

23^e Journées Annuelles de Santé Publique
29 Novembre 2019

Dynamique des bioaérosols

Geneviève Marchand, Ph.D., RMCCM SCCM(Env)
Prévention des risques chimiques et biologiques
Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail

MISSION: IMPOSSIBLE
MISSION: IMPOSSIBLE



Dynamique des bioaérosols

Émission

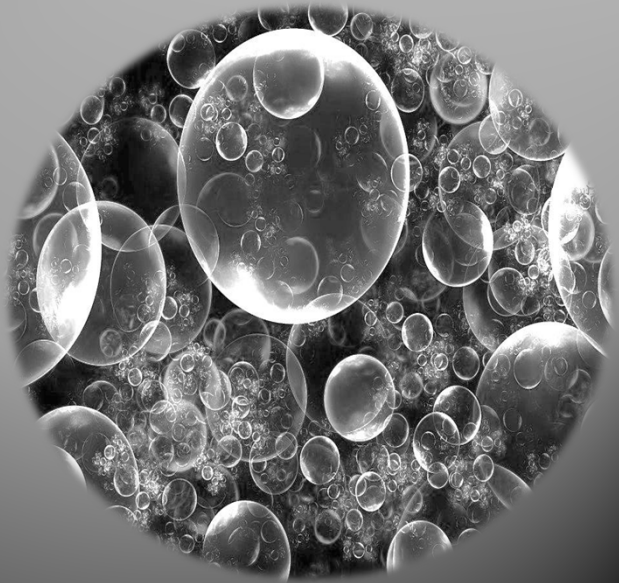
Transport

Exposition

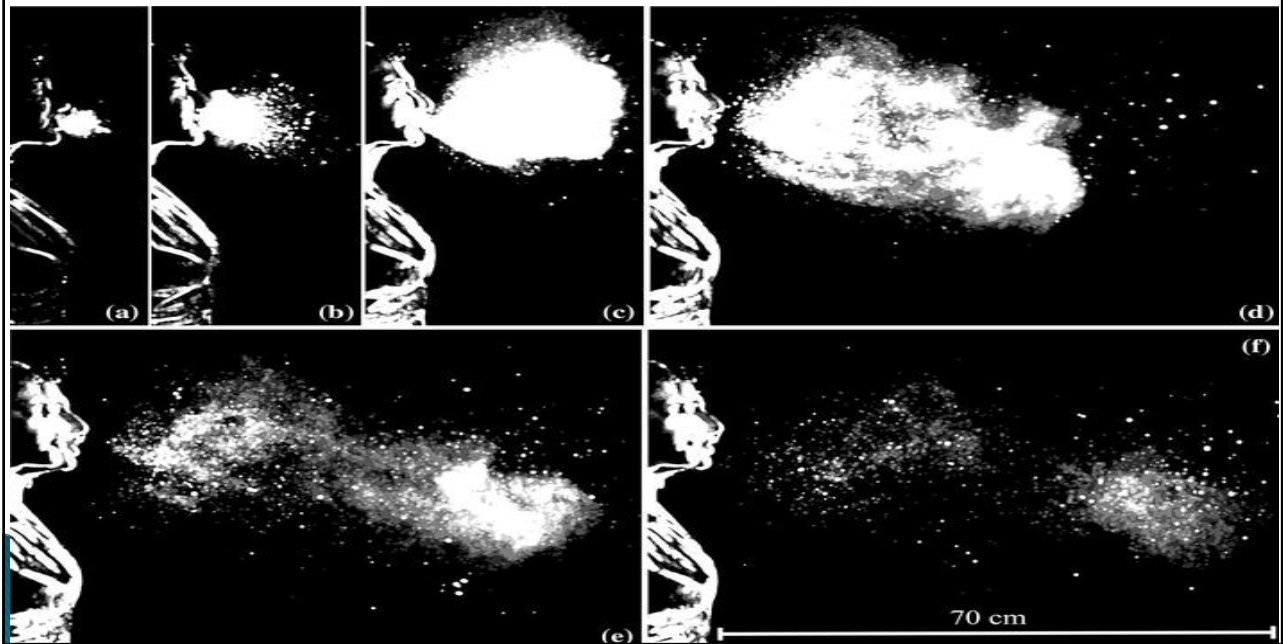


Image : <https://massivesci.com/articles/sneeze-droplets-spray-tuberculosis-flu-disease-prevention>

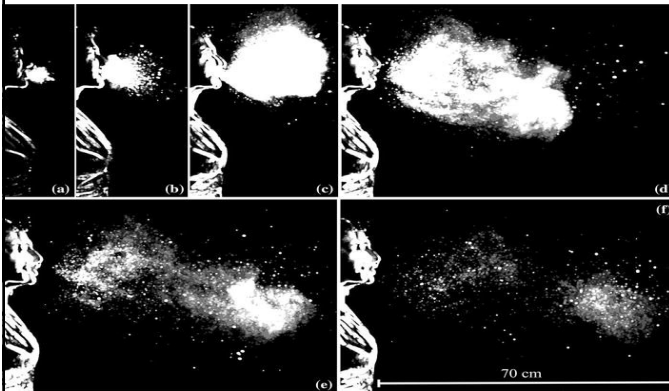
Dimension



Poly-disperse = plusieurs diamètres



Poly-disperse



Scharfman et al. 2016
DOI: 10.1007/s00348-015-2078-4

Particules visibles > 50 μm

Early investigators believed that droplets generated through human expiratory were in the **super micrometer size**

The techniques at the time were **insensitive to smaller droplets**

Morawska 2009

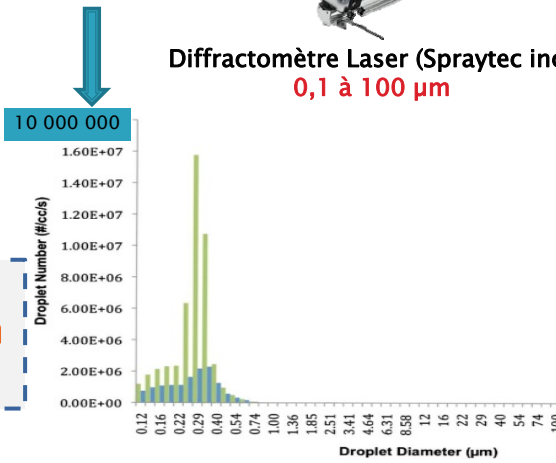
Ce n'est pas parce qu'on ne les voit pas qu'elles n'existent pas

Early investigators
Wells 1934, Jennison 1942, Duguid 1945

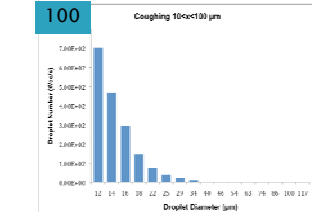
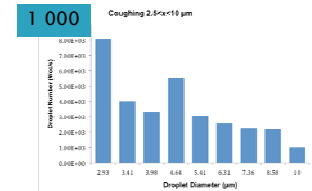
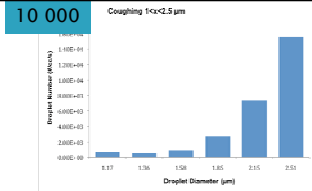
Poly-disperse Toux

“Droplets coming out of the mouth of a coughing individual will very likely be a mixture of various sizes....” ZAYAS 2012

**99%
Smaller than 10 µm
i.e. thoracique**



Diffractomètre Laser (Spraytec inc)
0,1 à 100 µm



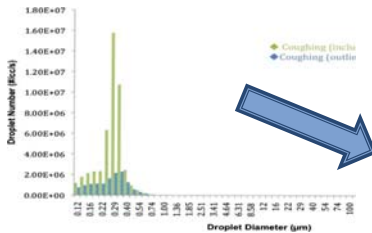
> 50 µm
63 µm = 42
86 µm = 14
100 µm = 7
93 µm = 1

Zayas (2012) DOI:
10.1007/s00348-015-2078-4

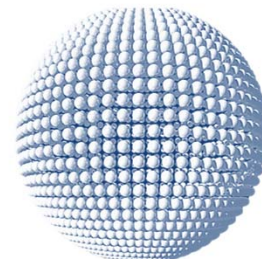
Volume occupé

En raison de la différence en nombre, le volume dans un cm³ d'air est équivalent

**Petites mais très nombreuses
contribution non négligeable**



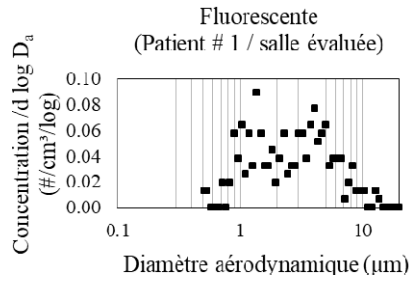
µm	volume total des particules émises lors d'une toux en cm ³
0,5	6.54E-07
2	5.86E-08
10	4.19E-07
25	6.54E-07



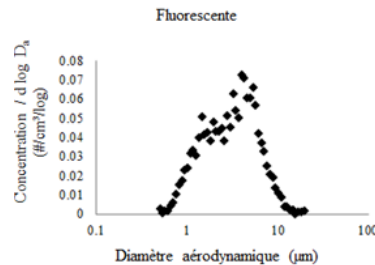
Poly-disperses Fluorescentes

Particules **biologiques**

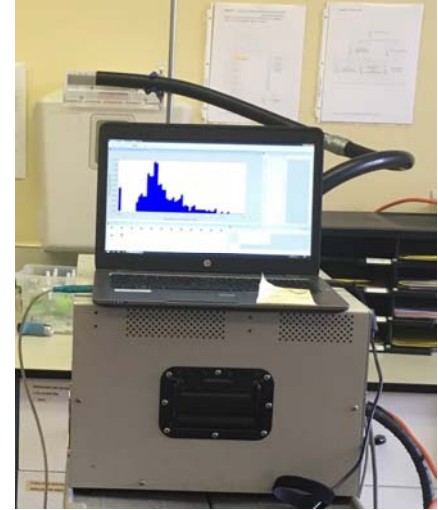
UV-APS et WIBS-NEO : **0,5 à 20 μm**



Introduction bronchoscope



Retraitement



Marchand et al. 2015

Assèchement

Les grosses deviennent petites

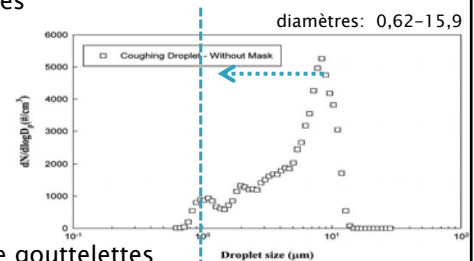
EN MOINS de **0,5 seconde**
Particules de **10 μm**
➔ **~ 1,1 μm**

Toux

APS (0,6–30 μm)
+ SMPS (0,02–0,6 μm)

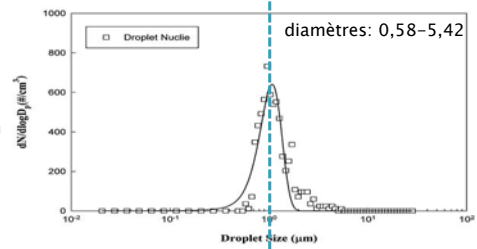
Gouttelettes

modes =
1, 2 et 8 μm



Noyaux de gouttelettes

mode =
entre 1 et 2 μm

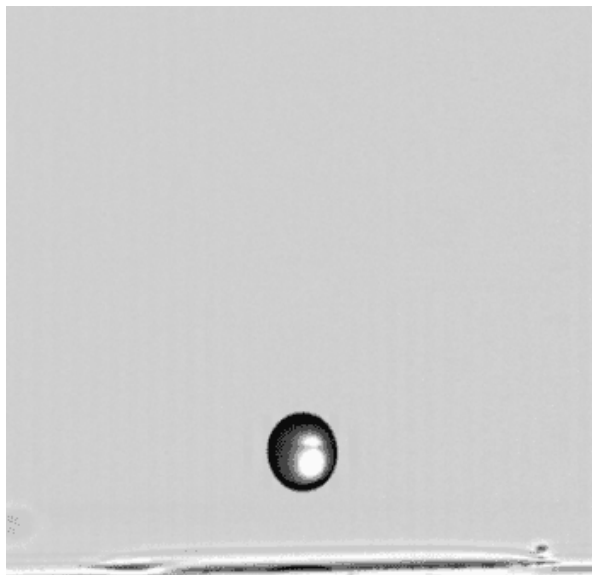


Yang et al. (2007) DOI: 10.1089/jam.2007.0610

Fragmentation

Sous impact avec un objet ou une surface la fragmentation peut créer de petites particules

Vraiment pas
STATIQUE



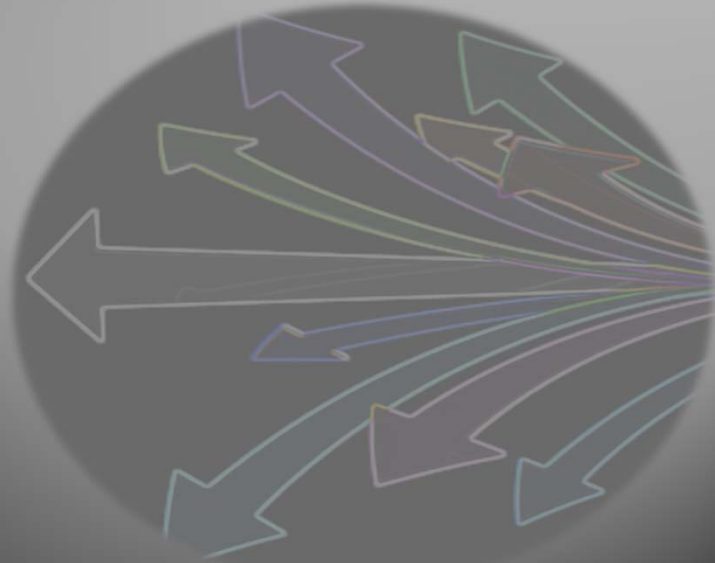
Video: <http://news.mit.edu/2018/new-theory-describes-intricacies-splashing-droplet-0516>

Résumé

Continuum du très petit au très gros
Nombre de **petites** particules +++ **élevé**
Modification du **diamètre** dans le temps
Grosses gouttelettes deviendront **petites**...
...et voyageront plus loin

Plusieurs facteurs
influencent le devenir
des particules

Dispersion



Sédimentation

Conditions parfaites
Sans obstacle



Vrai **SEULEMENT** si
 V_i horizontale NULLE
Déplacement d'air NUL

Mais ca n'arrive
JAMAIS

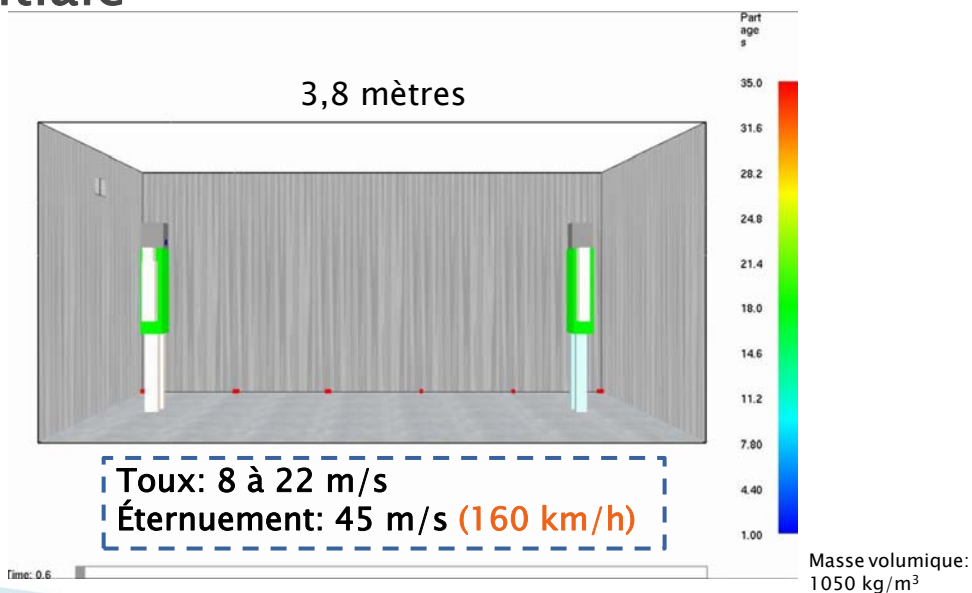
Diamètre de la particule (μm)	Vitesse terminale de chute (mm/s)	Temps de chute au sol depuis une hauteur de 1,8 m	Distance horizontale (Vitesse horizontale de 0,1 m/s)
0,01	0,000071	9,84 mois	2550 km
0,05	0,0004	1,77 mois	458 km
0,1	0,0009	23,2 jours	201 km
0,5	0,01	2,1 jours	18 km
1	0,035	14,3 heures	5,14 km
2	0,13	3,83 heures	1,38 km
5	0,78	38,4 minutes	231 m
10	3,1	9,76 minutes	58,5 m
100	303	5,95 secondes	59,5 cm

Wingert 2019

Vitesse initiale

1 μm

Pas d'assèchement
Pas de mouvement
Pièce fermée
3 CAH



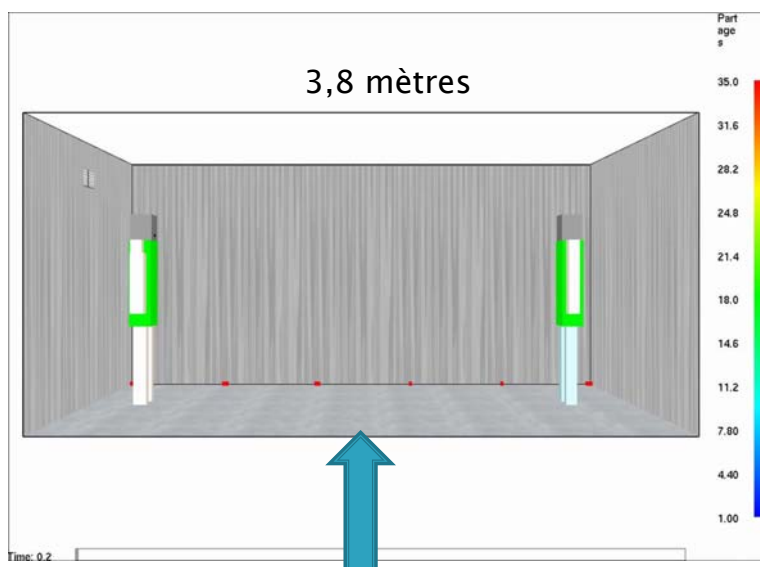
Prof Stéphane Hallé de l'ETS, 2019

Vitesse initiale

25 μm

...à 2 mètres...

Le nez est
dedans



Prof Stéphane Hallé de l'ETS, 2019

Turbulence de l'air

People in motion can transport airborne infectious agents from stationary patients to others by way of the **bulk air motion** in their aerodynamic wakes Zayas 2012

Augmente la **durée et la distance** du « voyage » des particules

Après l'émission c'est pas fini...

Human aerodynamic wake

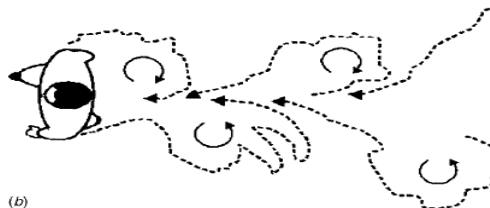
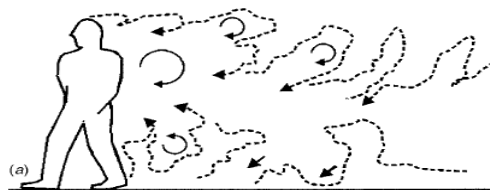


Fig. 22 Sketches of the significant physics observed in the flow visualization experiments performed by the Penn State Gas Dynamics Laboratory. (a) Vertical plane and (b) horizontal plane.

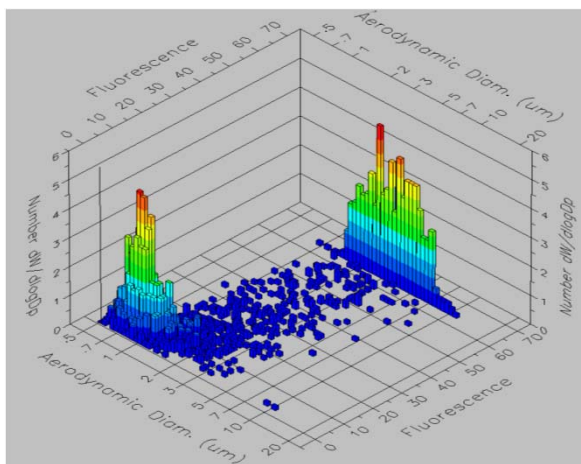
Edge et al. 2005 DOI: 10.1115/1.2013291

Re-suspension

Un employé passe le balai

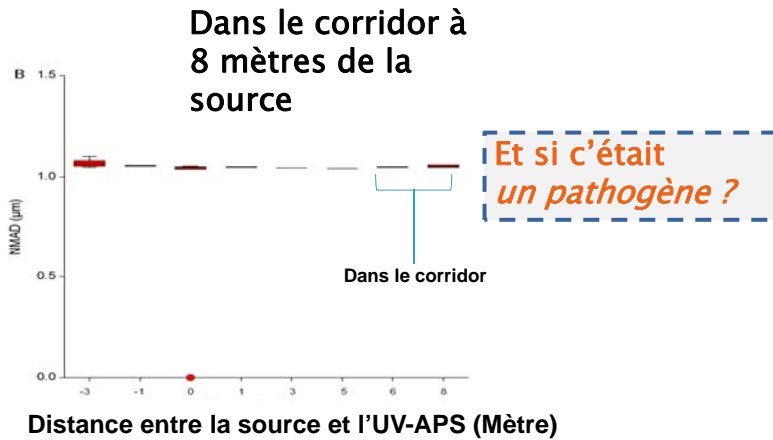
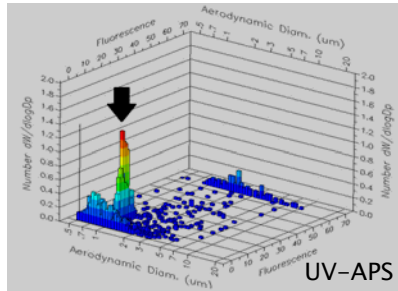
Remise en suspension
une source secondaire
à considérer

Petit problème d'entretien identifié!!!



Dispersion particules

Particules de $1\mu\text{m}$ émises volontairement



Marchand et al. Personnel

Résumé

Diamètre : un facteur mais pas le seul

Erroné : $> 5\mu\text{m}$ tombent avant 2 mètres

Tombent pas en ligne droite

Rien n'est figé dans le temps

Plusieurs facteurs influencent le comportement des particules

Composition des aérosols

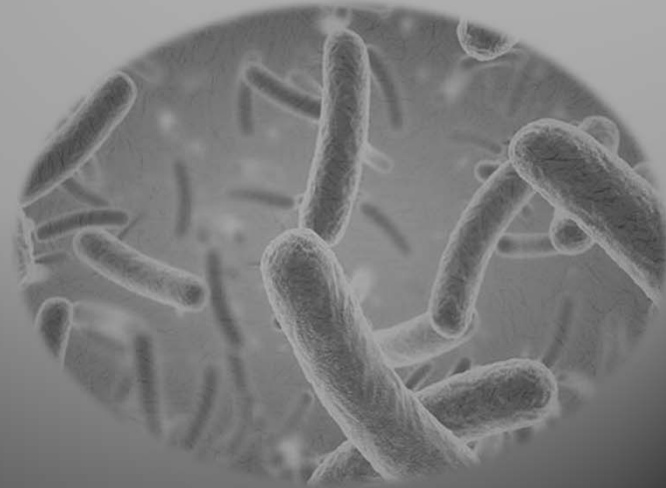


Image tiré du site
<https://keck.usc.edu>

Influenza

Nombre de copies de l'ADNc par échantillon

	Salle d'attente	Salle de triage	Salle d'examen 1	Salle d'examen 2	Couloir
Jour 1	n/a	20 866	n/a	n/a	n/a
Jour 2	n/a	n/a	n/a	159	195
Jour 3	n/a	n/a	n/a	83	n/a

L'ARN est converti en ADN complémentaire pour faire la PCR

Duchaine 2015, IRSST R-861

81% of the influenza-positive patients had **detectable** levels of influenza viral RNA in their **cough aerosols**.

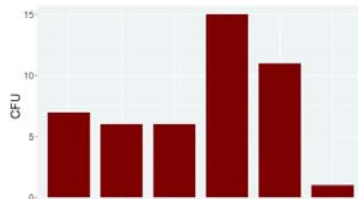
65% was contained in **particles** <4 μm

35% >4 μm ,
23% 1-4 μm
42% <1 μm

Lindsay 2010

Aérosols cultivables

Impacteur Andersen



	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6
Particle size range (µm)	>8.2	5.0-10.4	3.0-6.0	2.0-3.5	1.0-2.0	<1
Total CFU count	7	6	6	15	11	1
Bio-aerosol (CFU/ml)	5.9x10 ⁷	1.6x10 ⁷	1.1x10 ⁷	1.9x10 ⁷	1.3x10 ⁷	3.4x10 ⁶

Mycobacterium tuberculosis
40% des sujets
→ Échantillons positifs

Bronchoscopie	Bactéries identifiées
Salle contrôle 17 CAH	<i>Corynebacterium</i> sp, <i>Micrococcus luteus</i> <i>Streptococcus</i> sp, <i>Staphylococcus</i> sp, <i>Staphylococcus epidermidis</i>
Salle pression négative 22 CAH	<i>Streptococcus pneumoniae</i> <i>Streptococcus mitis</i> , <i>Streptococcus</i> sp, <i>Actinomycetes</i> , <i>Staphylococcus</i> <i>hominis</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Acinetobacter</i> <i>lwoffii</i> , <i>Neisseria</i> sp, <i>Staphylococcus</i> sp, <i>Micrococcus</i> sp

Note: *S. pneumoniae* aussi en thanatopraxie

Patterson et al. 2018

DOI:10.12688/gatesopenres.12758.2

Marchand et al. 2015, IRSST R-879

Résumé

Pathogènes présents dans **toutes les fractions** granulométriques (de toutes les dimensions)

Retrouvés à l'état cultivable (**Infectieux**)

Tuberculose en SST au Québec

Lésions acceptées par la CNESST dont la nature fait partie du groupe 211 - Tuberculose, par année, Québec, 2008-2017

Année	Nb cas
2008	9
2009	6
2010	11
2011	4
2013	10
2014	3
2015	4
2016	10
2017	20
Total	77

Lésions acceptées par la CNESST dont la nature fait partie du groupe 211 - Tuberculose, par industrie SCIAN (codes à 3 chiffres) en ordre décroissant, Québec, 2008-2017

Libellé des industries SCIAN-3	Nb cas
Hôpitaux	41
Industrie non codée	9
Services d'enseignement	5
Établissements de soins infirmiers et de soins pour bénéficiaires internes	5
Transport en commun et transport terrestre de voyageurs	4
Services professionnels, scientifiques et techniques	3
Services de soins de santé ambulatoires	3
Services publics	1
Fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques	1
Transport aérien	1
Services administratifs et services de soutien	1
Assistance sociale	1
Services personnels et services de blanchissage	1
Administrations publiques locales, municipales et régionales	1
Total	77

Prévention optimale?

Busque 2019

CONCLUSIONS

A trop vouloir simplifier la dynamique des bioaérosols on limite notre capacité de comprendre et d'évaluer le risque

Les grosses particules n'existent jamais seules...

...s'il faut empêcher les particules de s'introduire par le nez ou la bouche...

un appareil de protection respiratoire est nécessaire...



Image : <https://massivesci.com/articles/sneeze-droplets-spray-tuberculosis-flu-disease-prevention>

Matériel supplémentaire

Radonovich 2019

As worn by health care personnel..., use of N95 respirators, compared with medical masks resulted in **no significant difference**

La méthodologie est la cause...PAS LE N95

Participants were instructed to put on a new device whenever they were positioned **within 6 feet (1.83 m)** of patients with suspected or confirmed respiratory illness

Déjà exposé aux particules
TROP PROCHE

Influenza dans les particules fines

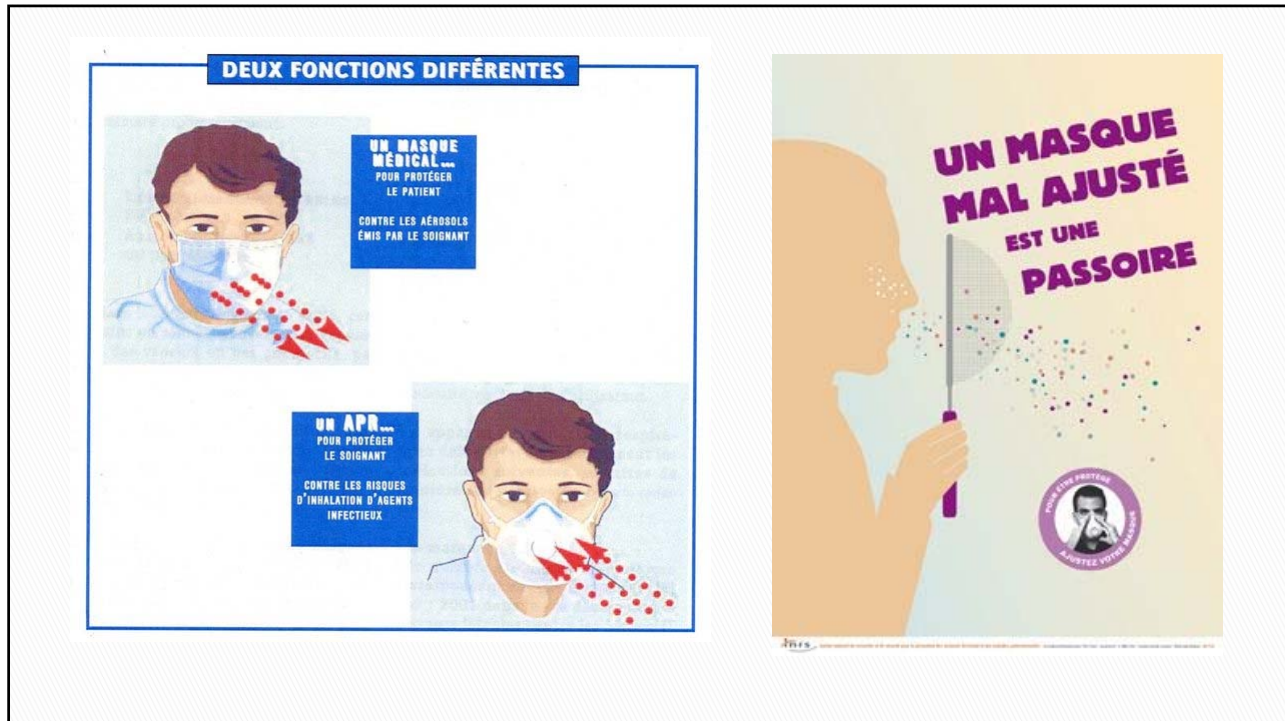
	Percentiles				
	Min	25 th	Median	75 th	Max
Age	18	18	19	20	54
Days since onset ^a	0	1	2	3	5
Nasopharyngeal swab copy number	1.7×10^3	8.3×10^4	4.2×10^5	1.8×10^6	3.4×10^7
Coarse particle copy number with mask	0	0	0	0	7.7×10^1
Coarse particle copy number no mask	0	0	0	3.7×10^1	2.9×10^4
Fine particle copy number with mask	0	5	2.2×10^1	2.5×10^2	2.4×10^4
Fine particle copy number no mask	0	1.1×10^1	1.1×10^2	5.6×10^2	1.3×10^5

^aAt time of exhaled breath measurement.

Milton et al 2013

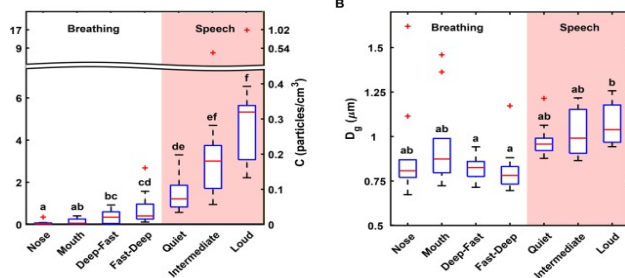
10.1371/journal.ppat.1003205

These experiments and observations strongly support the view that many, possibly **most, natural influenza infections** occur by the **aerosol route** and that the lower respiratory tract may be the preferred site of initiation of the infection.
Tellier 2006



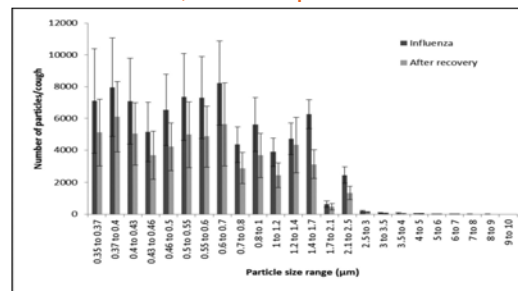
Activités génératrices – poly disperse

Aerodynamique particles sizer
0,56 à 20 µm



Asadi 2019 Parole et respiration
DOI: 10.1038/s41598-019-38808-z

Wide-range Particle Spectrometer
0,35 à 10 µm



Toux Lindsay 2012
DOI:10.1080/15459624.2012.684582

Toutes les activités humaines sont génératrices de petites et de grosses particules

Le virus de l'influenza est émis lors de la respiration Milton 2013

Vitesse initiale

10 μm



Prof Stéphane Hallé de l'ETS, 2019

Beaucoup de différences entre les études

- Appareils
- Efficacité de captation
- Unité de mesure
- Représentation

L'échantillonnage crée un biais

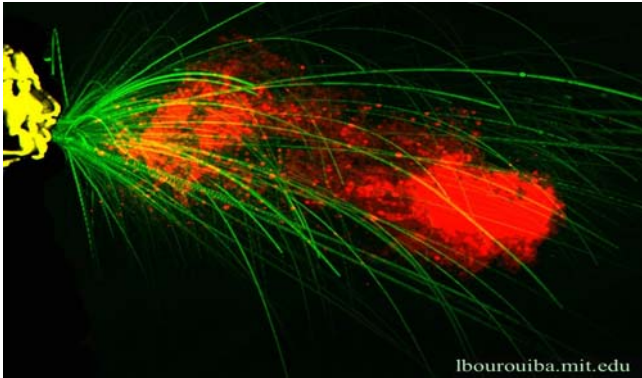
- Modification de l'environnement
- Viabilité
- Captation inégale entre les fractions

Même aujourd'hui

AUCUNE méthode n'est parfaite

*Il faut comprendre les limites
des études avant d'accepter et
de diffuser leur conclusion*

Orientation



Panache multidirectionnel
avec turbulences
Émission **non rectiligne**

Poulain et Bourouiba (2019)
DOI: 10.1063/PT.3.4211

Effet Schlieren

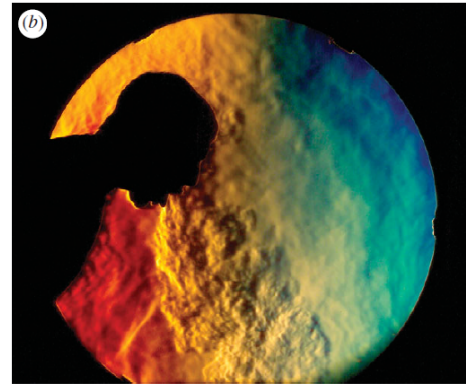
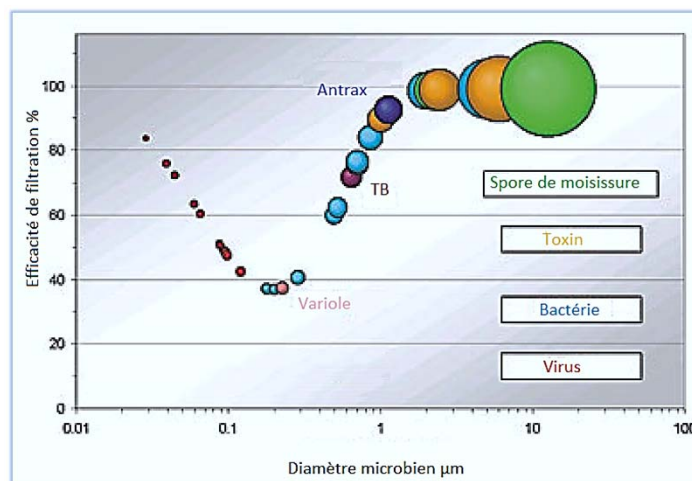


Figure 1. (a) The profile of a typical 'single forced cough' in terms of expelled airflow rate versus time, adapted from Khan *et al.* (2004). (b) Schlieren image of a cough directed downward by a 25-year-old male subject, revealing the character of the cough as a turbulent jet of air.

Tang et al (2009)
DOI:10.1098/rsif.2009.0295.focus

Dimension des cellules seules



Inspiré de : <http://americasbestairandwater.com/6955.html>