture est prévue.

De nouveaux éléments pour une meilleure compréhension

Transmissibilité et les modes de transmission dépendent de multiples facteurs

- génération et l'excrétion de particules infectieuses : particules générées de tailles différentes/vitesse d'émission
- les conditions environnementales (température, hygrométrie, ventilation, UV, etc...)
- le pathogène (virulence, dose infectante, survie dans l'environnement, stabilité, cibles cellulaires, etc...)
- l'individu infecté (stade de la maladie, excrétion du pathogène (et donc sa présence dans les voies aériennes supérieures et/ou inférieures), immunité préexistante, etc...)
- les caractéristiques de l'individu récepteur (immunité vis-à-vis de la maladie, immunocompétence, etc...)



Les questions abordées

I. Doit-on sortir de la dichotomie air/gouttelette et parler plutôt d'un continuum ?

I.A. Quelle nouvelle terminologie adopter pour décrire la transmission par voie respiratoire ?

I.B. Caractéristiques physiques des particules exhalées et besoin de standardisation des mesures

I.C. Physique de l'émission respiratoire et sa portée.

II. Peut-on quantifier le nombre/taille de particules qui atteignent leurs cellules cibles dans une situation donnée ?

II.A. Quelle quantité et type de particules émises et à quelle distance ?

II.B. Peut-on quantifier la quantité de particules inhalées?

II.C. Peut-on en inférer un risque relatif de contamination ?

III. Quels sont les facteurs physiologiques/infectieux et environnementaux qui influencent la transmission des agents pathogènes ?

III.A. Facteurs liés au pathogène

III.B. Facteurs liés à l'hôte infecté et à la maladie

III.C. Facteurs liés à l'hôte récepteur/exposé

III.D. Facteurs environnementaux

IV. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire

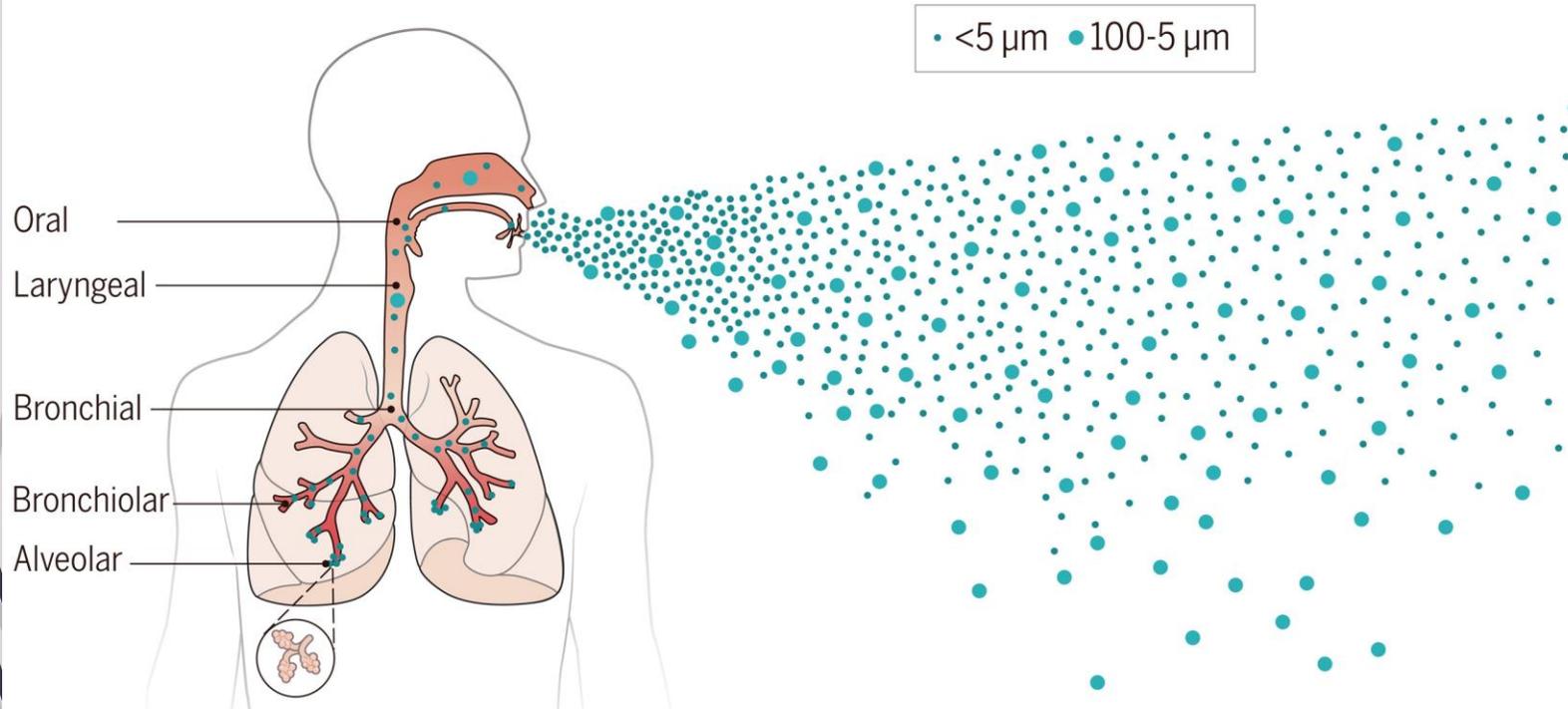
Le continuum de la transmission respiratoire



Phase 1

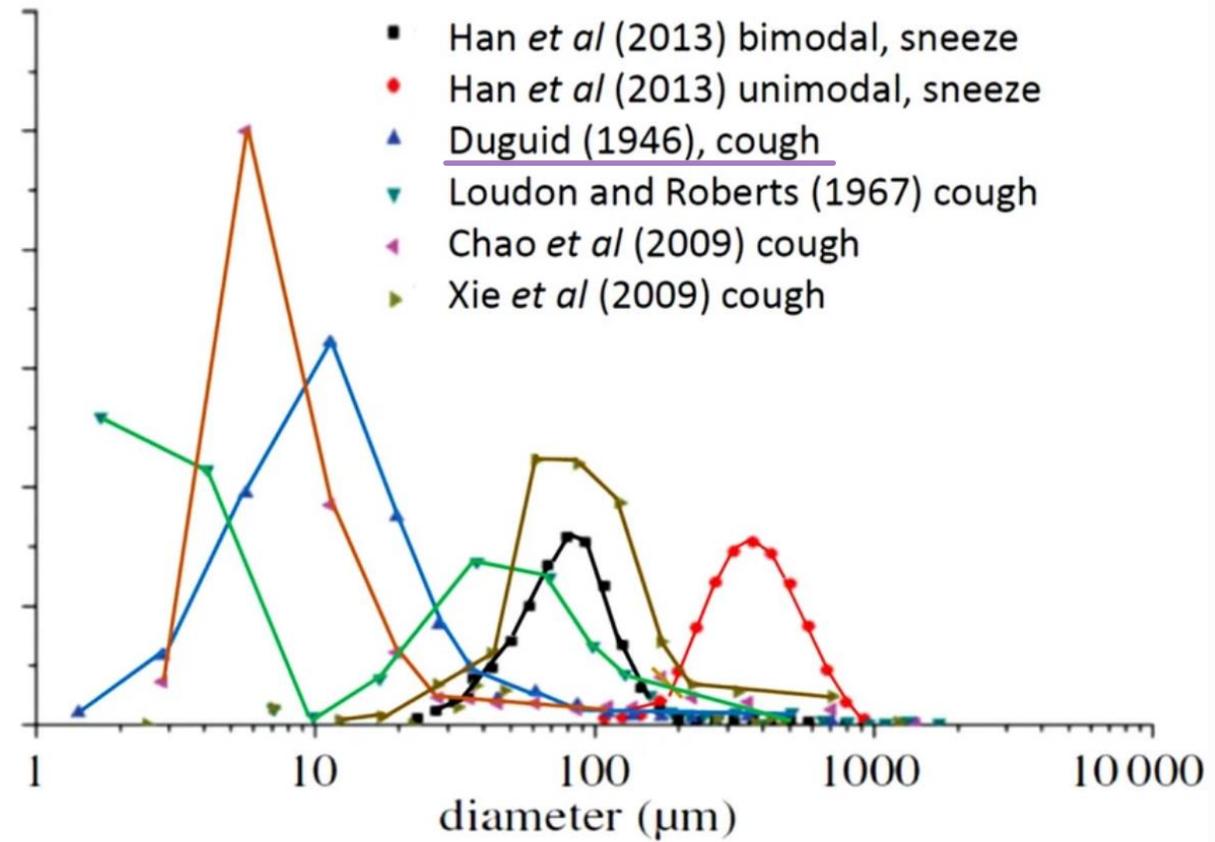
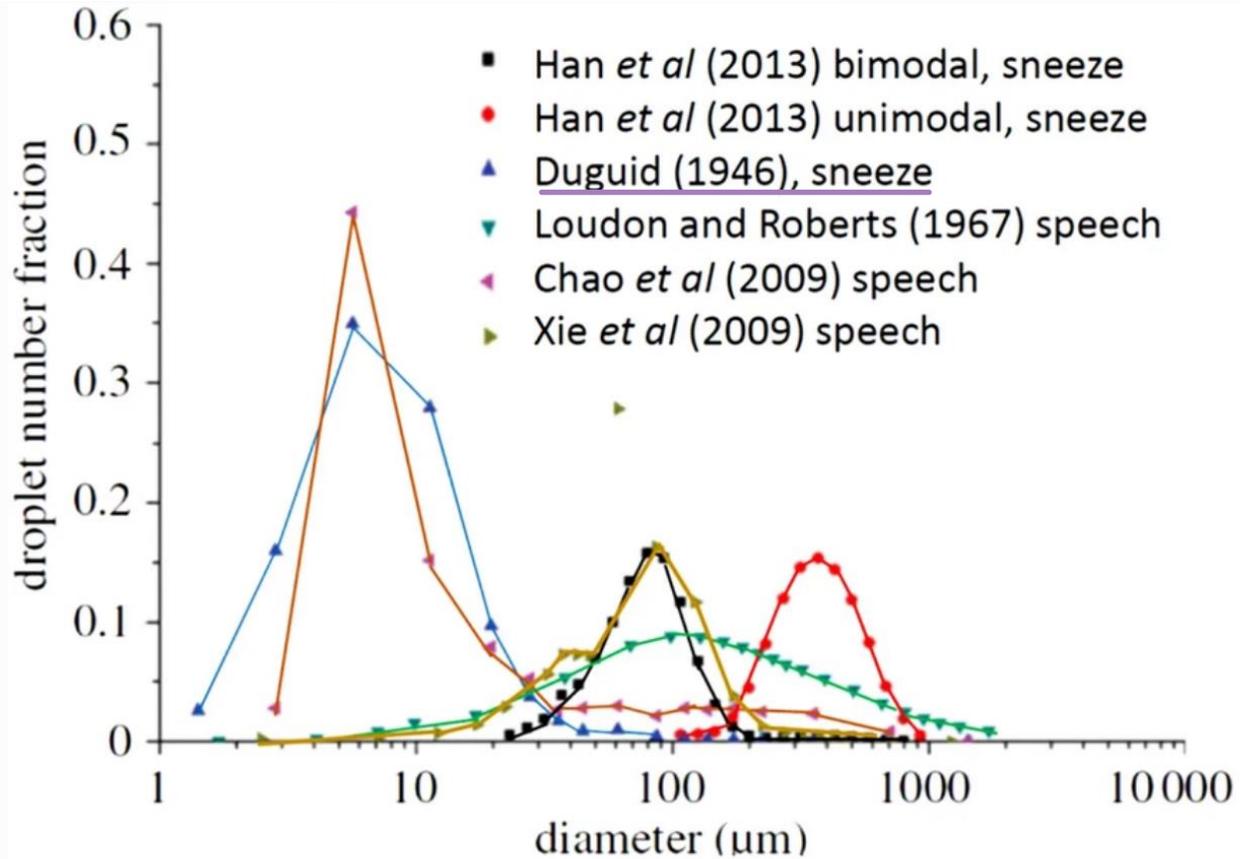
Generation and exhalation

- Generation mechanisms
- Viral load at generation sites
- Size distribution of exhaled aerosols
- Number of virions in aerosol



Dr Olivia KEITA-PERSE/Journée CéPIAS Bron-Mars 2024

Le continuum de la transmission respiratoire



(adapted from Han et al. [2013](#))

Comparison between the size distributions of the droplets emitted by sneeze and speech (left) or sneeze and cough (right) as measured by different authors

Le continuum de la transmission respiratoire

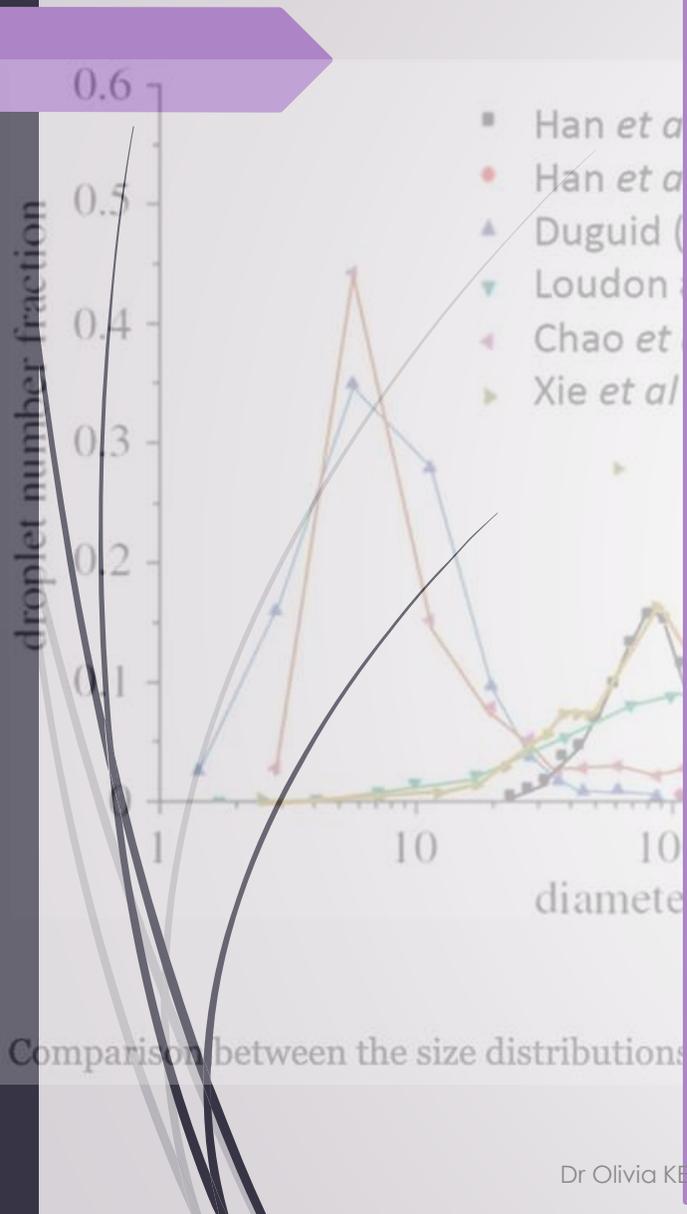
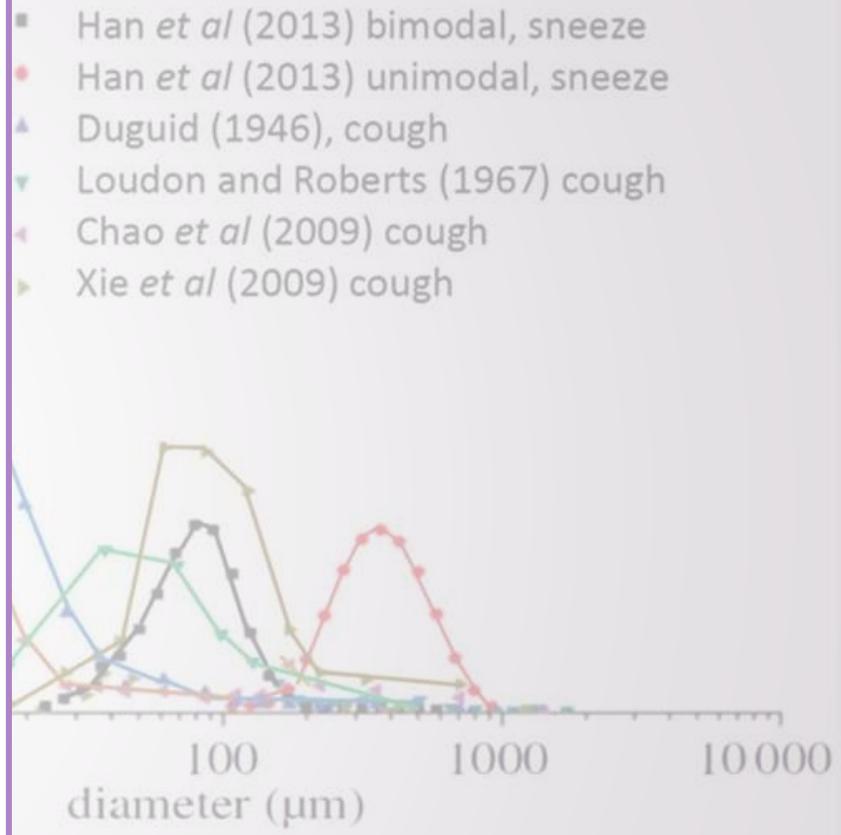


Table 1. The size distribution of the larger droplets

Showing for each type of expiratory activity the diameters of 3000 droplets calculated as half the measured diameters of the stain-marks found on celluloid slides exposed a few inches in front of the mouth.

Diameter in μ	Sneezes	Coughs with mouth 'closed'	Coughs with mouth open	Speaking loudly
0-5	0	0	0	0
5-10	36	24	8	20
10-15	94	119	39	84
15-20	267	337	127	200
20-25	312	346	189	224
25-50	807	767	577	597
50-75	593	468	593	531
75-100	260	285	341	352
100-125	144	160	231	260
125-150	105	125	202	214
150-200	115	115	253	179
200-250	82	96	165	99
250-500	118	113	213	197
500-1000	59	40	52	41
1000-2000	8	5	10	2



(adapted from Han et al. 2013)

and cough (right) as measured by different authors

Dr Olivia KEITA-PERSE / Journée CéPIAS Bron-Mars 2024

Le continuum de la transmission respiratoire



Phase 1

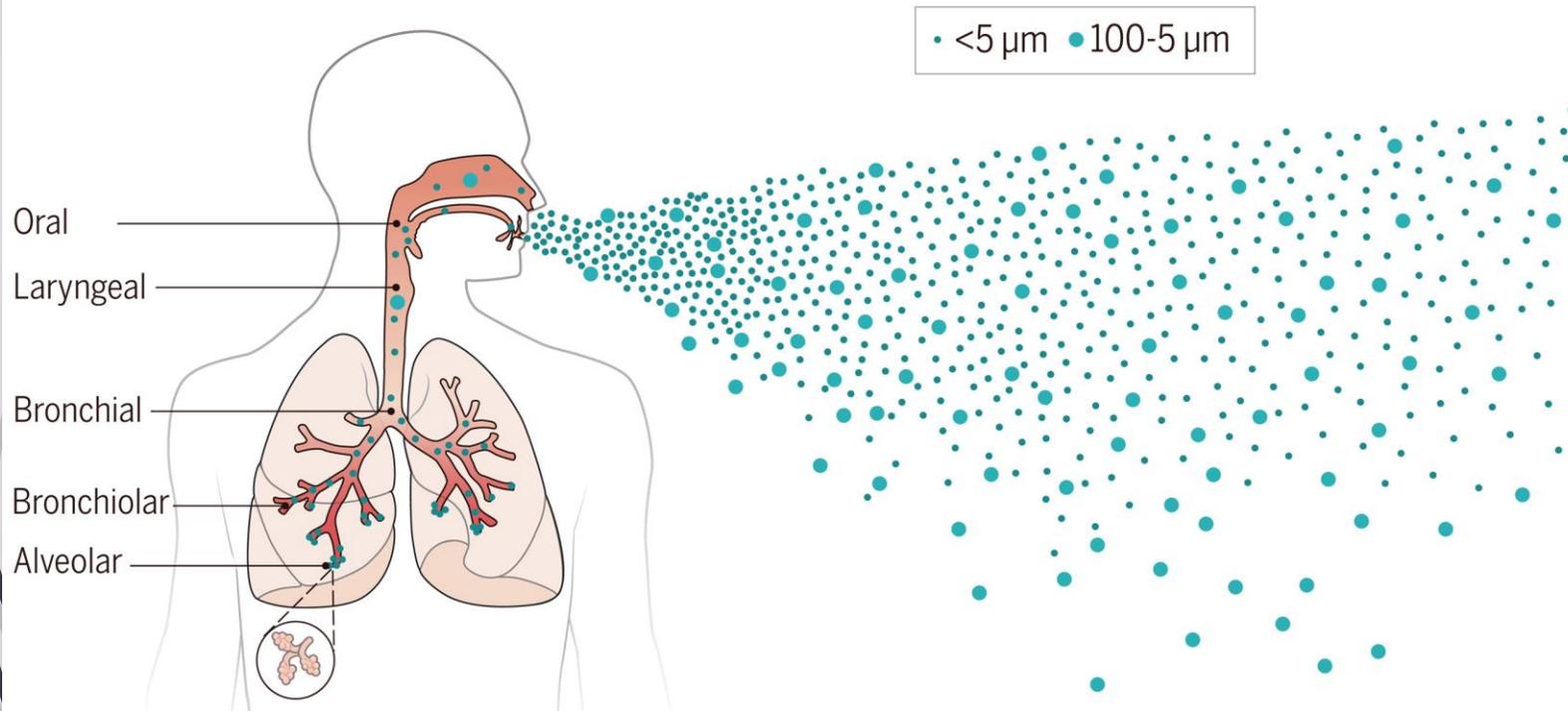
Generation and exhalation

- Generation mechanisms
- Viral load at generation sites
- Size distribution of exhaled aerosols
- Number of virions in aerosol

Phase 2

Transport

- Settling velocity and residence time in air
- Size change during transport
- Persistence of viruses in aerosols
- Environmental factors: temperature, humidity, airflow and ventilation, UV radiation



Le continuum de la transmission respiratoire



Phase 1

Generation and exhalation

- Generation mechanisms
- Viral load at generation sites
- Size distribution of exhaled aerosols
- Number of virions in aerosol

Phase 2

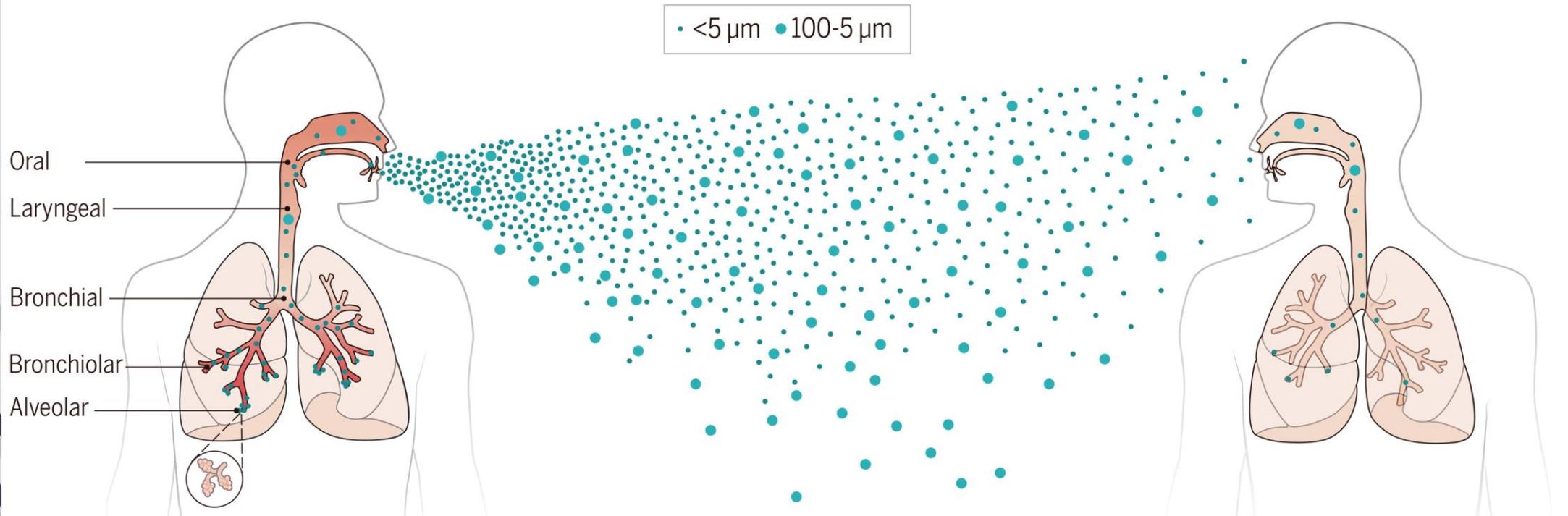
Transport

- Settling velocity and residence time in air
- Size change during transport
- Persistence of viruses in aerosols
- Environmental factors: temperature, humidity, airflow and ventilation, UV radiation

Phase 3

Inhalation, deposition and infection

- Size distribution of inhalable aerosols
- Deposition mechanisms
- Size-dependent deposition sites
- Deposition site susceptibility



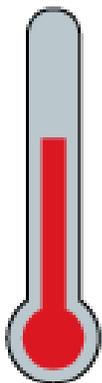
Le continuum de la transmission respiratoire



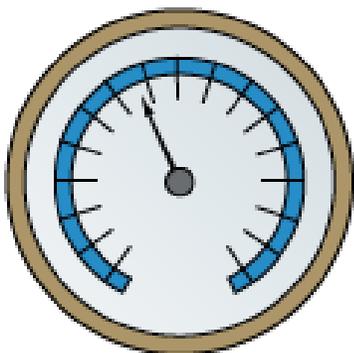
Environmental determinants of virus survival and transmission

The following environmental factors could influence virus survival, host susceptibility and human behaviour:

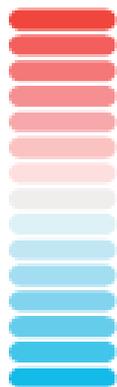
Temperature



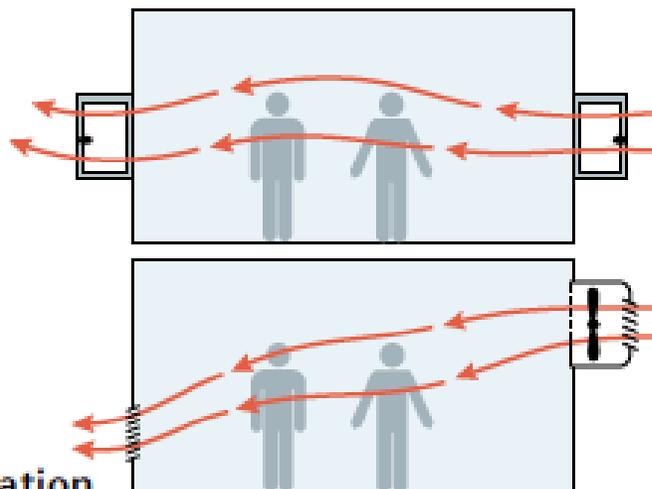
Humidity



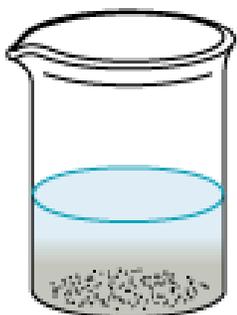
pH



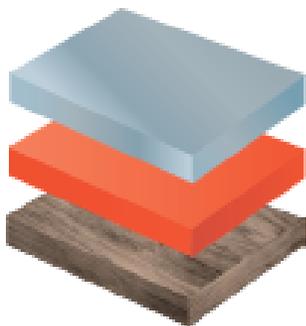
Ventilation and airflow



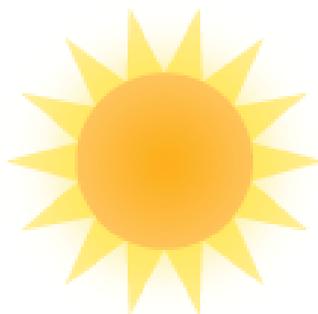
Salinity



Surface materials



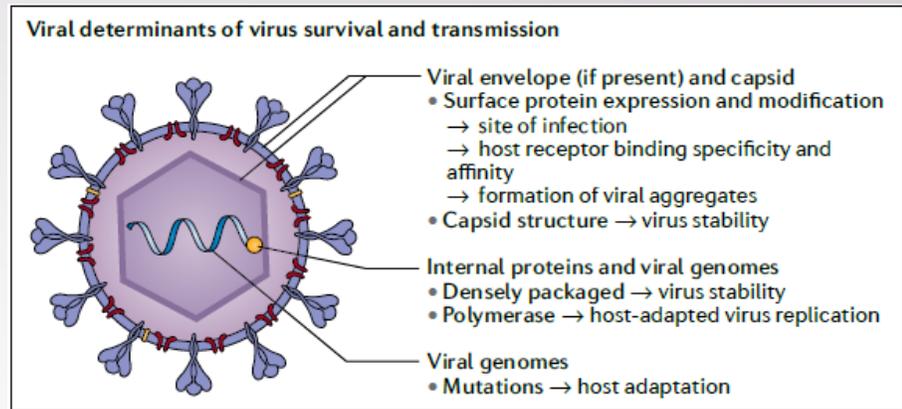
Ultraviolet radiation



S'ajoutent à la complexité du continuum particulaire de l'excrétion respiratoire



Le Pathogène (1)



Déterminants virologiques

- ▶ Virus : transmissibilité conditionnée par composition et structure, (enveloppe, capside, protéines, son génome)
 - ▶ La surface virale
 - ▶ Détermine le site d'infection (SARS-CoV 2 historique vs omicron, affinité différente pour les récepteurs)
 - ▶ Détermine l'affinité du virus et de sa (ses) cible(s) → conditionne la dose infectante
 - ▶ La capside et la présence d'une enveloppe (stabilité et résistance dans l'environnement)
 - ▶ Les protéines internes (stabilité, réplication adaptable à l'hôte)
 - ▶ Le génome
 - ▶ Les mutations entraînent/conditionnent l'adaptation à l'hôte

NB: Virus dépendant de l'hôte +++ (≠ bactéries réservoirs/niches environnementaux)

Le Pathogène (2)

Déterminants bactériologiques

- ▶ Exemple du méningocoque
 - ▶ Capsule polysidique
 - ▶ Capacité d'échappement au système immunitaire (atteint et franchit barrière encéphalo-épithéliale)
 - ▶ détermine son sérotype (13 sérotypes dans le monde)
 - ▶ Antigènes polysaccharidiques capsulaires différencient les sérotypes A, B, C, X, Y, Z, 29-E, et W-135
 - ▶ Sérotypes A, B et C sont associés aux épidémies
 - ▶ Certaines souches ou clones : accroissement de la virulence et du potentiel épidémique (Sérotype A, III-1 ; sérotype B, ET-5) et peuvent être identifiés par sous-typage)

Le Pathogène (3)

Déterminants épidémiologiques

► R et R0:

- Taux de reproduction R : nombre moyen de transmissions effectives dans une population à partir d'un seul individu infecté
- R0 : taux de reproduction de base = R au début de l'épidémie, reflète la capacité d'un agent pathogène à être transmis dans une population susceptible

💣 **R0 ne peut résumer à lui seul le mode préférentiel de transmission**

- Tuberculose, R0 de 0,27 à 4,3 ⇔ voie aérienne
- COVID-19, R0 de 1,4 à 8,9 ⇔ gouttelettes

Le Pathogène (4)

Déterminants épidémiologiques

- ▶ Taux d'attaque secondaire
 - ▶ Proportion de personnes infectées parmi les hôtes susceptibles ayant été en contact avec le premier cas (risque)
 - ▶ Marqueur de la transmissibilité d'un agent pathogène à l'intérieur d'un groupe vivant ensemble (famille, collectivité)
 - ▶ Variabilité : incertitude de mesure de la susceptibilité des sujets contacts, de la nature et de la durée du ou des contacts, du stade de la maladie du sujet index (asymptomatique ou non)

Exemple méningocoque

- ▶ Entourage domiciliaire d'un patient, taux d'attaque secondaire \approx 4 cas pour 1000, soit risque X500 à 800 fois dans une famille (OMS)

Le pathogène (5)

Dose infectante et concentration du pathogène dans le liquide biologique

- ▶ La dose infectante n'est pas connue pour tous les agents pathogènes
- ▶ Peut-être diminuée par propension d'un aérosol à se déposer par exemple dans le tractus respiratoire haut ou bas
 - ▶ Volontaires dans une étude expérimentale : l'infection des sujets par l'inhalation de bioaérosols nécessitait une dose infectieuse moins importante de virus influenza ou d'adénovirus que de rhinovirus
 - ▶ Virus influenza : risque de fièvre > si Inhalation vs si inoculation intranasale

Alford RH. Human Influenza Resulting from Aerosol Inhalation. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. 1966;122(3):800-804

Couch RB. Effect of route of inoculation on experimental respiratory viral disease in volunteers and evidence for airborne transmission. Bacteriol Rev. 1966 Sep;30(3):517-29

Les déterminants de la contagiosité, de la susceptibilité et de la transmission

Facteurs influençant la contagiosité de l'émetteur

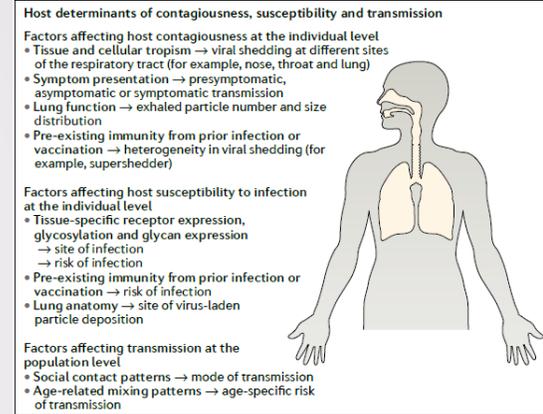
- Tropisme cellule/tissu chez l'émetteur (excrétion virale ≠)
- Caractère symptomatique ou non
- Fonction pulmonaire
- Immunité préexistante chez l'émetteur

Facteurs influençant la susceptibilité de l'hôte

- Récepteurs spécifiques tissulaires
- Immunité préexistante chez l'hôte
- Anatomie du poumon

Facteurs influençant la transmission collective

- Comportements sociaux
- Composition de la population en termes d'âge par exemple





Comment envisager la prévention ?

La prévention à l'échelle individuelle: les leçons de la pandémie de COVID-19

- ▶ Le port d'un masque uniquement par les personnes susceptibles est insuffisant
 - ▶ Importance +++ du contrôle à la source
- ▶ FFP2 bien porté plus protecteur que le masque chirurgical
 - ▶ mais problème de confort et de tolérance
- ▶ **Au-delà de la protection respiratoire**
 - ▶ Mesures barrières dont distanciation physique et hygiène des mains
 - ▶ Mesures environnementales (aération, traitement d'air, entretien de l'environnement...)

Lors des soins, toutes les mesures de protection doivent être respectées concomitamment et pas uniquement la protection respiratoire (protection oculaire, hygiène des mains, entretien de l'environnement...)

La prévention à l'échelle individuelle: éléments d'évaluation/choix des APR

- ▶ Un APR doit être adapté aux risques encourus lors de l'activité et aux conditions de travail
- ▶ Le confort et l'acceptabilité : proposition d'un cahier des charges (travail Philippe Fraisse)
- ▶ La compatibilité avec d'autres équipements (lunettes)
- ▶ L'ajustement au visage (protection ≈ étanchéité au niveau du visage)
 - ▶ Plusieurs tailles
 - ▶ Morphologie de visage : essai d'ajustement
- ▶ L'efficacité au moment du soin (fit check)

(fit test)

Limiter l'émission des particules infectantes à la source

Particules exhalées – masque à usage médical

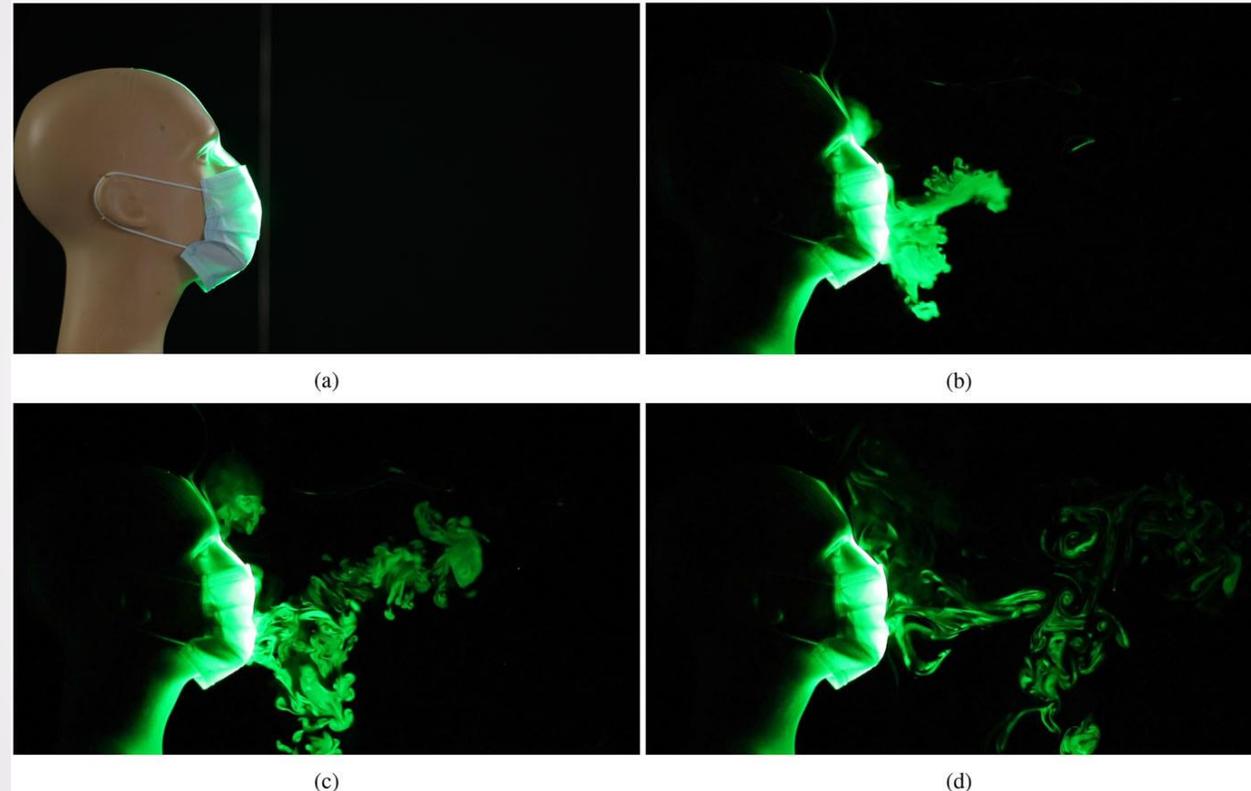


FIG. 7. Visualization of droplet spread when a surgical mask (brand "B") is used to block the jet. (a) Prior to emulating a cough/sneeze, (b) 0.5 s after the initiation of the emulated cough, (c) after 0.83 s, and (d) after 3.13 s. Multimedia view: <https://doi.org/10.1063/5.0022968.610.1063/5.0022968.6>

Limiter l'émission des particules infectantes à la source

Particules exhalées – APR N95

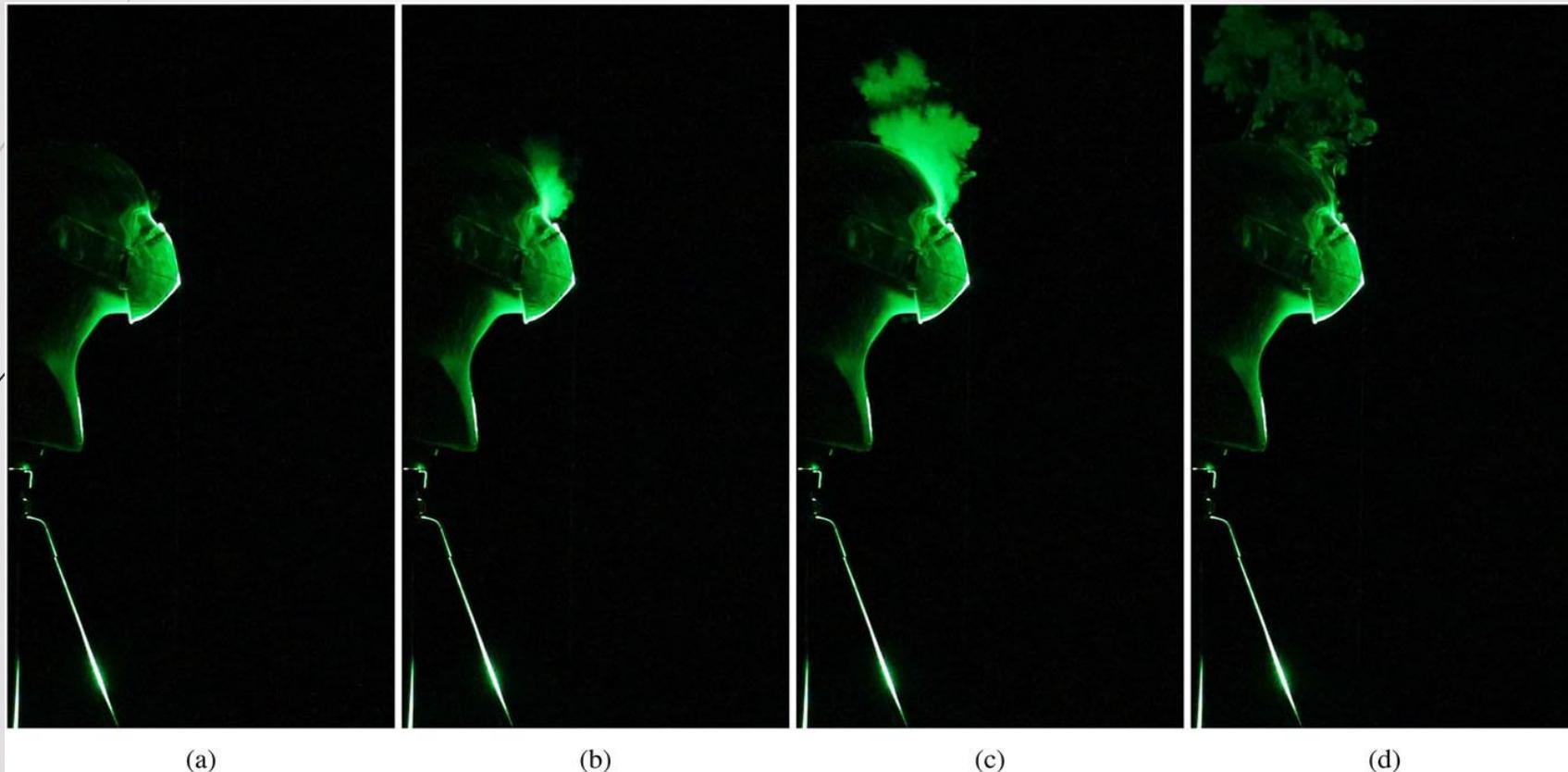


FIG. 5. Visualization of droplet spread when a regular N95-rated mask is used to impede the jet. (a) Prior to emulating a cough/sneeze, (b) 0.13 s after the initiation of the emulated cough, (c) after 0.33 s, and (d) after 0.83 s. Multimedia view: <https://doi.org/10.1063/5.0022968.410.1063/5.0022968.4>

Futures recommandations SF2H 2024



**Pour certaines pathologies,
et les patients qui le supportent,
Il ne faut pas s'interdire
de proposer un FFP2 au patient
hors de sa chambre après
explication du fit check**

Mesures collectives: Les effets bénéfiques de la Ventilation

Effet de la ventilation sur la transmission des pathologies aéroportée

- Concentrations de CO₂ <1000 ppm : ↓ 97% incidence de la tuberculose chez les 1165 contacts de 27 cas (*Chun-Ru Du et al., 2020*)
- Taux d'incidence de maladies respiratoires aiguës dans 1 bâtiment bien ventilé 0.70 vs 2.83/personne-année bâtiment mal ventilé (*S. Zhu et al., 2020*)
 - CO₂ mesuré à environ 1 200 ppm vs 2 500 ppm de CO₂
 - Etudiants d'un même campus universitaire, caractéristiques épidémiologiques comparables (âge, consommation de tabac, asthme, IMC, statut vaccinal vis-à-vis de la grippe)
- Clusters de COVID dans 316 salles de classe avec VMC : 74% inférieurs vs 125 salles de classe avec ventilation naturelle seule (*G. Buonanno et al, 2022*)
 - Taux de renouvellement d'air 1.4L/s à 14L/s par élève vs < 1L/s par élève
 - Quels que soient la province, le nombre d'élèves par classe ou le type de classe

Qualité de la ventilation

► Comment la définir ?

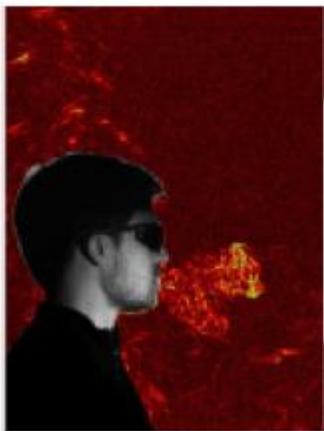
► Critères

- Apport d'air neuf/Renouvellement d'air suffisant +++
- Optimisation (gestion) des flux d'air (extraction ou captation à la source)
- Critères HCSP
- Selon exigences ASHRAE/CDC

► Comment la mesurer ?

Le dioxyde de carbone (CO₂) est une molécule produite par l'organisme humain au cours de la respiration. Sa concentration dans l'air intérieur des bâtiments peut être comprise entre 400 et 5000 ppm environ. En l'absence de source de combustion, elle est liée à l'occupation humaine et au renouvellement d'air

- Sur le terrain en conditions d'utilisation : capteurs de CO₂



Bhagat, JFM, 2020

La prévention à l'échelle d'un établissement de soins

- ▶ Système de ventilation et traitement d'air
 - ▶ Avec adaptabilité selon l'épidémiologie (périodes épidémiques)
 - ▶ Captation de l'émission à la source (compliqué...type de masques...)
 - ▶ Exigences architecturales (conception, construction, réhabilitation, aménagements...)
 - ▶ Chambres individuelles
 - ▶ Ouverture possible fenêtres, ne pas dégrader l'état antérieur (calfeutrage des fenêtres)
 - ▶ Eviter au maximum les pièces borgnes partagées (bureaux, salles de soins, etc.)
 - ▶ Mesures organisationnelles
 - ▶ En contexte d'épidémie
 - ▶ En présence de patients infectés
- } (cohorting...)

Futures recommandations SF2H 2024



**Une qualité de l'air intérieur
dégradée ou inconnue
accroît le risque de
Transmission par voie respiratoire**

Futures recommandations SF2H 2024



**La qualité de l'air intérieur
d'un établissement de santé
doit être
connue et maîtrisée**



Les grands principes de ces nouvelles recommandations

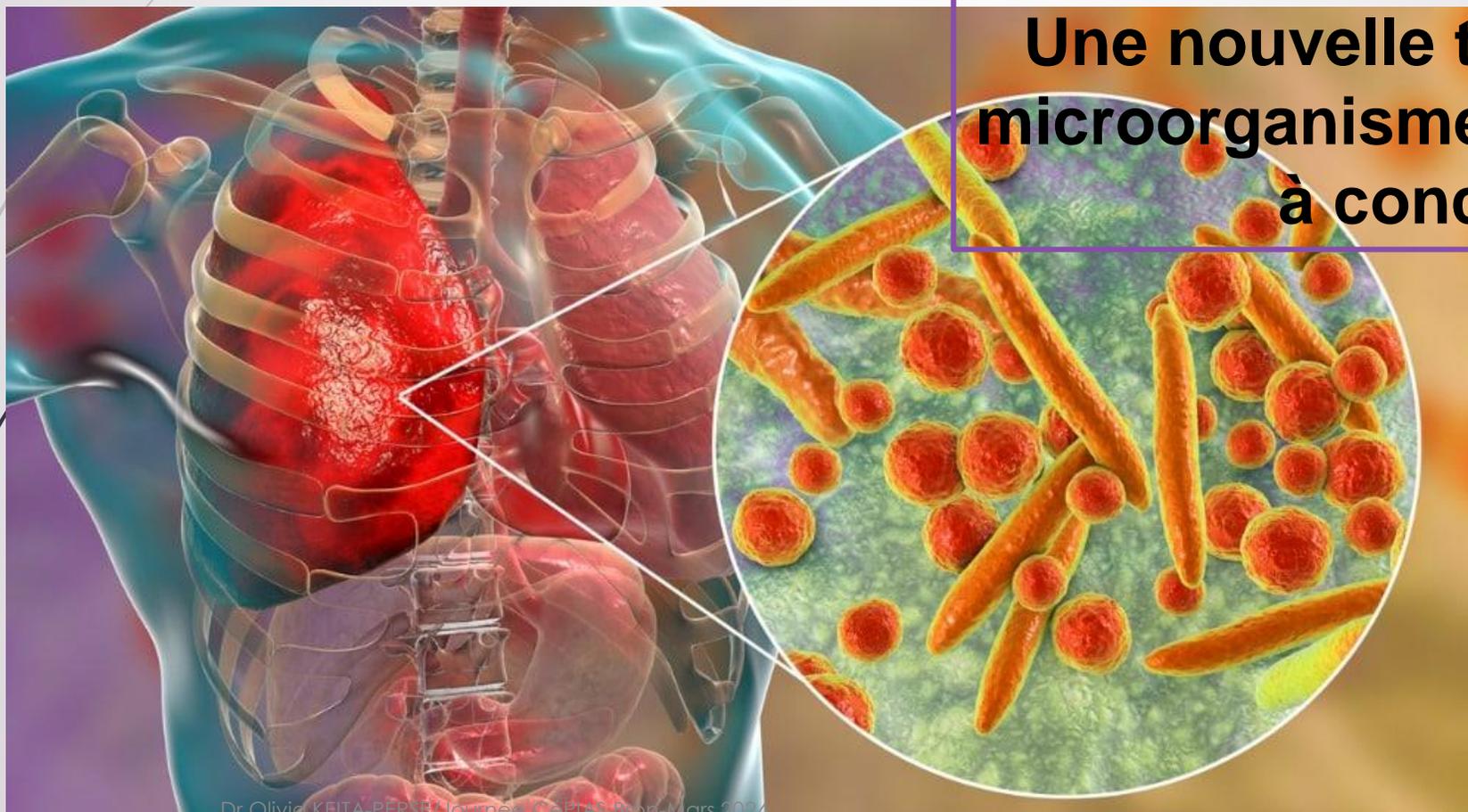
- ▶ On ne parlera plus de « Air-gouttelettes »: Transmission RESPIRATOIRE
- ▶ On s'appuiera sur une analyse de risques: matrice de risques

Analyse de risque: matrice (1)

- ▶ Qualité de la Ventilation
- ▶ Type de microorganisme (gravité de l'infection)
 - ▶ Persistance environnementale (dans l'air)/survie surfaces
 - ▶ Transmissibilité R0/Re/taux d'attaque/dose infectieuse
 - ▶ Dangérosité/gravité
- ▶ Gestes effectués /Durée d'exposition (AGP)

Futures recommandations SF2H 2024

Une nouvelle typologie des microorganismes respiratoires à concevoir



Futures recommandations SF2H 2024

Un concept de matrice de risque pour sortir de la dichotomie

5x5 Matrice des risques

Niveau de risque

Probabilité	1	2	3	4	5
1	Faible 1	Faible 2	Faible 3	Moyen 4	Moyen 5
2	Faible 2	Moyen 4	Moyen 6	Élevé 8	Élevé 10
3	Faible 3	Moyen 6	Élevé 9	Élevé 12	Très élevé 15
4	Moyen 4	Élevé 8	Élevé 12	Élevé 16	Très élevé 20
5	Moyen 5	Élevé 10	Très élevé 15	Très élevé 20	Très élevé 25

- **Ventilation**
- **Exposition : combine durée x proximité x geste x symptomatologie**
- **Pathogène**

Selon la conformité de la ventilation

Risque faible

Mesures à mettre en œuvre

Risque intermédiaire

Mesures à mettre en œuvre

Risque élevé

Mesures à mettre en œuvre

(REB et situations
particulières)

Travail en cours

Analyse de risques: matrice

► Avantages

- Plus conforme à la physiopathologie de la transmission
- Modularité → selon le contexte spécifique d'un établissement/service de soins (contraintes architecturales, ventilation...)
- Evolution possible des modalités de prévention
 - Quand le risque diminue (exemples: REB, COVID et vaccination ...)
 - Quand les connaissances s'améliorent

► Inconvénients

- Peut sembler complexe et moins « maniable » → accompagnement +++ des hygiénistes sur le terrain

Quelques éléments du futur guide

- ▶ Tableau récapitulatif de la classification du microorganisme
 - ▶ Persistance environnementale
 - ▶ Transmissibilité (R_0 , R_e , Taux d'attaque, dose infectante, ...)
 - ▶ Dangereusité, gravité
- ▶ Critères de choix d'un appareil de protection respiratoire
- ▶ Cahier des charges pour l'achat d'un appareil mobile de traitement d'air
- ▶ Chapitres spécifiques Tuberculose
- ▶ **Recommandations « applicables » sans nécessité de posséder une thèse de sciences pour entrer dans la chambre du patient !!**

Conclusion

- ▶ Connaissances croissantes (et parfois récentes) sur la transmission respiratoire
 - ▶ La notion de continuum particulière de l'excrétion respiratoire
 - ▶ L'impact des caractéristiques intrinsèques du microorganisme, de la susceptibilité de l'hôte et des conditions environnementales dans la transmission
 - ▶ La possibilité d'une prévention efficace
- ▶ Challenge permanent : se détacher d'une vision trop simpliste d'un phénomène très complexe
- ▶ Protéger efficacement patients et soignants
 - ▶ Nouvelles exigences à l'échelon collectif
 - ▶ Plus d'adaptabilité à l'échelle individuelle