



Recommandations gouttelettes / air Où en est-on ?

Dr Sara Romano-Bertrand MCU-PH
*Equipe PHySE, UMR Hydrosiences, Université Montpellier
Département d'Hygiène Hospitalière, CHU Montpellier*

[@SRomanoBertrand](#)

A l'origine de la transmission respiratoire aéroportée...



Carl Flügge
(1847–1923)



Expérimentations sur la Tuberculose

⇒ contributions clés sur la transmission des maladies infectieuses

1. Mise en évidence de l'**excrétion respiratoire** comme voie de transmission
2. « **Gouttelettes** » de Flügge = toutes particules émises par voie respiratoire, indépendamment de leur taille et constitution finale (humides ou sèches)
Pouvant rester en suspension dans l'air plusieurs heures
3. Courants d'air contributifs dans la transmission
⇒ la prévention ne doit pas reposer uniquement sur la **distanciation physique** mais aussi sur l'**aération** et la **limitation des regroupements**
4. Notion de **dose infectante spécifique du pathogène**

A l'origine de la transmission respiratoire aéroportée...



William Wells
(1887–1963)



Physicien
pionnier de la dichotomie
air / gouttelettes

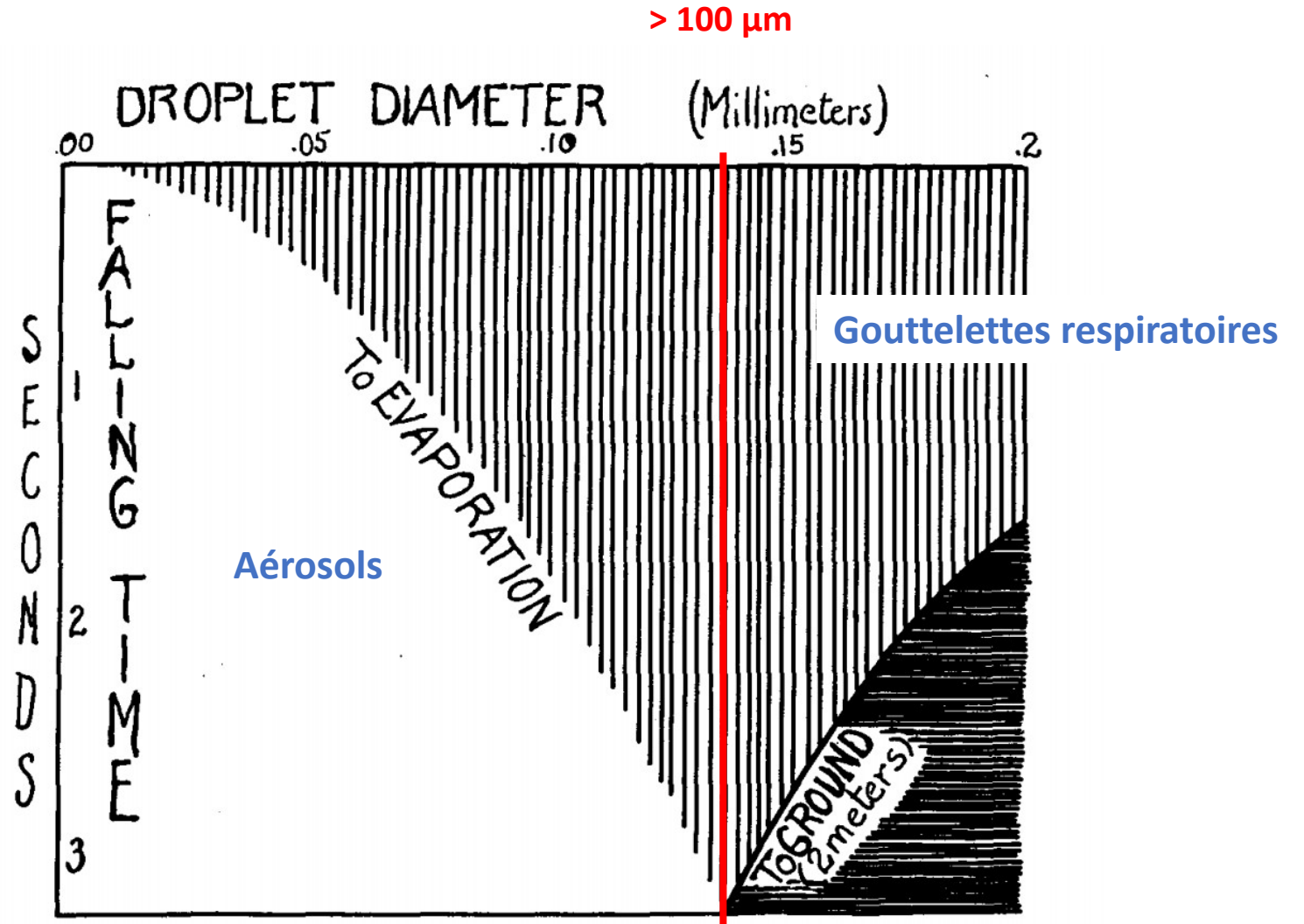


CHART 1. Falling times and evaporation times of droplets of varying diameter. (1934)

A l'origine de la transmission respiratoire aéroportée...



Spécialistes de Santé Publique et d'épidémiologie à l'origine de la création des CDC américains

Charles Chapin
(1856–1941)



Alexander Langmuir
(1910–1993)



Réfractaires à la notion de transmission aéroportée

Complexité pour communiquer des messages de prévention
⇒ trouver la juste balance entre l'explication de phénomènes nuancés et complexes et des mesures simples et applicables au quotidien

Doctrine de Santé Publique => donner des mesures applicables dans la vie quotidienne

Challenge toujours d'actualité dans le contexte de l'évolution des connaissances scientifiques mais aussi une perte d'informations historiques fondamentales soumises à une (re)découverte



RECOMMANDATIONS

HYGIENES

Recommandations nationales

Prévention de la transmission croisée par voie respiratoire : **Air ou Gouttelettes**

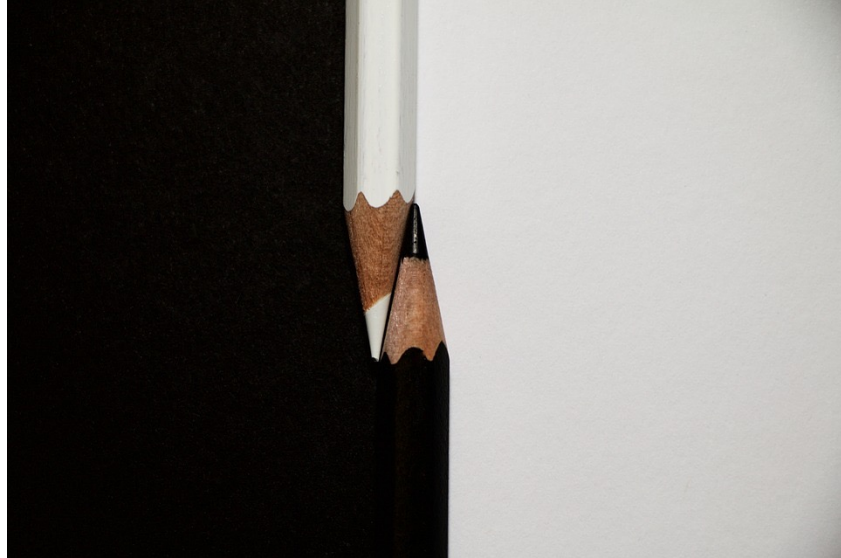
Recommandations
pour la pratique clinique (RPC)
Mars 2013



Recommandations en vigueur =
Guide SF2H « *Prévention de la transmission croisée par
voie respiratoire : AIR ou Gouttelettes* »
de 2013

En cours de réactualisation, en tirant les enseignements
de la crise COVID-19 !

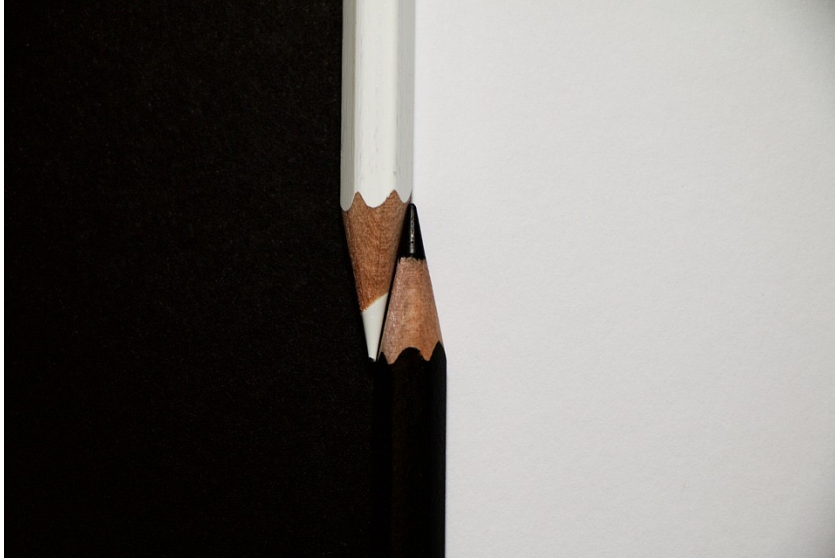




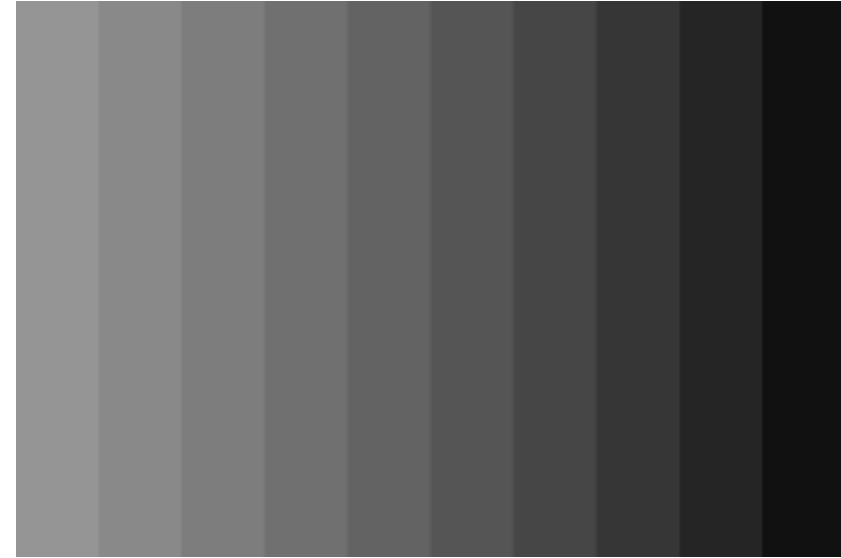
Transmission gouttelettes ou air ?



Question de nuance...



Transmission gouttelettes ou air ?



Transmission gouttelettes ~~ou~~ air
et

=> Transmission respiratoire à plus ou moins longue portée



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 Grâce, Monaco

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

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

Ludwig-Serge Aho-Glélé

Alexandre Baudet

Marie-Cécile Bayeux-Dunglas

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

Emmanuel Vanoli



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.

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. Une évaluation du risque par scénarios

V. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire

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. Une évaluation du risque par scénarios

V. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire

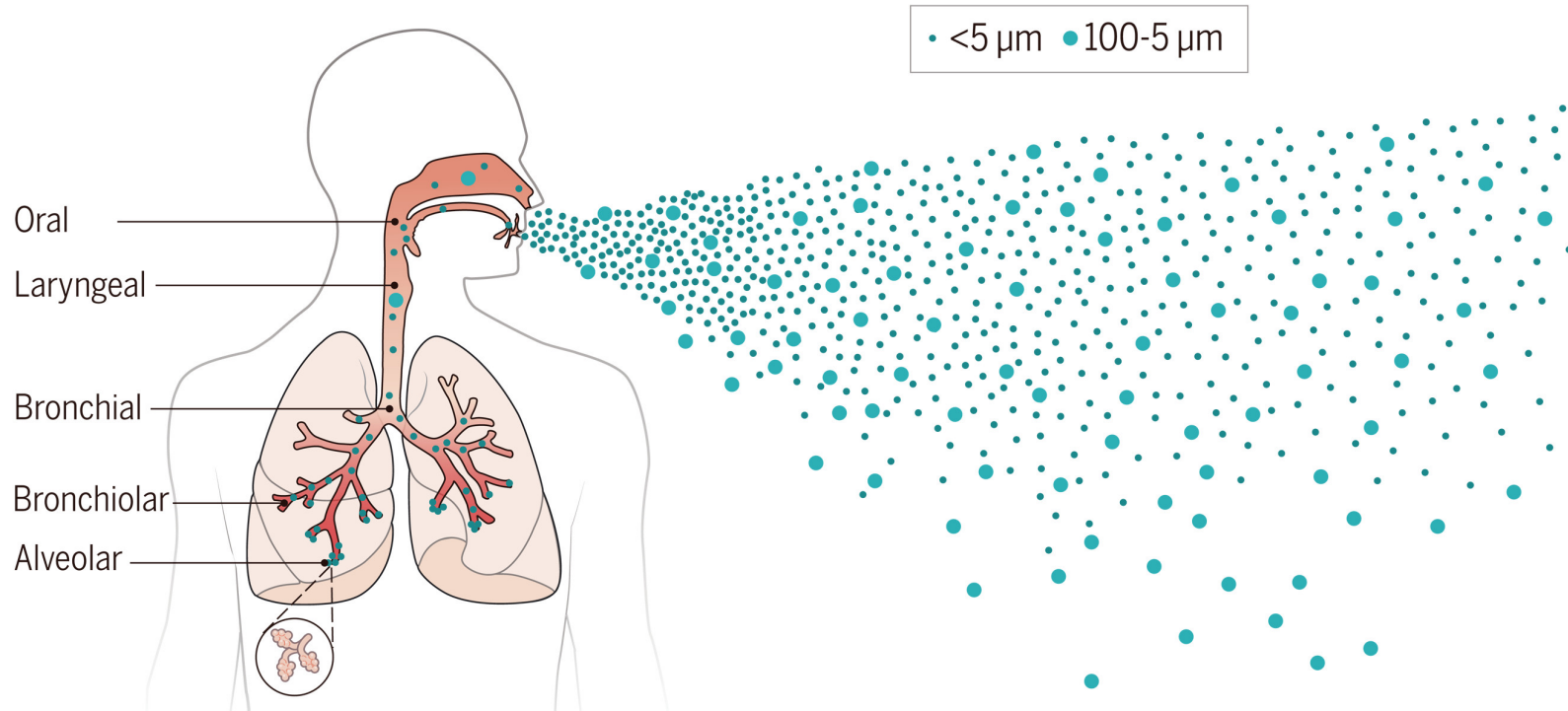
Le continuum de la transmission respiratoire



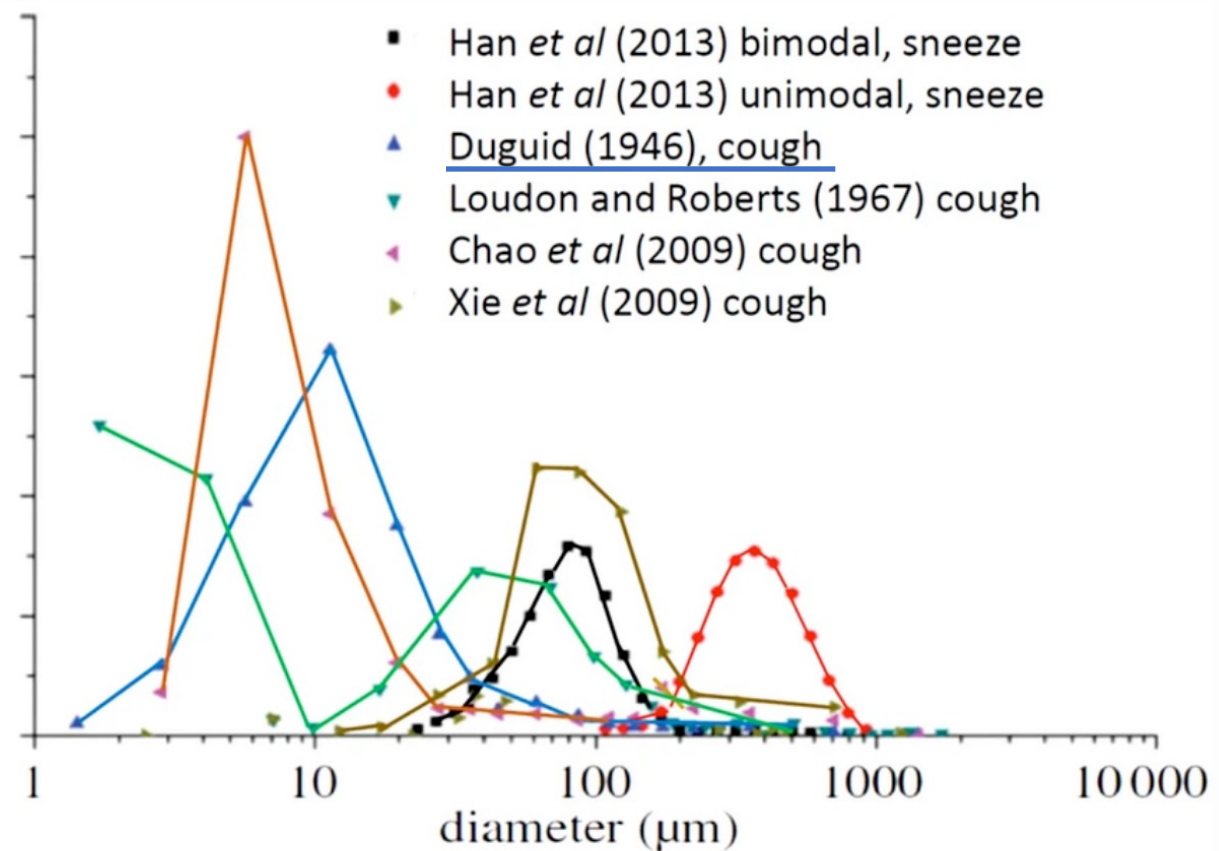
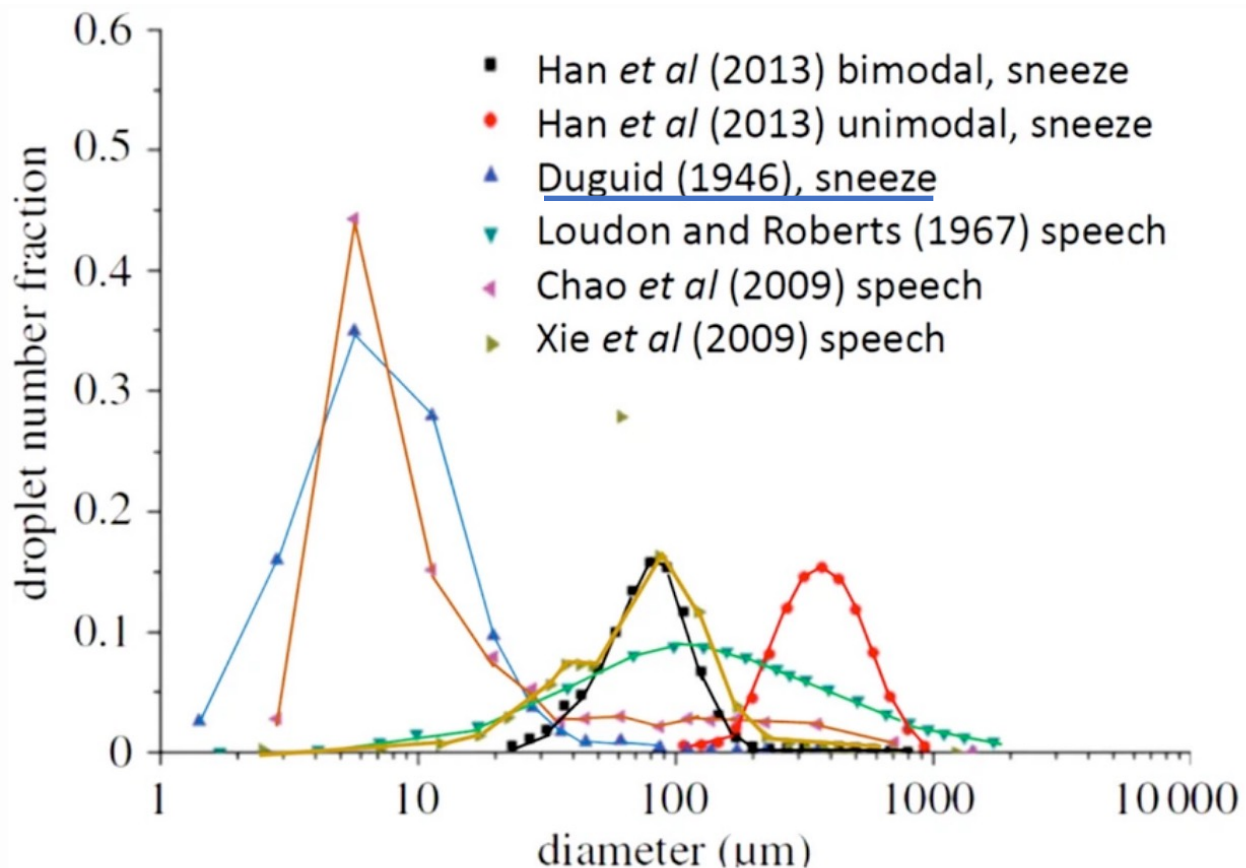
Phase 1

Generation and exhalation

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



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

Répartitions relatives des particules respiratoires selon leur taille en fonction de l'activité

Le continuum de la transmission respiratoire

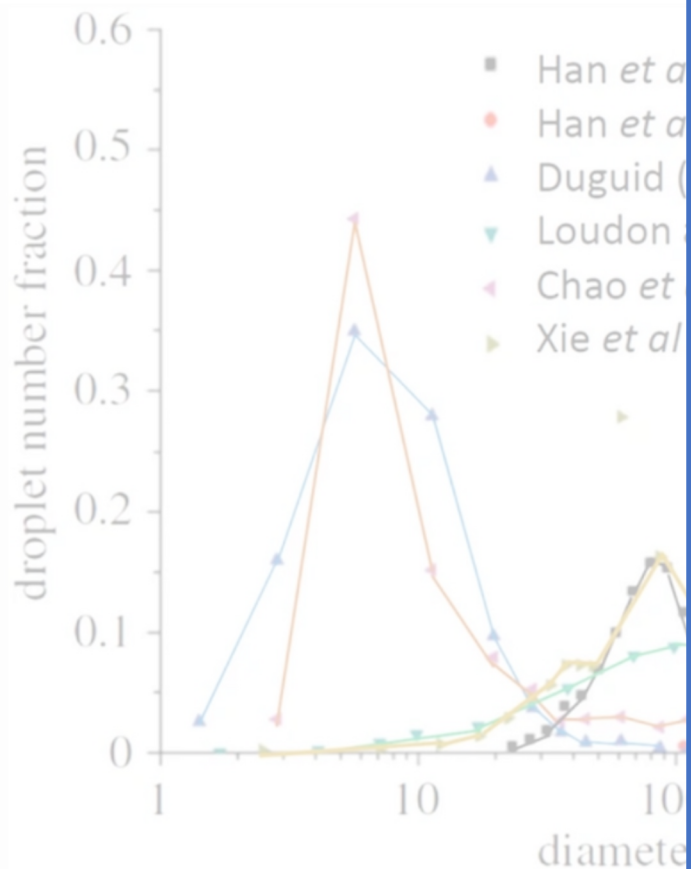
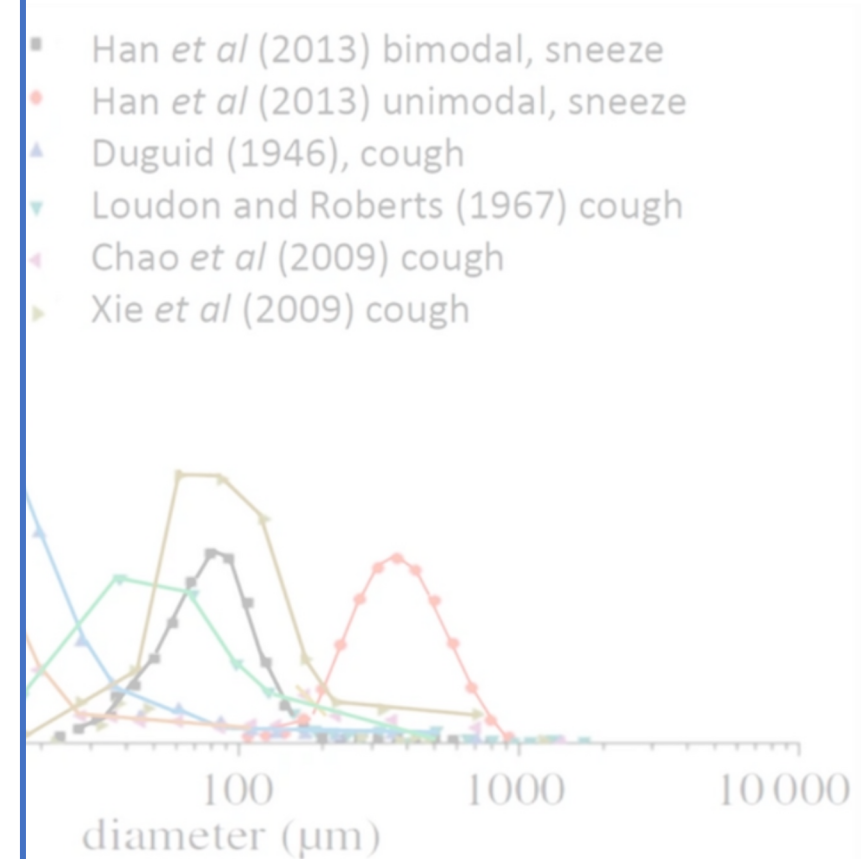


Table 1. The size distribution of the larger droplets

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](#))

Comparison between the size distributions

and cough (right) as measured by different authors

Le continuum de la transmission respiratoire



Phase 1



Phase 2

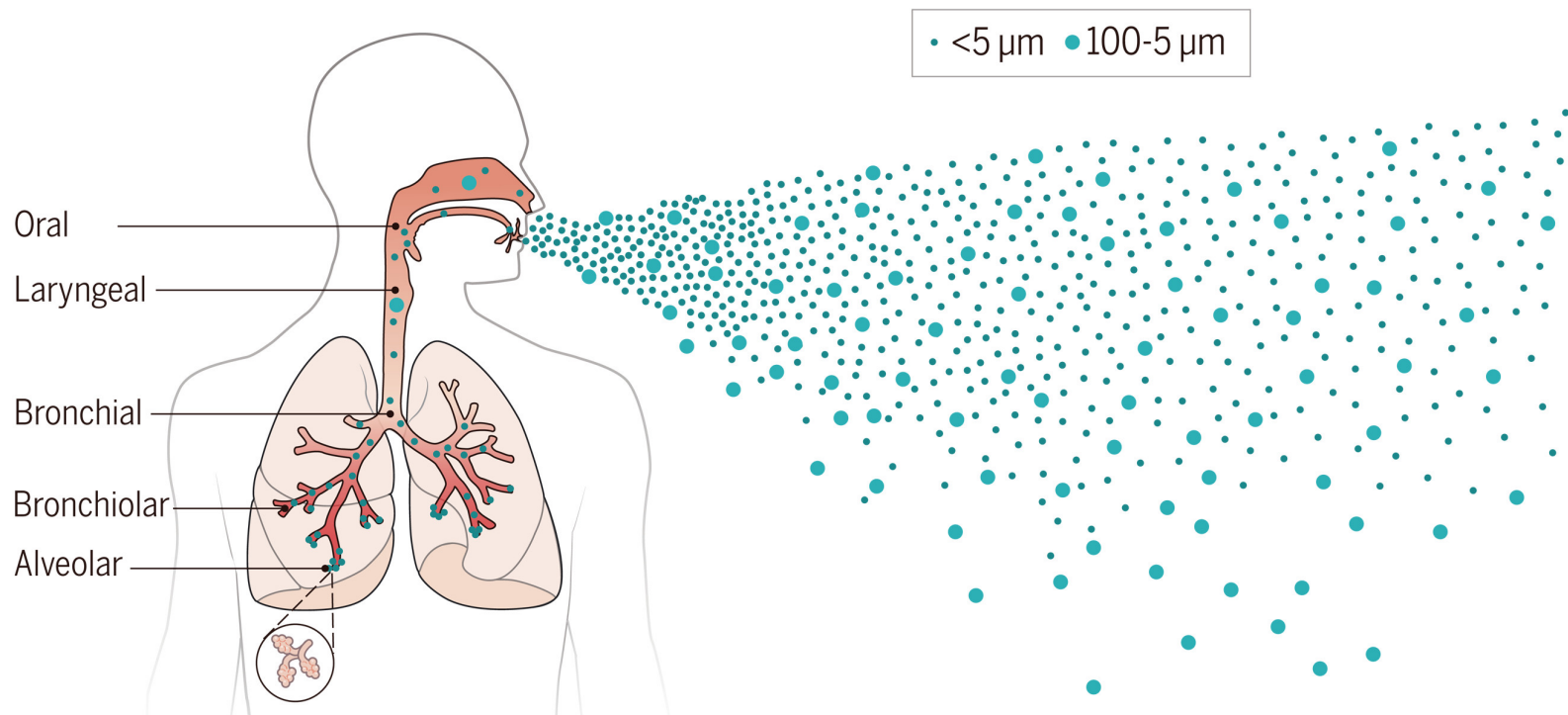


Generation and exhalation

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

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



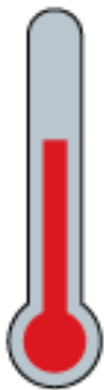
Le continuum de la transmission respiratoire



Environmental determinants of virus survival and transmission

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

Temperature



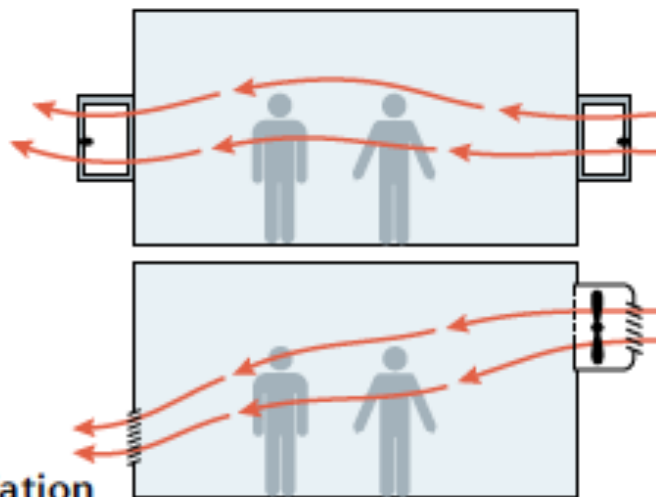
Humidity



pH



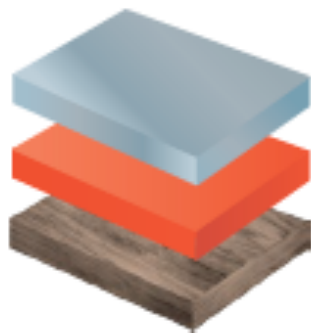
Ventilation and airflow



Salinity



Surface materials



Ultraviolet radiation



S'ajoutent à la complexité du continuum particulière de l'excrétion 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

Phase 2

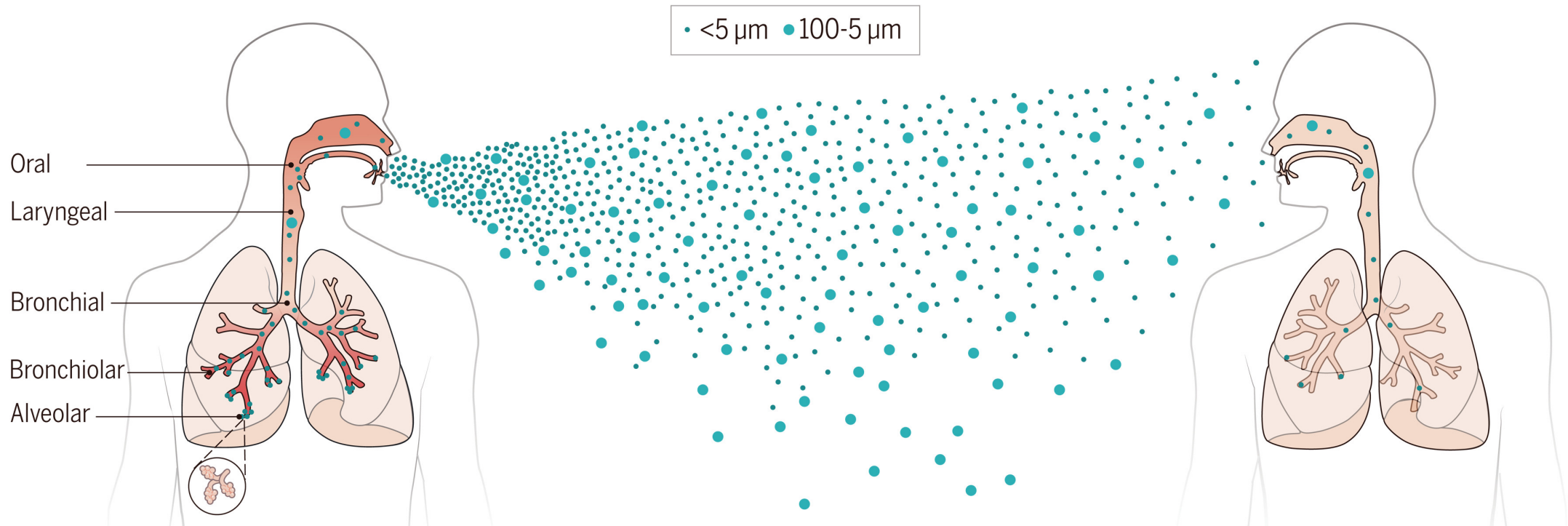
Transport

- 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



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. Une évaluation du risque par scénarios

V. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire



Virus – Bactérie – Champignon ?

Virus : transmissibilité conditionnée par composition et structure (enveloppe, capsid, protéines, génome)

La surface virale

Détermine le site d'infection

Détermine l'affinité du virus et de sa (ses) cible(s) => conditionne la dose infectante

La capsid 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

Bactérie : 2 extrêmes entre Méningocoque et Bacille tuberculeux !

Dose infectante : rarement connue

Survie dans l'environnement

Caractéristiques épidémiologiques : R0, taux d'attaque, facteurs de dispersion...



Site infectieux dans l'arbre respiratoire

Facteurs influençant la contagiosité de l'émetteur

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

Type de soins prodigués : gestes à risque d'aérosols

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

Host determinants of contagiousness, susceptibility and transmission

Factors affecting host contagiousness at the individual level

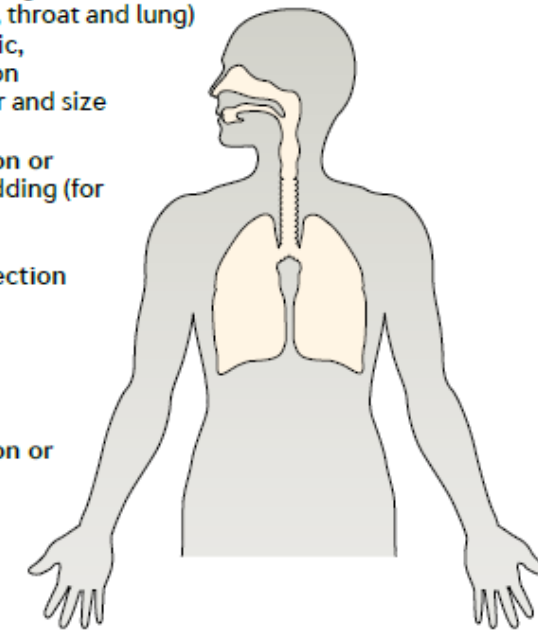
- Tissue and cellular tropism → viral shedding at different sites of the respiratory tract (for example, nose, throat and lung)
- Symptom presentation → presymptomatic, asymptomatic or symptomatic transmission
- Lung function → exhaled particle number and size distribution
- Pre-existing immunity from prior infection or vaccination → heterogeneity in viral shedding (for example, supershedder)

Factors affecting host susceptibility to infection at the individual level

- Tissue-specific receptor expression, glycosylation and glycan expression → site of infection → risk of infection
- Pre-existing immunity from prior infection or vaccination → risk of infection
- Lung anatomy → site of virus-laden particle deposition

Factors affecting transmission at the population level

- Social contact patterns → mode of transmission
- Age-related mixing patterns → age-specific risk of transmission



Facteurs liés à l'hôte récepteur/exposé



Immunité sociale par diminution de l'exposition : comportements de prévention

- Diminution des interactions sociales
- Port du masque
- Hygiène des mains
- Traitement d'air des collectivités et structures accueillant du public
- Traitement des surfaces des collectivités et structures accueillant du public
- Vaccination
- Traitements préventifs (pré-exposition)
- Traitements pré-emptifs (post-exposition)

Immunité individuelle

- Immunité structurale des voies respiratoires : le tapis muco-ciliaire
- Immunité innée cellulaire : Macrophages et polynucléaires neutrophiles
- Immunité acquise : les lymphocytes B, les lymphocytes T et les anticorps

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

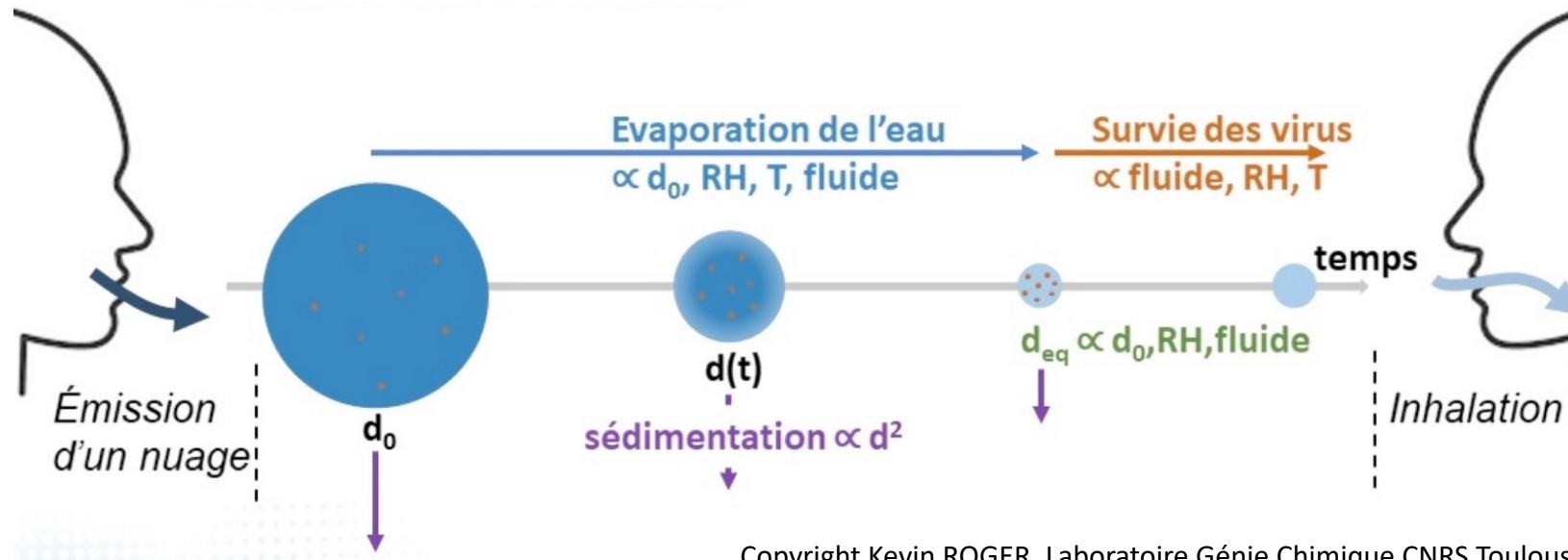
III.C. Facteurs liés à l'hôte récepteur/exposé

III.D. Facteurs environnementaux

IV. Une évaluation du risque par scénarios

V. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire

Scénario de transmission

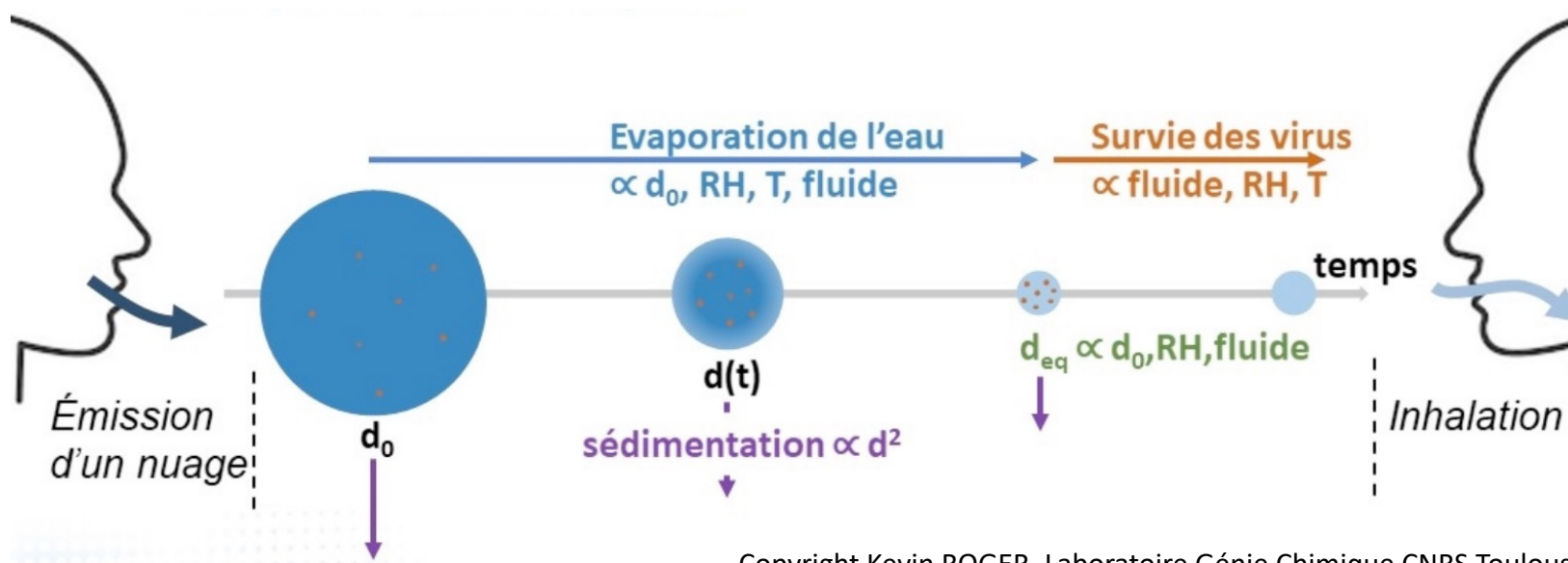


d_0 : taille de la particule qui conditionne sa sédimentation immédiate et son degré de diffusion après émission

d_t : évolution de la taille de la particule soumise évaporation en fonction des conditions environnementales

d_{eq} : diamètre à l'équilibre (après évaporation) et la survie du microorganisme dans la particule respiratoire, au moment de l'inhalation chez l'hôte exposé

Scénario de transmission



Facteurs contributifs et poids de contribution dans le phénomène de transmission pour définir des scénari de transmission

- **Scénario 1** : Contamination respiratoire directe = les particules respiratoires émises exposent un individu récepteur avant brassage avec l'air ambiant

- **Scénario 2** : Contamination respiratoire indirecte = l'aérosol de particules respiratoires se dilue dans l'air ambiant

* l'air ambiant est brassé

* l'air ambiant stagne

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. Une évaluation du risque par scénarios

V. Recommandations de prévention du risque de transmission respiratoire



Mesures collectives/architecturales

- Système de ventilation et traitement d'air : définitions, réglementation, recommandations internationales (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) et American Society for Health Care Engineering (ASHE)) et nationales (HCSP), synthèse de la littérature
- Mesure du taux de CO₂
- Appareils mobiles de traitement d'air (mesures palliatives)

Mesures organisationnelles : en période épidémique, lors de la prise en charge de patient infecté

- EPI
- chambre individuelle
- cohorting
- jauge
- encadrement des visites

Mesures individuelles

- EPI

Mesures de prévention – Mesures individuelles

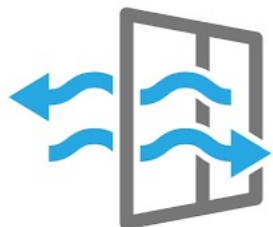


En mettant à profit les leçons de la COVID-19



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, ...).





Recommandations gouttelettes / air Où en est-on ?

Dr Sara Romano-Bertrand MCU-PH
*Equipe PHySE, UMR Hydrosiences, Université Montpellier
Département d'Hygiène Hospitalière, CHU Montpellier*

[@SRomanoBertrand](#)