



## Air hospitalier :

Quelle contamination aérienne ? Quel niveau de preuve ?

Dr Marie-Charlotte HALLOUIN-BERNARD,

Université François Rabelais de Tours

unité inserm U1100

# Transmission des infections associées aux soins

- Problème de santé publique international
- Transmission croisée +++
- Résistances aux anti-infectieux
- Voie de contamination :
  - Par contact direct avec le réservoir
  - Par contact indirect grâce à un vecteur (vivant ou inerte)
- Localisation de la contamination:
  - Patients/Personnel: Mains+++
  - Environnement (surface, eau, air)
  - Circuits (alimentation, linge)

# Politique de Sécurité des Soins des ES

## Préserver le niveau de qualité et de sécurité atteint en matière de risque infectieux grâce à:

- des mesures d'asepsie lors des soins
- l'utilisation appropriée des dispositifs médicaux (à usage unique ou réutilisable),
- la maîtrise de l'environnement et des circuits

## Intégrer:

- le développement durable dans les programmes de prévention (impact économique, social, environnemental)
- Un allègement des procédures pour ne pas empêcher l'activité elle-même (motivation)

# Aérocontamination

- La **qualité de l'air** est un élément clé de notre environnement
- Garantie de qualité dans **différents secteurs d'activité**:  
industrie, laboratoires, établissements de soins
- **Biocontamination**: virus, bactéries, levures, champignons, pollens
- **Aérosols**: gouttelettes, fibres, poussières, droplet nuclei

# Réservoirs et Vecteurs de contamination



# Etude physique des aérosols (Eames 2009)

- Carl Flügge (hygiéniste allemand), 1897:
  - le nez et la bouche pulvérisent dans l'air de minuscules **gouttelettes**
  - contaminées par des bactéries < 2m de distance
- Wells, 1934: caractérisation des gouttelettes
  - Petites gouttelettes (majorité): **déshydratation** après leur émission dans l'air et forment des **droplet nuclei** toujours infectieux et suffisamment petits pour rester **en suspension** dans l'air
  - Grandes gouttelettes (>100  $\mu\text{m}$ ): tombent avant de se déshydrater
- Xie, 2007: évaporation <1s et réduction diam/2

# Etude physique des aérosols (Eames 2009)

- Panteli, 2009: Modélisation de la **toux** (machine ou volontaires)
- Hui, 2009: **Sources** d'aérosolisation identifiées:
  - aspirations nasopharyngées, nébuliseurs, ventilateurs, masques à oxygène
  - Mais aussi: air exhalé (Kiné respiratoire), toux, changement de pansement, nursing, manipulation des draps/couvertures, ménage, douche, usage des toilettes ....
- Particules  $<5 \mu\text{m}$  inhalables (alvéoles)
- Effet de dilution dans l'espace

# Définition des aérosols

- Suspension dans un milieu gazeux de particules dont la vitesse de chute est négligeable ( $v \leq 25 \text{ cm.s}^{-1}$ )
- Aérosols biologiques: vivants, potentiellement infectieux
- Cellules seules ou agrégées (entre elles/autres particules)
- Hydratés/déshydratés (droplet nuclei)

# Caractéristiques physiques des aérosols

Déplacements liés à:

- **Caractéristiques physiques: Taille, forme, densité inertie**
  - grande variabilité morphologique: forme sphérique pour modélisation
  - Diamètre équivalent aérodynamique (déposition dans l'arbre respiratoire)
- **Mise en mouvement: Fluide (vecteur), charges électriques, gradient de T°**
  - Mouvement brownien ( $<1\mu\text{m}$ ) ou sédimentation (Pesanteur/Viscosité de l'air)
  - Régime d'écoulement de l'air (laminaire ou turbulent)

# La survie de microorganismes dans l'air (Eames 2009)

## Paramètres influençant l'infectiosité des aérosols

- Durée de séjour, polluants atmosphériques associés, T et humidité, UV (Tang 2009)
- flux aérien (Eames 2009)
- Aérosols avec agent infectieux ou agent infectieux volant?
- Dose infectante (bioterrorisme) (Franz 1997)
- Immunité innée et réceptivité de l'hôte (Shinya 2006, Matrosovich 2004)
- Caractéristiques de la ventilation **des VA**: selon taille des particules

# Les maladies transmissibles par voie aérienne

- **Les infections communautaires:**
  - La tuberculose,
  - La grippe, le SRAS, la bronchiolite du nourrisson,
  - La varicelle, la rougeole
- **Les infections nosocomiales:**
  - BMR (SARM, E-BLSE) vers tous sites (IU, PnP, ISO...)
  - aspergillose, pneumocystose, Clostridium difficile, Pseudomonas ...
  - Infections communautaires importées en période d'épidémie
  - norovirus

# Infections Respiratoires Aigües

- **Etablissements concernés:**
  - EHPAD
  - Pédiatrie
- **Pathogènes rencontrés**
  - Bactéries: mycoplasmes, légionnelles
  - Virus: VRS, influenza, parainfluenza, coronavirus, rougeole....

# Les sujets à risque

- Patient Immunodéprimé
- Ages extrêmes (crèches, pédiatrie, gériatrie, EHPAD)
- Personnel soignant (exposition chronique)

# Colonisation: patient ↔ environnement ↔ mains

- patient → environnement (Asoh et al 2005; Talon et al 2008: **SARM**)
- BGN; EBβLSE; carbapéménase; (Lemmen et al 2004; Bernard et al 2012)
- Site: Plaie et urine > VA ou sang (Boyce et al 1997: SARM)
- Manœuvres:
  - Changement de pansement, (Sergent et al 2012)
  - Nursing (Roberts 2008, Gehanno 2008, Bernard et al 2012)
- patient → environnement → mains (Bhalla et al 2004: SARM)

# La survie de microorganismes dans l'air

- **Des questions subsistent:**
  - **Comment ces gouttelettes chargées de pathogènes sont relarguées, dispersées et évaporées dans l'air?**
  - **Quelle est la durée de survie? A quelle distance?**
  - **AIR = Réservoir?**
  - **Quelle est l'influence du flux d'air de la pièce, inspiration/expiration/mouvements ?**

# Flore aérienne hospitalière

## Microbiological Contamination of Hospital Air

Greene et al **1962**, Minneapolis, 8700 isolates, 15 mois

Type de bactérie	Fréquence d'isolement	Espèces bactériennes	services
Cocci+	43%	microcoques, sarcines	chirurgie, obstétrique, stérilisation
BGP	19%	Bacillus	services médicaux
BGN	14%	Pseudomonas	services médicaux
Filamenteux	17%	Aspergillus, Penicillium, Neurospora, Alternaria, Rhizopus	services médicaux

**PéniR: de 4 à 21%**

**16**

# SARM, *S. Epidermidis*

## Colonisation:

- Surfaces (Kramer 2006)
- Portage nasal (pas d'association avec des cas d'infections groupées)
- Air de la chambre (homologie de souches) (Gehanno 2009)

## Voies de Transmission:

- Manuportée (personnel): patient-patient via surfaces (Boyce, 1997)
- Aéroportée (William 1996):
  - flux d'air, poussière,
  - Excréteurs en mouvement (♀) (vêtements, desquamation, rhinite virale et allergique)

## Viabilité des aérosols:

- > 5 jours pour des particules inhalables (<2  $\mu$ ) (Thompson 2011)
- Paramètres supposés:
- HR: non, T, taille particule, état métabolique

# SARM mondialisé

## DISTRIBUTION OF BACTERIAL CONTAMINATION IN A TEACHING HOSPITAL IN TEHRAN Mirzaii et al 2012, ICUs

Isolated bacteria from the air of the ICUs

Bacteria	N (%) of bacteria	
	Total	
	SC = 168	
	CC = 385	
Gram-positive cocci	324 (84.2)	
<i>Staphylococcus aureus</i>	16 (14.2)	
Gram-negative cocci	5 (1.3)	
Bacillus	40 (10.4)	
Corynebacterium	9 (2.3)	
<i>Escherichia coli</i>	4 (1)	
Klebsiella	1 (0.3)	
Enterobacter	1 (0.3)	
Pseudomonas	1 (0.3)	

\* SC: Sample count, CC: Colony count

Antibiotic resistance of the *Staphylococcus aureus* isolates

Antibiotic	N (%) of resistance	
	Total (n = 108)	
Amikacin	33 (30.7)	
Clindamycin	47 (43.7)	
Erythromycin	57 (53)	
Gentamicin	43 (39.8)	
Linezolid	0	
Neomycin	19 (17.7)	
Netilmicin	9 (8.4)	
Oxacillin	102 (94.5)	
Rifampin	24 (22.3)	
Synercid	0	
Teicoplanin	0	
Tetracycline	38 (35.5)	
Tigecycline	0	
Vancomycin	0	

On isole principalement des Cocci+, peu de BGN  
Focus sur SARM: 94.5% surface + air

## Infection Control and Hospital Epidemiology

### Nursing care increases exposure to airborne multidrug-resistant organisms

--Manuscript Draft--

Bernard 2012

MDR strains	Clinical n (%)	Air n (%)
MRSA	15 (24%)	5 (13%)
ESBL-EB:	34 (55%)	8 (21%)
<i>S. Epidermidis</i> (MDR-CNS)	0 (0%)	8 (21%)
total	62 (100%)	38 (100%)

## Infection Control and Hospital Epidemiology

### Nursing care increases exposure to airborne multidrug-resistant organisms

--Manuscript Draft--

Bernard 2012

C+/A+ Identical MDR Strains	Strong ATBG identity	Lower level ATBG identity	PGFE identity
MRSA (n=5)	3	2	5/5
<i>P. aeruginosa</i> (n=3)	1	2	2/3
<i>K. pneumoniae</i> (n=2)	1	1	1/2
<i>E. coli</i> (n=1)		1	1/1
<i>A. baumannii</i> (n=1)		1	?
<i>A. calcoaceticus</i> (n=1)		1	?
<i>E. cloacae</i> (n=1)	1		1/1
<i>S. marcescens</i> * (n=1)	1		1/1

Souches appariées portage clinique/air, n=15

# *Clostridium difficile* et diarrhée

- **Contamination environnementale** et cas groupés de CDI persistantes
- **Contamination aérienne sporadique** (activité+++)  
par un clone de spores de CD (Roberts 2008)
- Aérosolisation fréquente et sporadique de **souches épidémiques** (ribotypes) autour des patients avec CDI (Best 2010)
- Aérosolisation par la **chasse d'eau** et rôle préventif du couvercle des toilettes (Best 2012)

# Clostridium difficile

## Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk

2012

E.L. Best<sup>a</sup>, J.A.T. Sandoe<sup>a</sup>, M.H. Wilcox<sup>a, b, \*</sup>

Table I

Comparison of recovery of *Clostridium difficile* from the air with the toilet seat open and closed (N = 2)

Sample time	Mean cfu <i>C. difficile</i> detected in air samples 0–90 min after each flush					
	Control tests (water only added)	Toilet lid closed		Toilet lid open		
		10 cm above height	Seat	25 cm above height	10 cm above height	Seat
0–30 min	0	4	3	7	6	35
30–60 min	0	1	7	4	0	3
60–90 min	0	0	0	1	0	0



norme NF D12-207 Juillet 2011.  
Appareils sanitaires – Abattants de WC.

Gouttelettes jg 25 cm  
Mise en suspension de bactéries

22

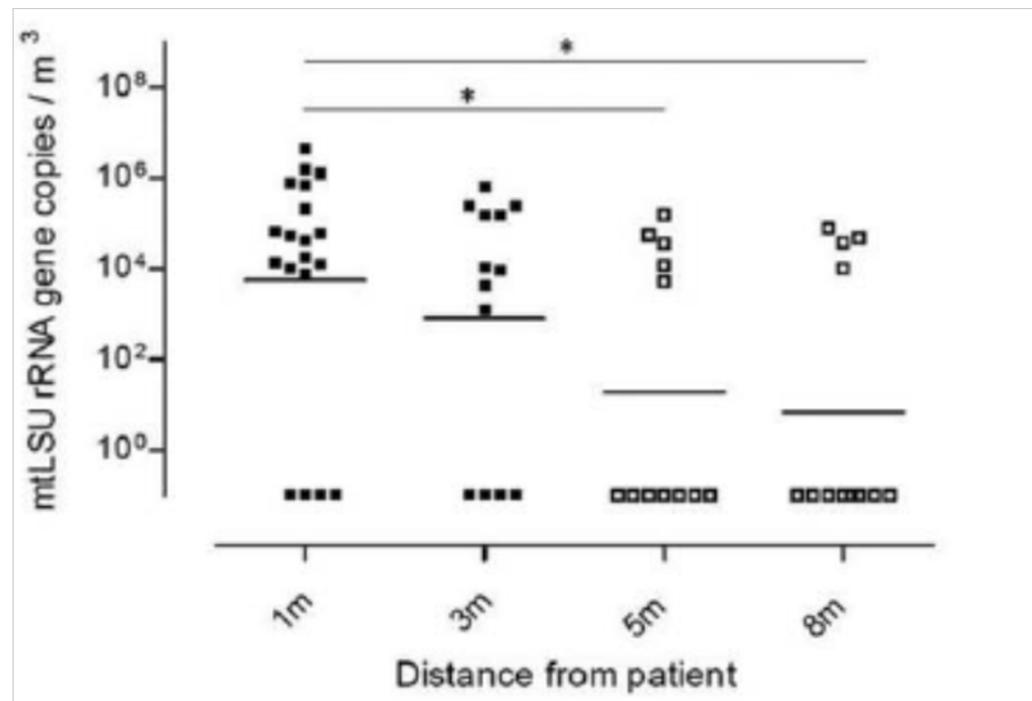
# *Pneumocystis jirovecii* et greffe de rein (immunodépression)

- **Modèles animaux:**
  - transmission par voie aérienne prouvée (rat immunodéprimé, air)
  - Portage réplicatif chez le rat sain
  - Corrélation charge pulmonaire/Charge aérienne rat athymique (Choukri, 2011)
- **Clinique:** transmission interhumaine par aérosols démontrée
  - TR: transmission inter-individu (clusters nosocomiaux)
  - Colonisation oropharyngée (personnel sain)
  - Colonisation environnementale (filtre air)
  - Quantification de la charge de l'air exhalé (Choukri 2011)
    - 80% air+ à 1m du patient (jusqu'à 8 m)
- **FDR:** ATCD CMV, pneumopathie et dysfonction du greffon (Phipps 2011)

# *Pneumocystis jirovecii* et greffe de rein (immunodépression)

## Quantification and Spread of *Pneumocystis jirovecii* in the Surrounding Air of Patients with *Pneumocystis* Pneumonia

Firas Choukri,<sup>1</sup> Jean Menotti,<sup>1</sup> Claudine Sarfati,<sup>1</sup> Jean-Christophe Lucet,<sup>2</sup> Gilles Nevez,<sup>3</sup> Yves J. F. Garin,<sup>1</sup> Francis Derouin,<sup>1</sup> and Anne Totet<sup>4</sup>



the mitochondrial large subunit ribosomal RNA gene..

# Pseudomonas aeruginosa et mucoviscidose

- **Clonalité:**
  - Souche cliniques par centres
  - Souches air-aérosols identiques quand la charge est élevée
- **Production d'aérosols par:**
  - Physiothérapie, EFR
  - Douche
  - Présence humaine (patient & staff)
  - Toux <3.3 µm (inhalables)
- **Contamination** des surfaces et **de l'air** (P.aeruginosa & SA)
- *P.Aeruginosas, Burkholderia cenocepacia, stenotrophomonas maltophila Achromobacter xylosoxydans*

(Wainwright 2009, Jones 2003, Ferroni 2008)

# Pseudomonas aeruginosa et mucoviscidose

## Bacterial contamination in the environment of hospitalised children with cystic fibrosis

Agnès Ferroni <sup>a,\*</sup>, Aurélie Werkhauser-Bertrand <sup>a</sup>, Muriel Le Bourgeois <sup>b</sup>, Raphaëlle Beauvais <sup>a</sup>,  
Stéphanie Vrielynck <sup>c</sup>, Christelle Durand <sup>c</sup>, Gérard Lenoir <sup>c</sup>,  
Patrick Berche <sup>a</sup>, Isabelle Sermet-Gaudelus <sup>c</sup> 2008

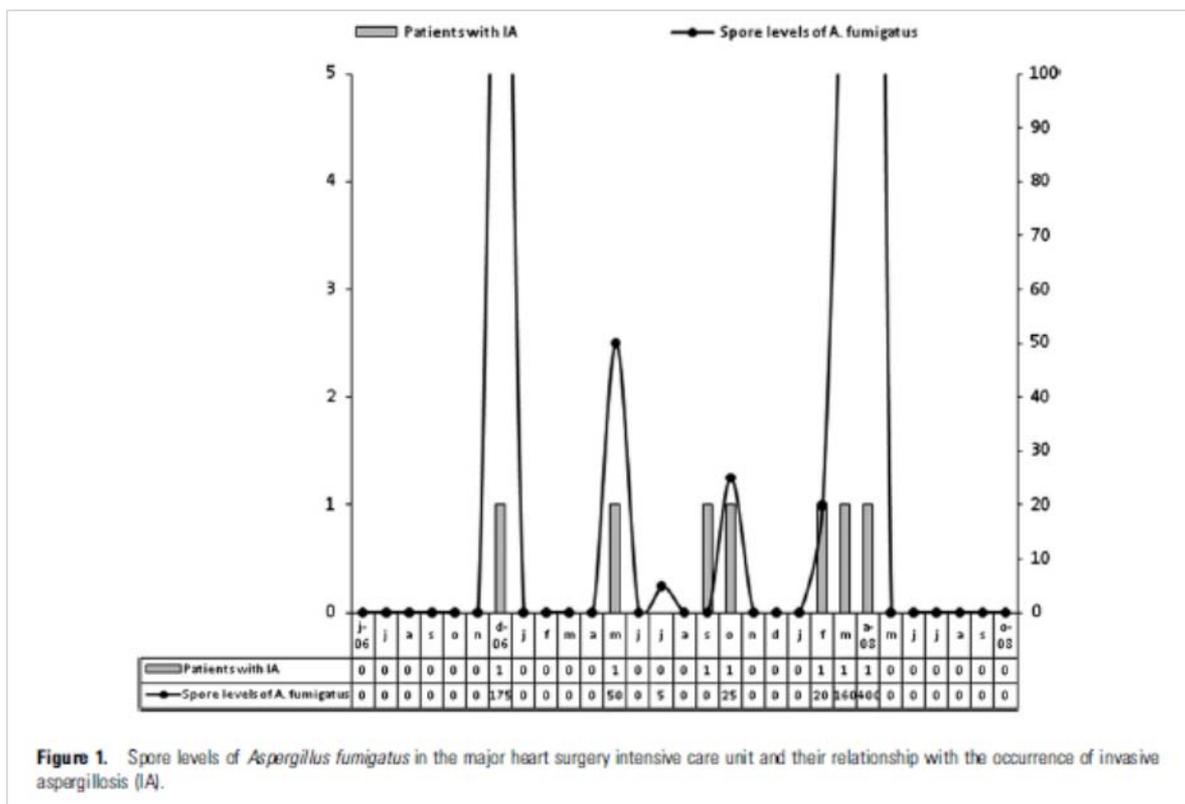
Table 1

Microbiological characteristics of air samples from patient bedrooms

	Wake-up	After physiotherapy	After cleaning
Number of samples	121	81	9
Germes CFU/m <sup>3</sup> average	583.4	709.2	278
(Min–Max)	(52–2096)	(28–2240)	(112–656)
Number of <i>P. aeruginosa</i> -positive samples	7	11	0
Number of <i>P. aeruginosa</i> CFU/m <sup>3</sup> average	154.3	40.7	–
(Min–Max)	(8–976)	(4–188)	
Number of <i>S. aureus</i> -positive samples	11	7	3
Number of <i>S. aureus</i> CFU/m <sup>3</sup> average	33.8	153.1	17.3
(Min–Max)	(8–80)	(8–800)	(12–24)

# Aspergillus et filamenteux

Cas groupés d'AI après chirurgie cardiaque lourde dus à la présence de spores dans un service de réanimation (Pelàez 2012)



- Niveau de spores dans l'air anormal corrélé à des cas d'AI
- Immunodépression non sévère
- Génotypes croisés air-clinique

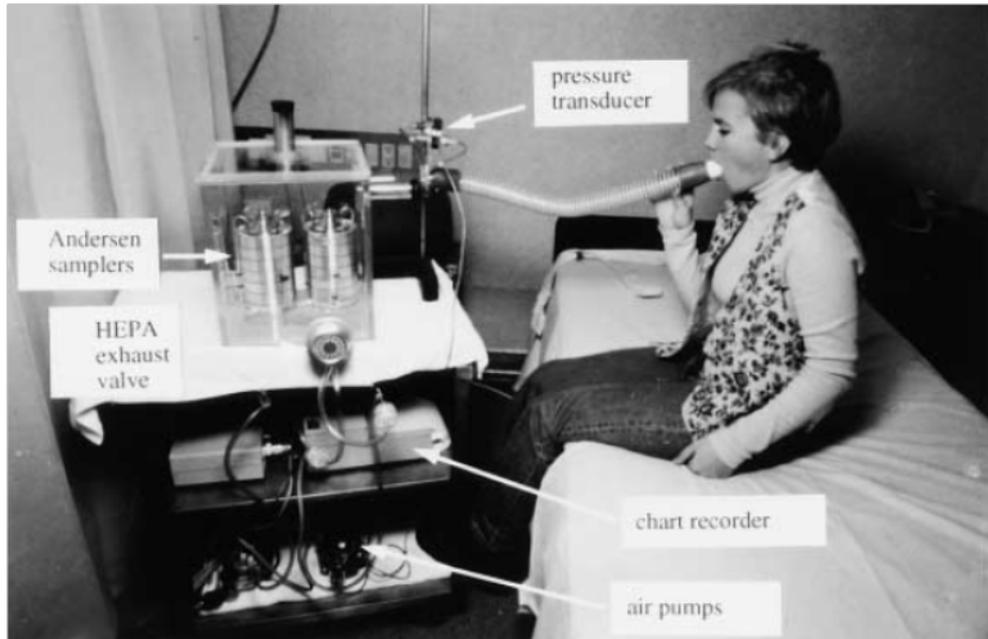
# Tuberculose

- Hospitalisation = FDR de MDR-TB (malades, soignants)
- Retard de diagnostique: majoration du risque
- **Exposition à de l'Air exhalé** de patients MDR-TB: contaminant +++ (**cobaye**)
- **Toux**: génération d'aérosols de taille inhalable (Recueil en **Chambre d'exhalation: CASS**)
- Recueil dans l'air?

# Chambre de recueil d'aérosols biologiques

## Cough-generated Aerosols of *Mycobacterium tuberculosis* A New Method to Study Infectiousness

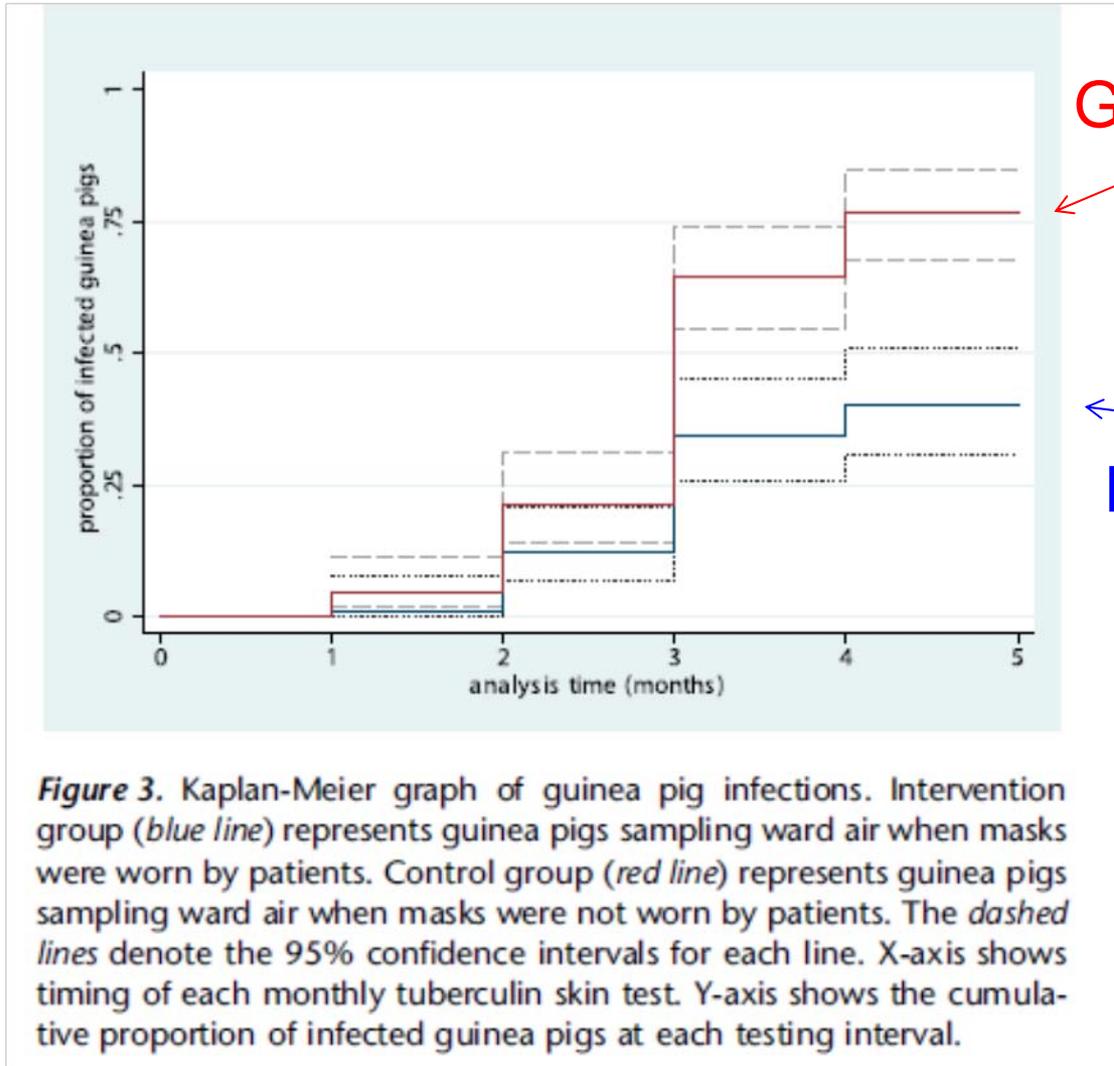
Kevin P. Fennelly, John W. Martyny, Kayte E. Fulton, Ian M. Orme, Donald M. Cave, and Leonid B. Heifets



Cough aerosol sampling system (CASS) at the bedside.

# Transmission de la tuberculose par l'air: modèle cobaye

Taux d'infection chez le cobaye  
par l'air exhalé de patients MDR-TB



Groupe contrôle

Port du masque

X 2.3

30

# *Bordetella pertussis* et VRS

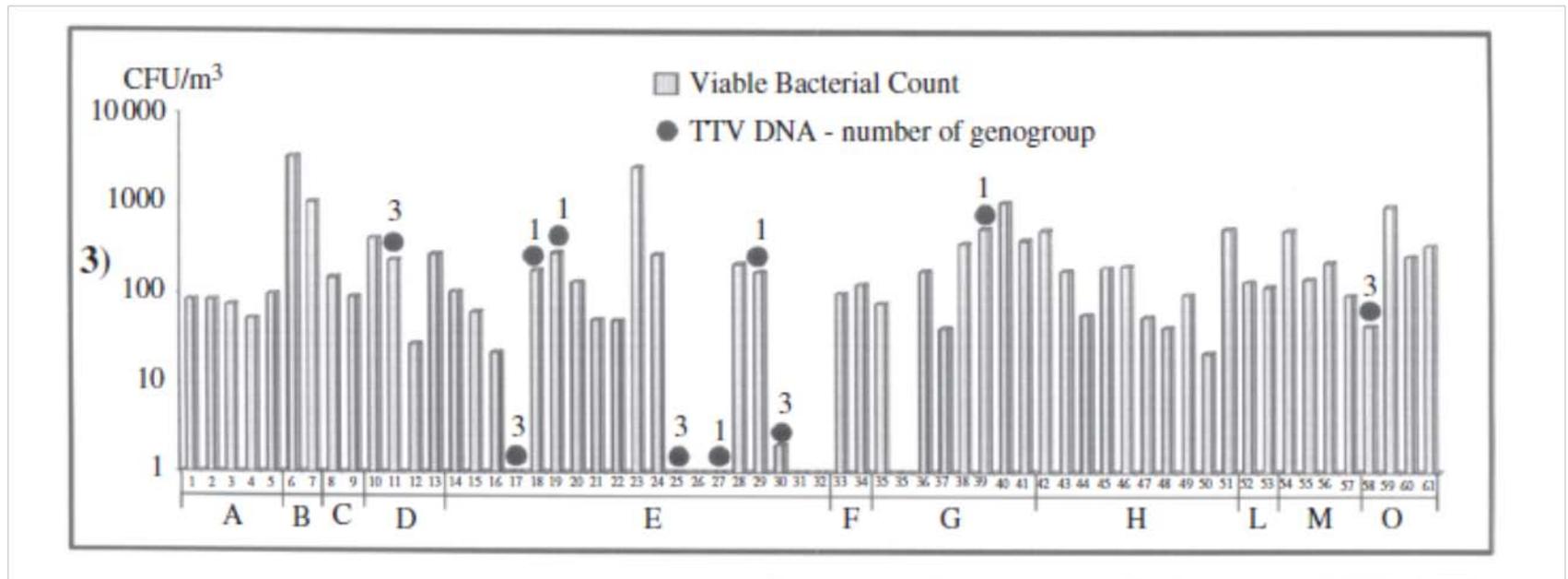
- *B pertussis*: 58% des chambres positives jusqu'à 4 m du lit
- VRS: 63% des chambres positives jusqu'à 7 m du lit.  
(Aintablian 1998)
- Prévention par masque efficace (Chatterjee 2007)

# Marqueur de contamination virale environnementale

Environmental survey to assess viral contamination of air and surfaces in hospital settings

A. Carducci <sup>a,\*</sup>, M. Verani <sup>a</sup>, R. Lombardi <sup>b</sup>, B. Casini <sup>c</sup>, G. Privitera <sup>c</sup>

2011



TTV: Torque Teno virus  
Infectiosité?

Samples	Hospital Unit
1) Surfaces monitoring (sample 1-64)	A: Sterilization Center
2) Surfaces monitoring (sample 65-114)	B: Dental Clinic
3) Aerosol monitoring (sample 1-62)	C: Burn Unit
	D: Paediatrics
	E: Haematology
	F: Bronchial Endoscopy
	G: General Surgery
	H: Paediatric Oncohaematology
	I: Endocrinology
	L: Heart Surgery
	M: Intensive Care
	N: Neurology
	O: Neurologic Surgery
	P: Cardiac Care
	Q: Ophthalmology
	R: Psychiatry

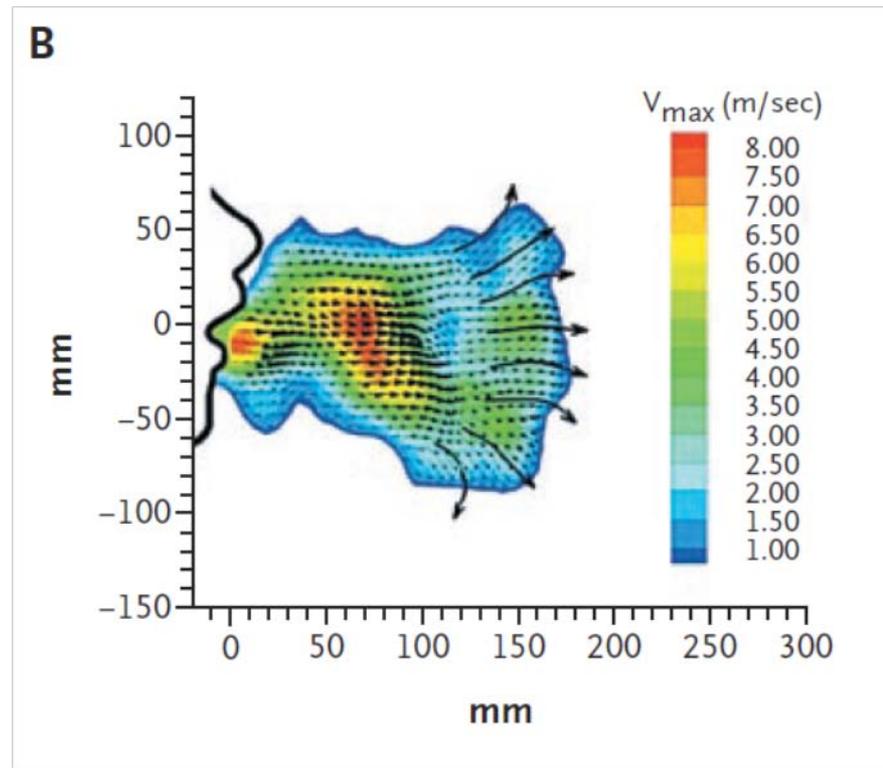
# Autres virus dans l'air

- **Virus contaminants par voie respiratoire:**  
Grippe, VRS, Adenov, Rhinov, Coronav,...  
Rougeole, Oreillons, Rubéole, Parvov B19
- **Virus contaminants par voie digestive:**
  - Rotav, Adv 40 et 41, norov
- **Virus sanguins aérosolisés?**
  - HBV (Petersen 1980), HCV ?

- **Éléments en faveur de la transmission par aérosols:**
  - Survie du virus en aérosols prolongée
  - Faible dose infectante par aérosols (VS)
  - Infectiosité stoppée par UV
  - Présence dans l'air exhalé (toux, exp normale)  $<1\mu\text{m}$
  - Présence dans l'air du local (urgences)
  - Modèle du cobaye
  - Sensible à la T° et HR

# Visualisation des aérosols émis par la toux

Images in clinical medicine, NEJM, Tang 2008



# Measurement of Airborne Influenza Virus in a Hospital Emergency Department

CID 2009

Francoise M. Blachere,<sup>1</sup> William G. Lindsley,<sup>1</sup> Terri A. Pearce,<sup>2</sup>

**Table 1. Clinical investigation of airborne influenza in a hospital emergency department.**

Day	No. of patients reporting influenza-like symptoms	Total no. of stationary samplers	Total no. of personal samplers	Samplers showing results positive for influenza virus	No. of TCID <sub>50</sub> -equivalent RNA particles detected in the sampler			
					First stage	Second stage	Filter	Total
1	4	9	4	Waiting room (lower sampler)	460	0	0	460
				Waiting room (upper sampler)	0	13,426	2852	16,278
				Reception and triage room	0	1941	0	1941
				Personal sampler (physician 1)	3160	0	0	3160
				Personal sampler (physician 2)	309	0	0	309
				Personal sampler (physician 3)	0	4623	0	4623
2	0	13	0	Waiting room, (upper sampler)	1114	0	0	1114
3	5	13	1	None	...	...	...	...
4	3	13	0	Children's waiting room (lower sampler)	4025	11,040	0	15,065
				Children's waiting room (upper sampler)	5762	<100	0	5762
				Waiting room (lower sampler)	15,532	0	0	15,532
				Waiting room (lower sampler)	0	1367	0	1367

**NOTE.** TCID<sub>50</sub>, median tissue culture infective dose.

53% des particules de VI sont dans la fraction respirable

# Conclusion: l'air vecteur et réservoir microbiologique

- **Modes de transmissions non mutuellement exclusifs:**
  - Transmission par aérosols
  - Transmission par gouttelettes de proximité
  - Auto-inoculation nasale (mains)
- **Risque infectieux par voie aérienne:**  
exposition/virulence/réceptivité
- **Exposition et risque à évaluer agent par agent:**
  - Règne
  - Genre
  - Espèce
  - Clusters...

# Conclusion: l'air vecteur et réservoir microbiologique

- **Comportement aérien** selon taille et survie
- Une meilleure compréhension du mode de transmission permet une meilleure approche des **stratégies de prévention**
- La **métrologie** est un élément déterminant: méthode de prélèvement et d'analyse biologique
- Intérêt de la **modélisation des aérosols** spécifiques de petite taille pour déterminer:
  - distance de propagation et durée de survie,
  - seuil d'infectiosité,
  - effet des paramètres ambiants et de la vitesse de l'air..

1. Échantillonnage
2. Analyse biologique qualitative et quantitative

# Echantillonnage des aérosols

- **Pas de protocole standardisé**, Pas de dispositif universel
- **Référentiel :**
  - « Surveillance microbiologique de l'environnement dans les établissements de santé : air, eaux et surfaces » Ministère de la Santé, DGS/DHOS, CTIN, 2002 [www.sante.gouv.fr/htm/pointsur/nosoco/recofin.pdf](http://www.sante.gouv.fr/htm/pointsur/nosoco/recofin.pdf)
  - Norme NF EN ISO 14644-1 ... (NFS 90351)
  - Norme NF EN ISO 14698-1 ... (NFS 90351)
  - Norme NF S 90-351 (Qualité de l'air au bloc opératoire)
  - SFHH recommandations d'experts 2004

# Méthodes de prélèvement

- Système inertiel (masse): Impaction en milieu solide

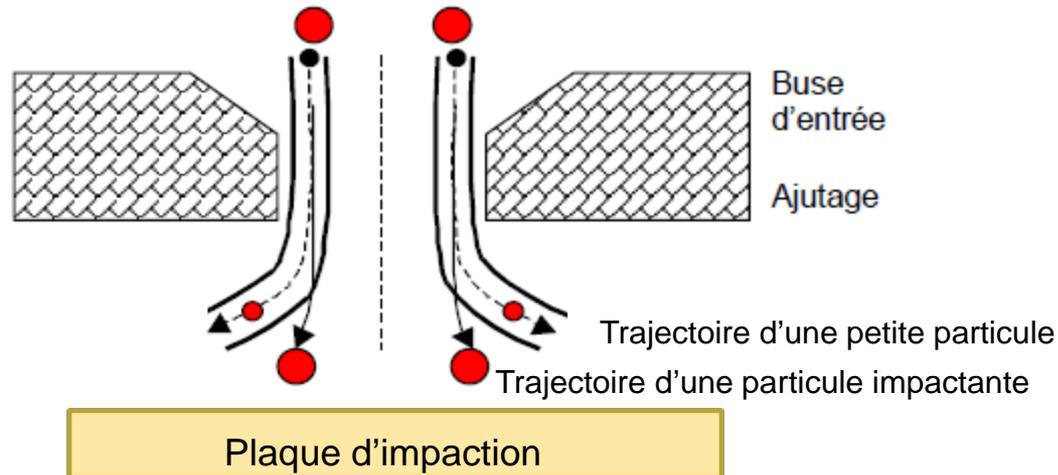
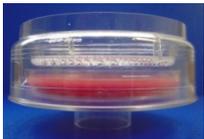


schéma de la séparation des particules par impaction (Renoux et Boulaud, 1998).

# Méthodes de prélèvement

- Système inertiel (masse): Impaction en milieu solide



BPU Acanthe



Sampl'air



MD8 Sartorius



SAS 1100  
PBI



GS100 Sarstedt



Climet



Airideal  
Biomérieux



Lighthouse



MairT Millipore



PMT

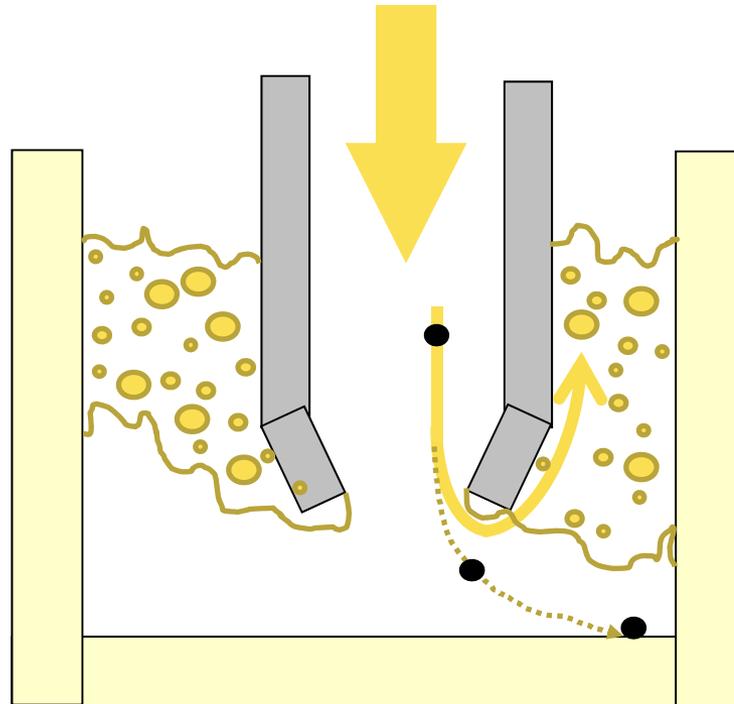


Check'air  
RAI

schéma de la séparation des particules par impaction (Renoux et Boulaud, 1998).

# Méthodes de prélèvement

- Mesure en masse: Impaction en milieu liquide « impingement »



D'après Buttner *et al.*, 1997.

# Méthodes de prélèvement

- Mesure en masse: biocollecteur centrifuge (cyclonique)

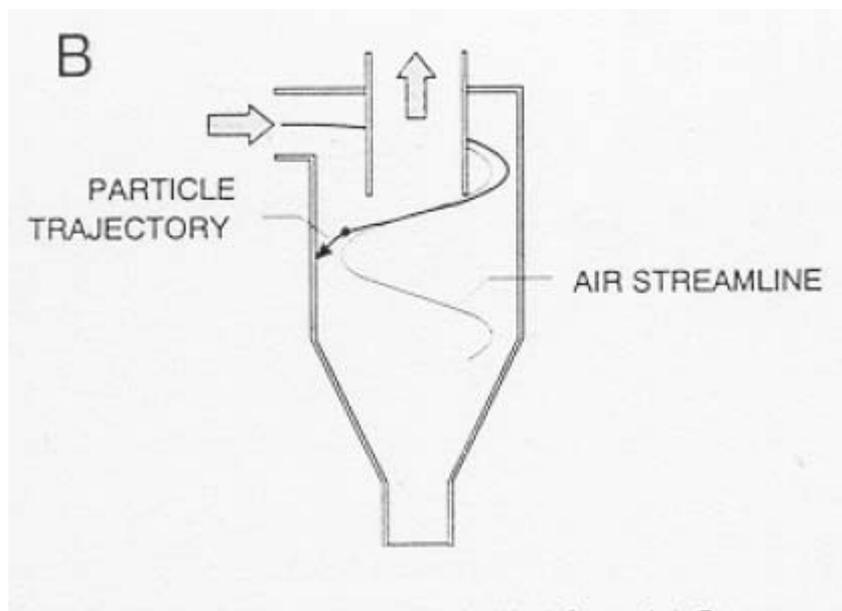


Figure 10 : Schéma du flux d'air dans le cyclone.

# Méthodes de prélèvement

- Mesure en masse: biocollecteur centrifuge (cyclonique)



SASS 23000

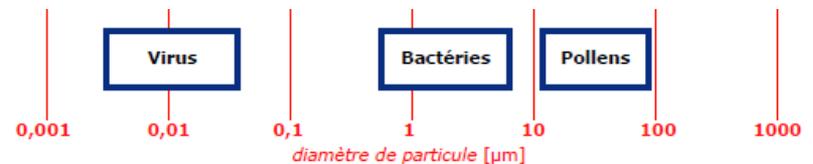


Coriolis  $\mu$

## • Media filtrants

- Filtres en fibres (poussières)
- Membrane (dépôt de surface ou interne)
  - Ester/nitrate de cellulose
  - PVC
  - PTFE
  - Gel de gélatine
  - polycarbonate (dépôt de surface, couplage à des marqueurs)

Dimensions-types granulométriques  
selon la catégorie de MO:



# Méthodes de prélèvement

- **Media filtrants**



Membrane en gélatine



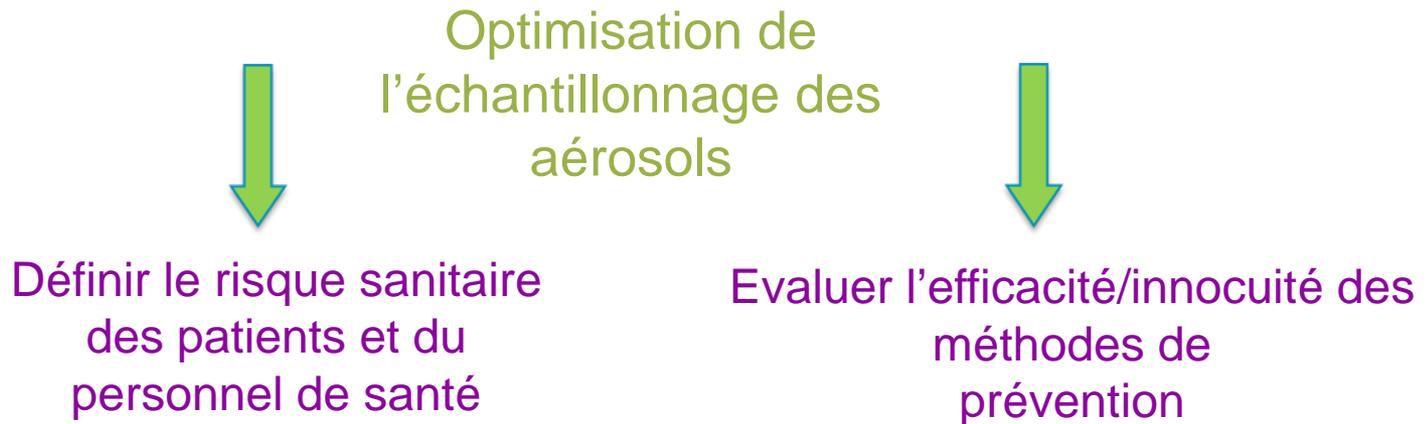
Membrane Electret

- lecture optique

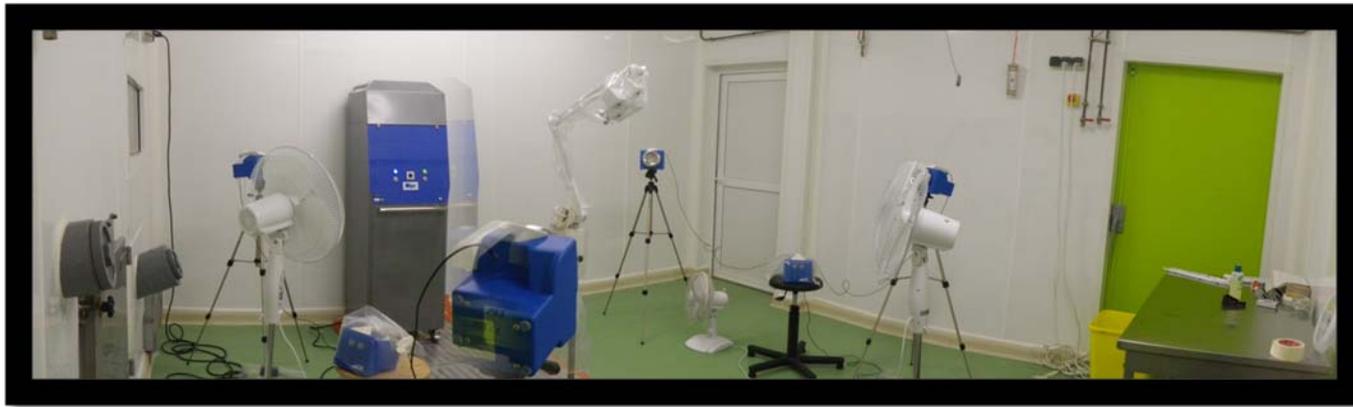


Optique, fluorescence (NADH, acide dipicolinique),

## Amélioration de la Qualité des Soins Qualité de l'air à l'hôpital



# Salle expérimentale d'aérosolisation d'agents infectieux





**Merci pour votre attention**