

**La santé humaine est le premier critère de mesure de la performance des bâtiments**

**Stephanie Taylor, M.D., M Arch.**



# Bonjour ! Je suis honorée d'être ici pour vous parler.



HARVARD  
MEDICAL SCHOOL



## Recherche

- Contrôle des infections à l'Hôpital général du Massachusetts
- Représentante de Harvard Medical InCite Health

## ASHRAE

- Conférencière distinguée
- Groupe de travail sur les épidémies
- Membre du « Environmental Health Committee »
- Lauréate du prix "Presidential Award Winner"



## Building4Health

- PDG et fondatrice

**Stephanie Taylor, M.D., M Arch.**



**& Luigi**

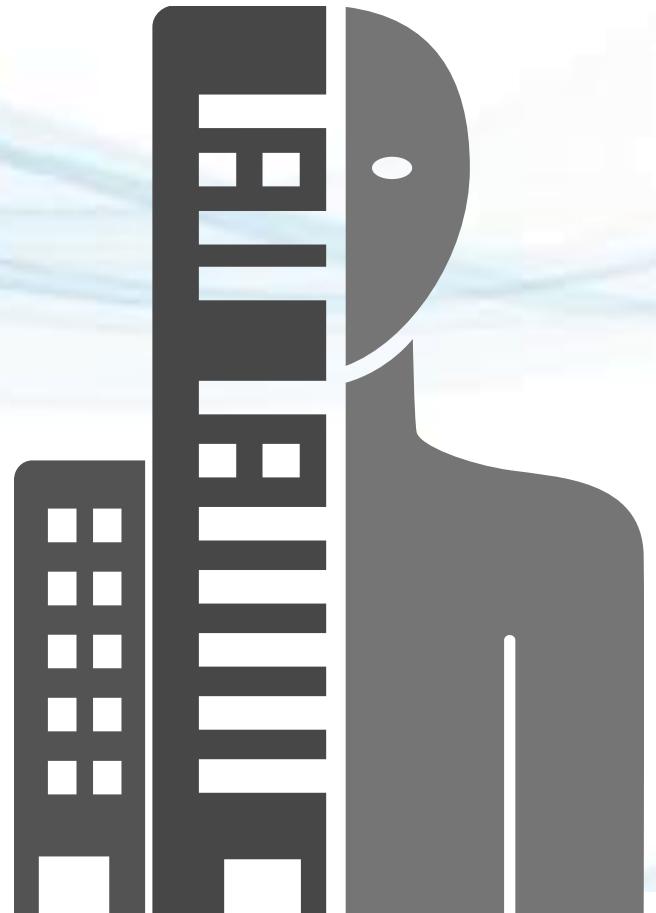
# Remerciements

- **M. Colin Tasi, MD, MBA:** Hôpital général du Massachusetts, Hôpital Brigham & Women's, Programme de médecine d'urgence de Harvard
- **Stan Finkelstein, MD:** École de médecine de Harvard, Institut de technologie du Massachusetts pour les données, les systèmes et la société
- **Lisa Robinson, MPP:** École de santé publique T.C. Chan de Harvard, Centre pour la science des décisions de santé
- **John Levy , PhD:** École de santé publique de l'Université de Boston, département de la santé environnementale
- **Building4Health:** Peter Taylor, Olivia Saber, Yaron Yaniv, Francis Caruccio, Gene Lochart, Oliver Zimmermann

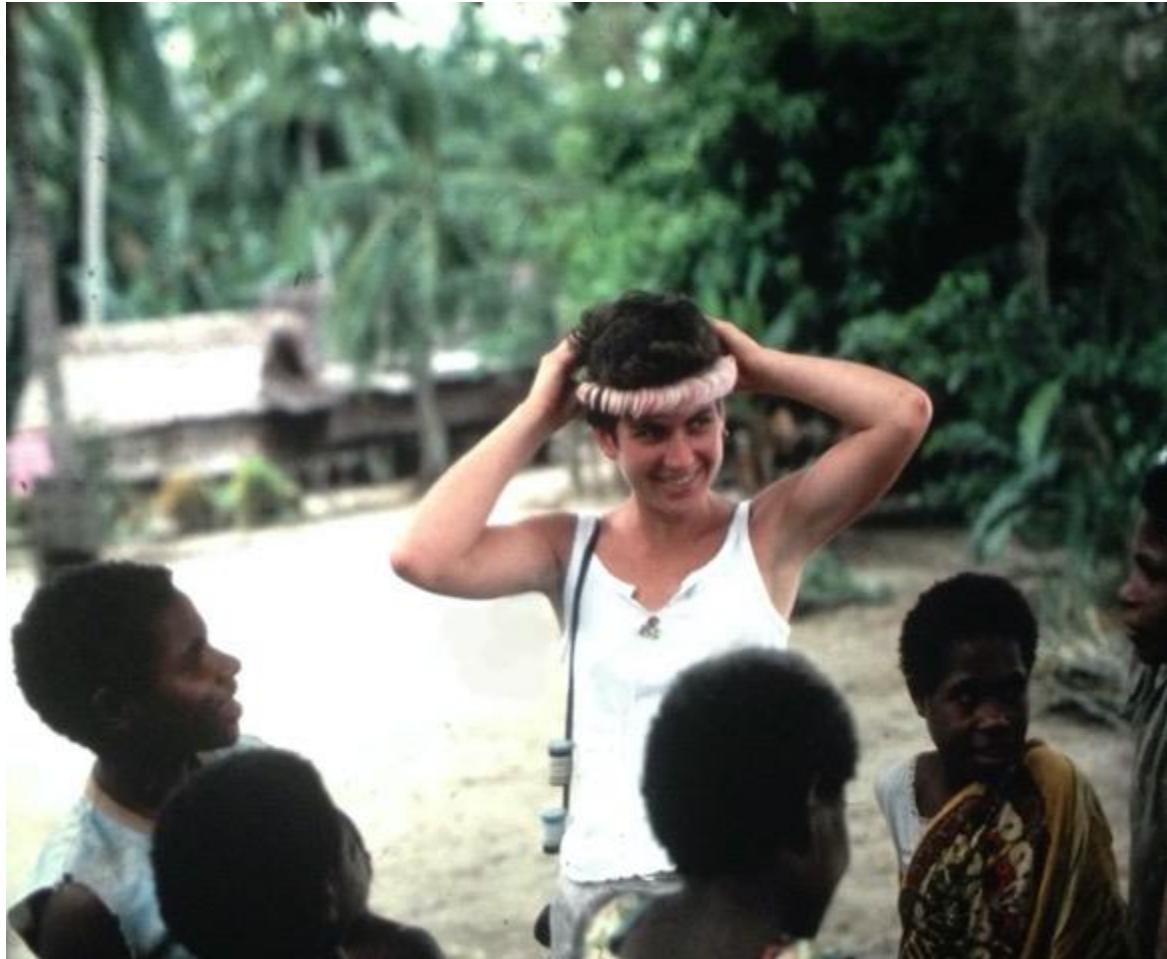
# Sommaire



- I. La gestion de l'environnement intérieur en faveur de la santé est puissante, éthique et rentable
- II. Comment mesurer le rapport entre la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé
- III. Conclusions : une humidité relative intérieure de 40 à 60 % est essentielle pour la santé des occupants
- IV. Dire « oui » à la gestion de votre environnement intérieur ou comment préserver une bonne santé.



# Mon parcours a commencé en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en 1983



# Des surfaces sales, mais peu d'infections

Wewack General Hospital, Papua  
New Guinea 1983



Pourtant, dans les pays développés, 1 700 000 patients par an sont victimes d'une infection nosocomiale

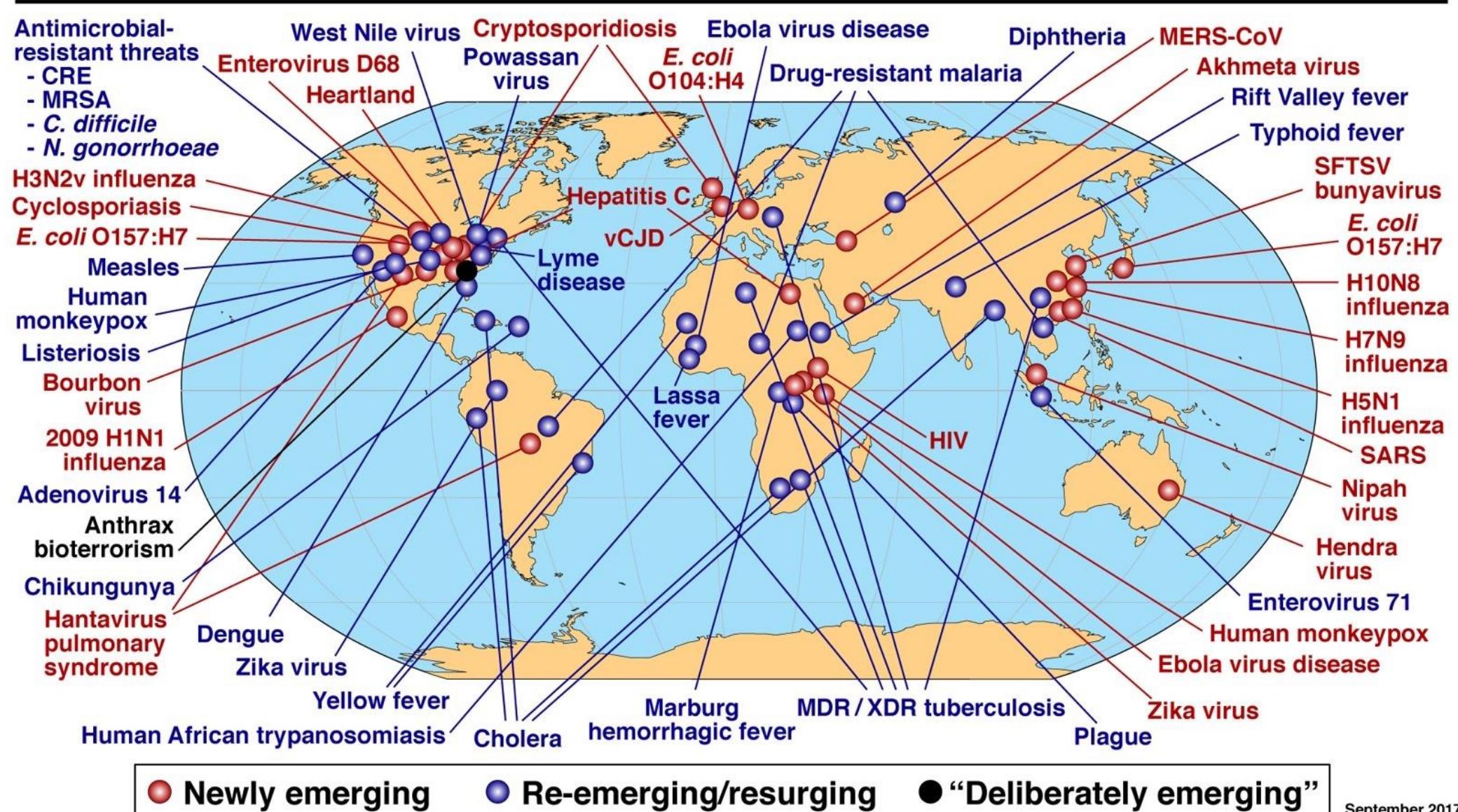


***“Ne sous-estimez jamais le rôle de l'environnement!”***



Le chef du service de chirurgie de la faculté de médecine de Harvard, M. Judah Folkman, M.D., travaillant avec l'étudiant en médecine S. Taylor

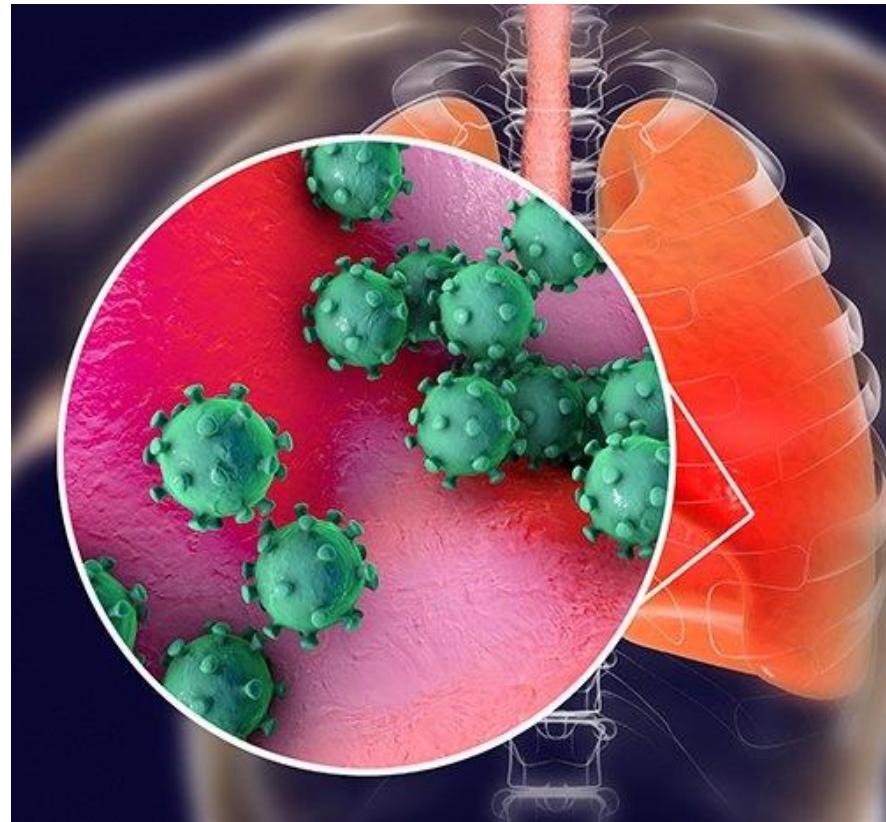
# Exemples mondiaux de maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes



**Les virus transmis par voie aérienne qui peuvent muter et survivre dans des conditions hostiles provoquent des pandémies.**



La grippe espagnole de 1918



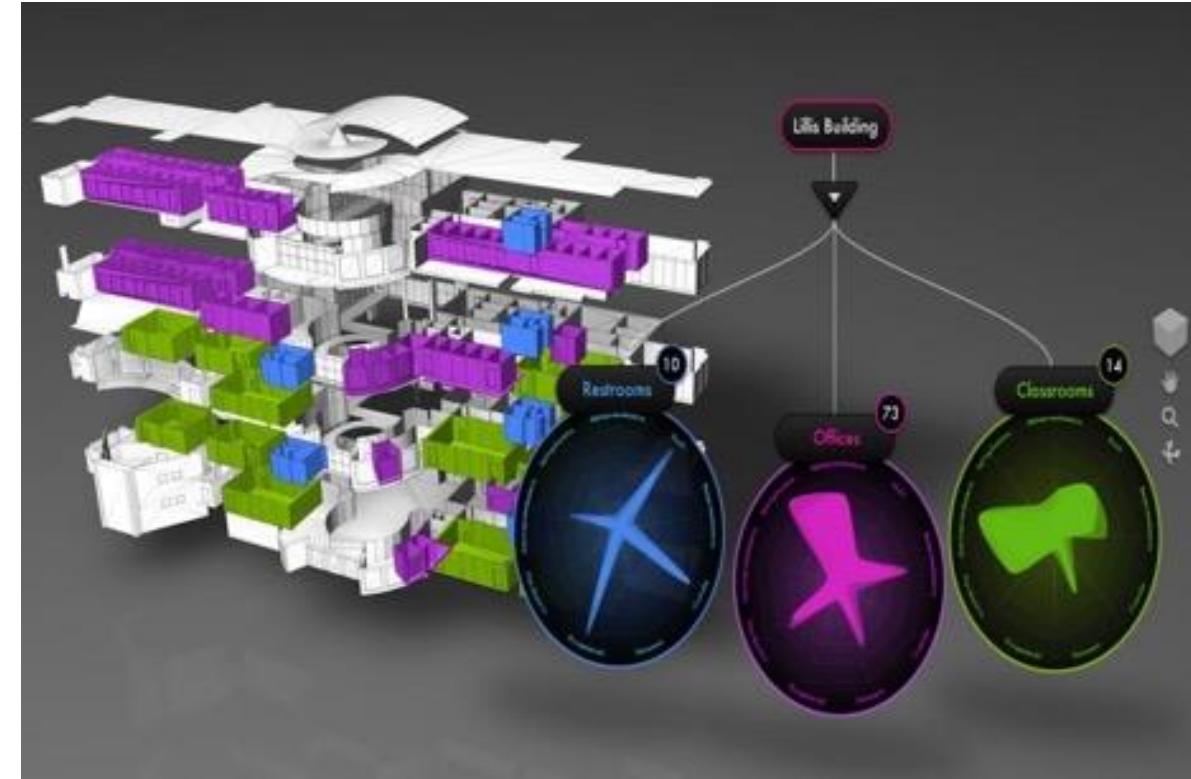
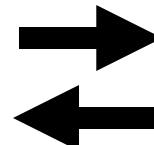
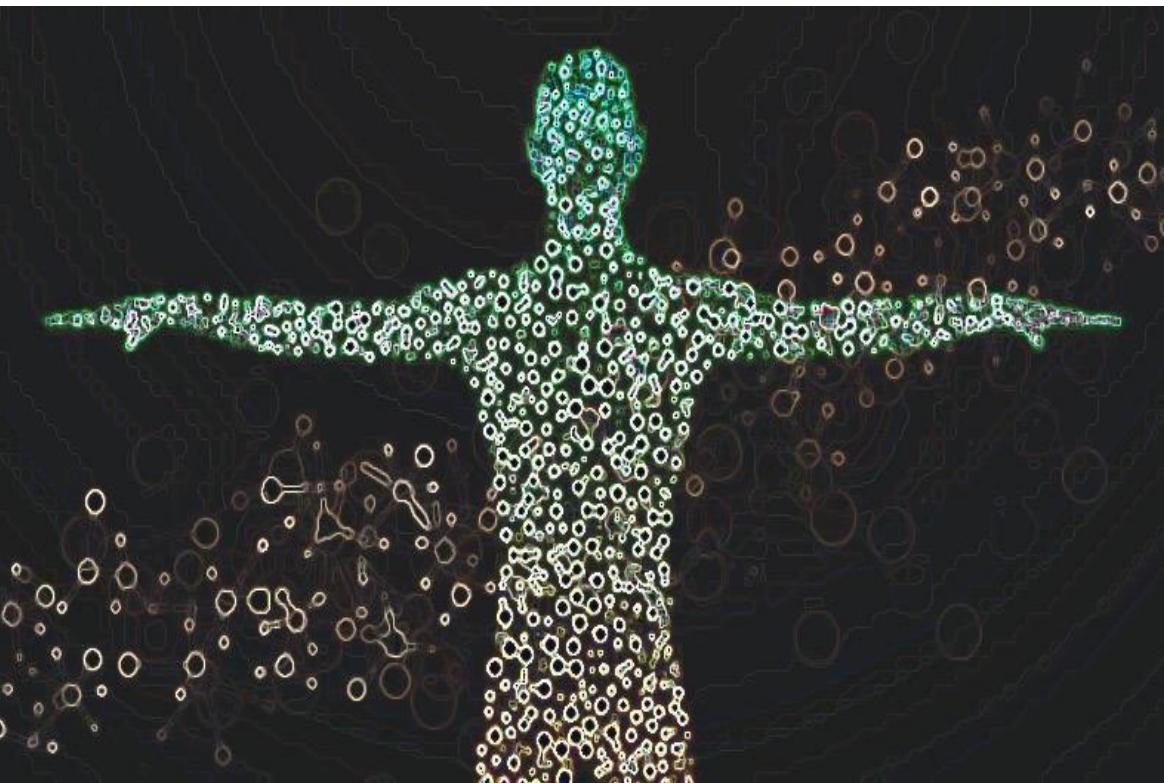
COVID-19

**Nous devons gérer nos bâtiments pour à la fois diminuer  
l'infectivité des agents pathogènes et soutenir l'immunité humaine.**

# Microbes are our roommates

Video

# Les données issues de nouveaux outils ont révolutionné notre compréhension des microbes intérieurs



Les humains envoient 37 millions de microbes par personne et par heure dans les bâtiments

L'air intérieur et les matériaux de surface déterminent les microbes bactériens, viraux et fongiques par le biais de la « loi du plus fort ».

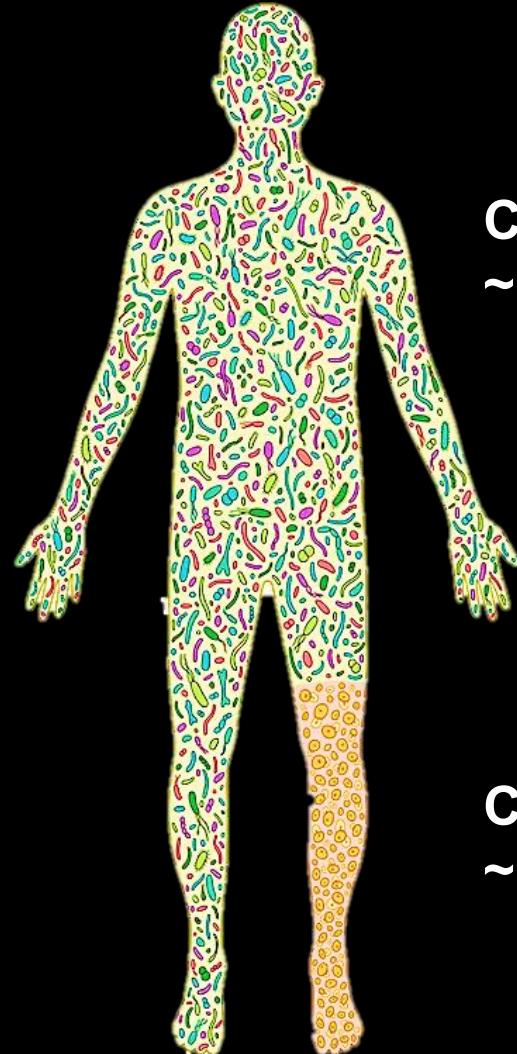
# Nous avons appris que chacun d'entre nous est plus microbien qu'humain !

Ne vous inquiétez pas, la plupart de ces microbes sont bons pour nous, ils aident notre :

- ✓ digestion et métabolisme
- ✓ santé mentale
- ✓ système immunitaire

En revanche, les déséquilibres microbiens sont associés :

- ✓ aux maladies inflammatoires
- ✓ à l'obésité
- ✓ aux troubles neurologiques

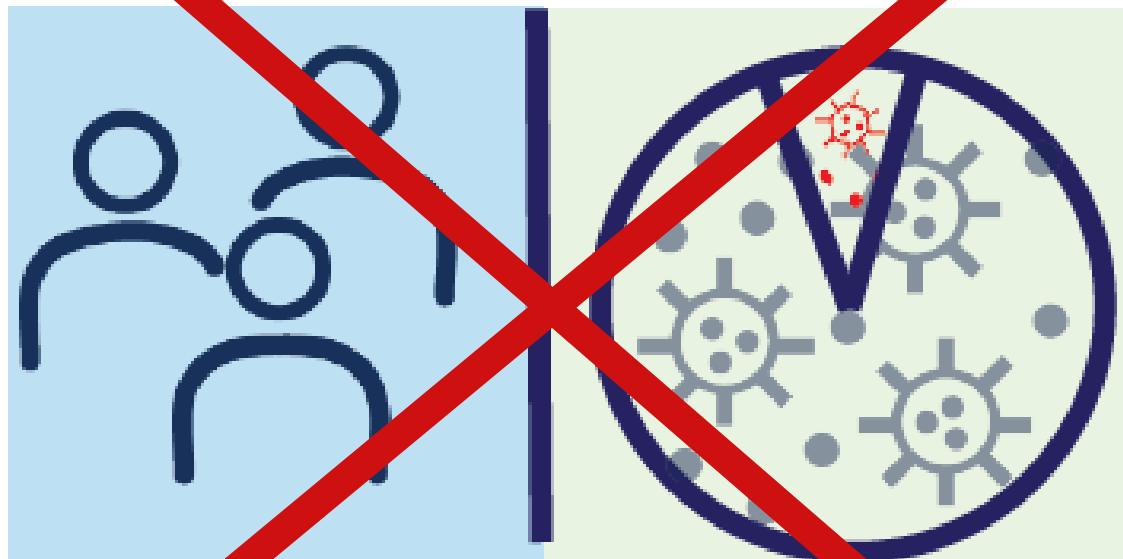


**Cellules microbiennes**  
~ 100 trillions

**Cellules humaines**  
~ 30 trillions

# Nous avons besoin des bons microbes, car ils ne sont pas tous mauvais !

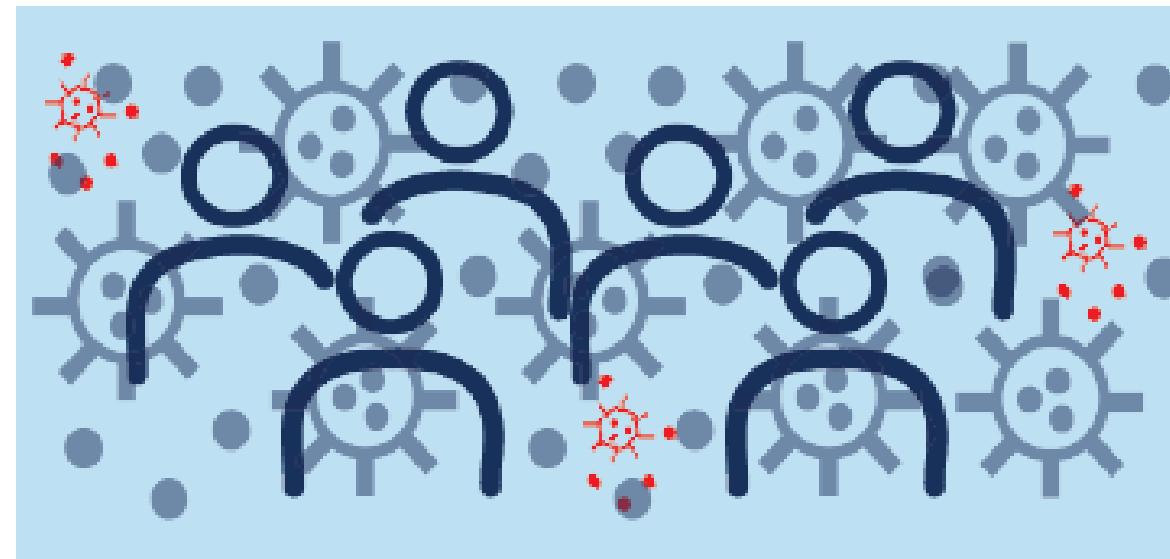
Approche historique (**et incorrecte**)  
de l'hygiène



"Tous les microbes sont de mauvais germes qui nécessitent une éradication totale."

En réalité, seul un petit pourcentage de microbes sont des agents pathogènes responsables de maladies.

Approche moderne (**et correcte**)  
de l'hygiène



"Les bons microbes sont essentiels à notre santé."

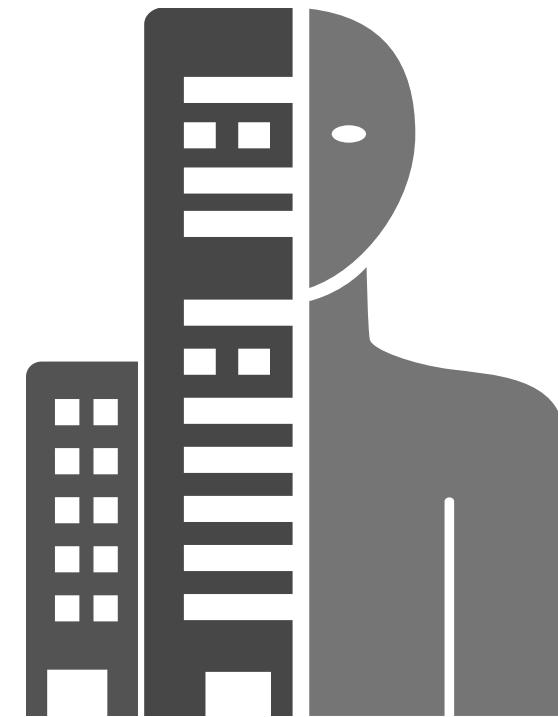
**Les bons microbes contribuent  
à prévenir les maladies !**

# Nous devons unir la gestion de l'environnement intérieur et la médecine

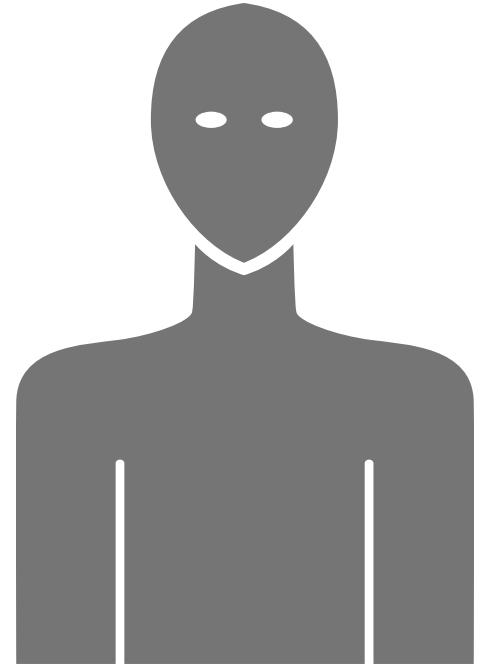


## Gestion des bâtiments

- Réduire la consommation d'énergie
- Éviter les catastrophes
- Suivre les meilleures pratiques et les codes



**La santé des occupants est la clé de la gestion des bâtiments**

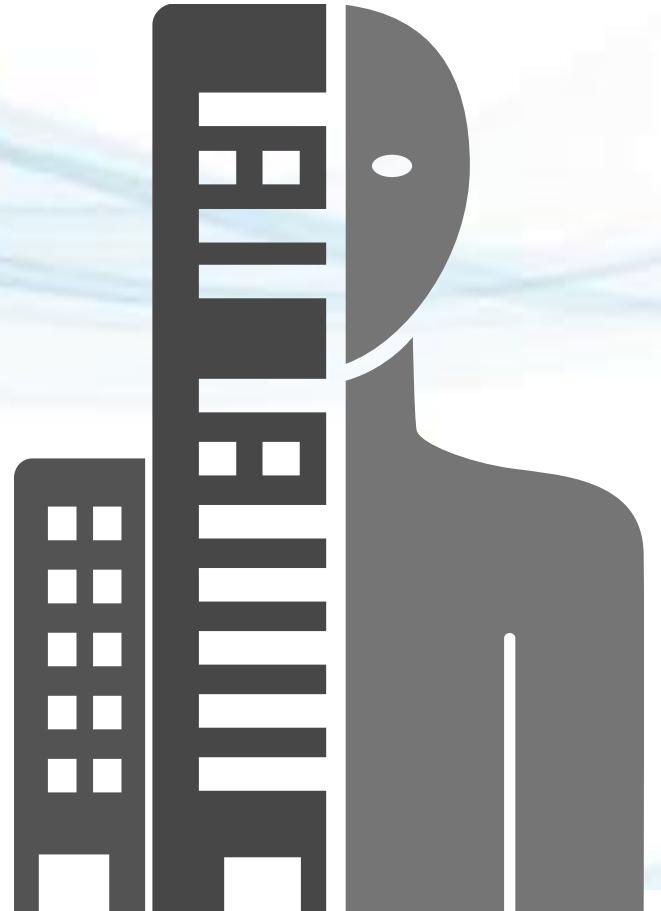


## Soins médicaux

- Soigner les patients
- Suivre les protocoles cliniques
- Éviter les poursuites judiciaires

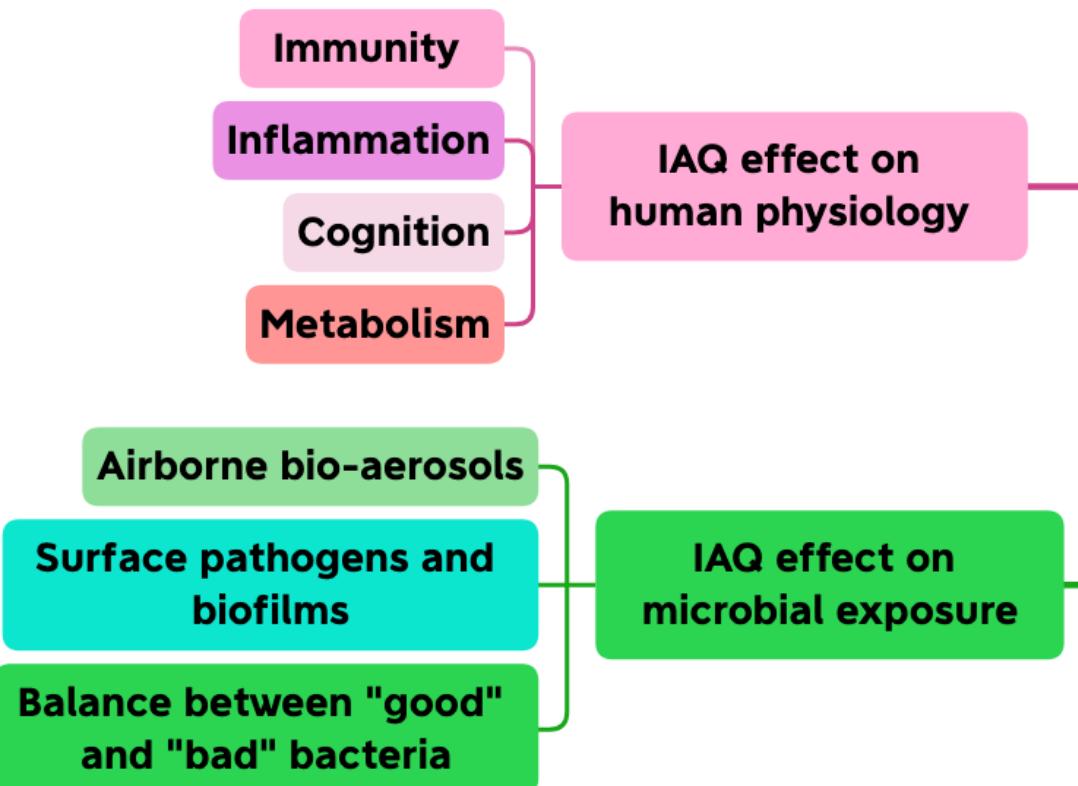
# Sommaire

- I. La gestion de l'environnement intérieur en faveur de la santé est puissante, éthique et rentable
- II. Comment mesurer le rapport entre la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé
- III. Conclusions : une humidité relative intérieure de 40 à 60 % est essentielle pour la santé des occupants
- IV. Dire « oui » à la gestion de votre environnement intérieur ou comment préserver une bonne santé.

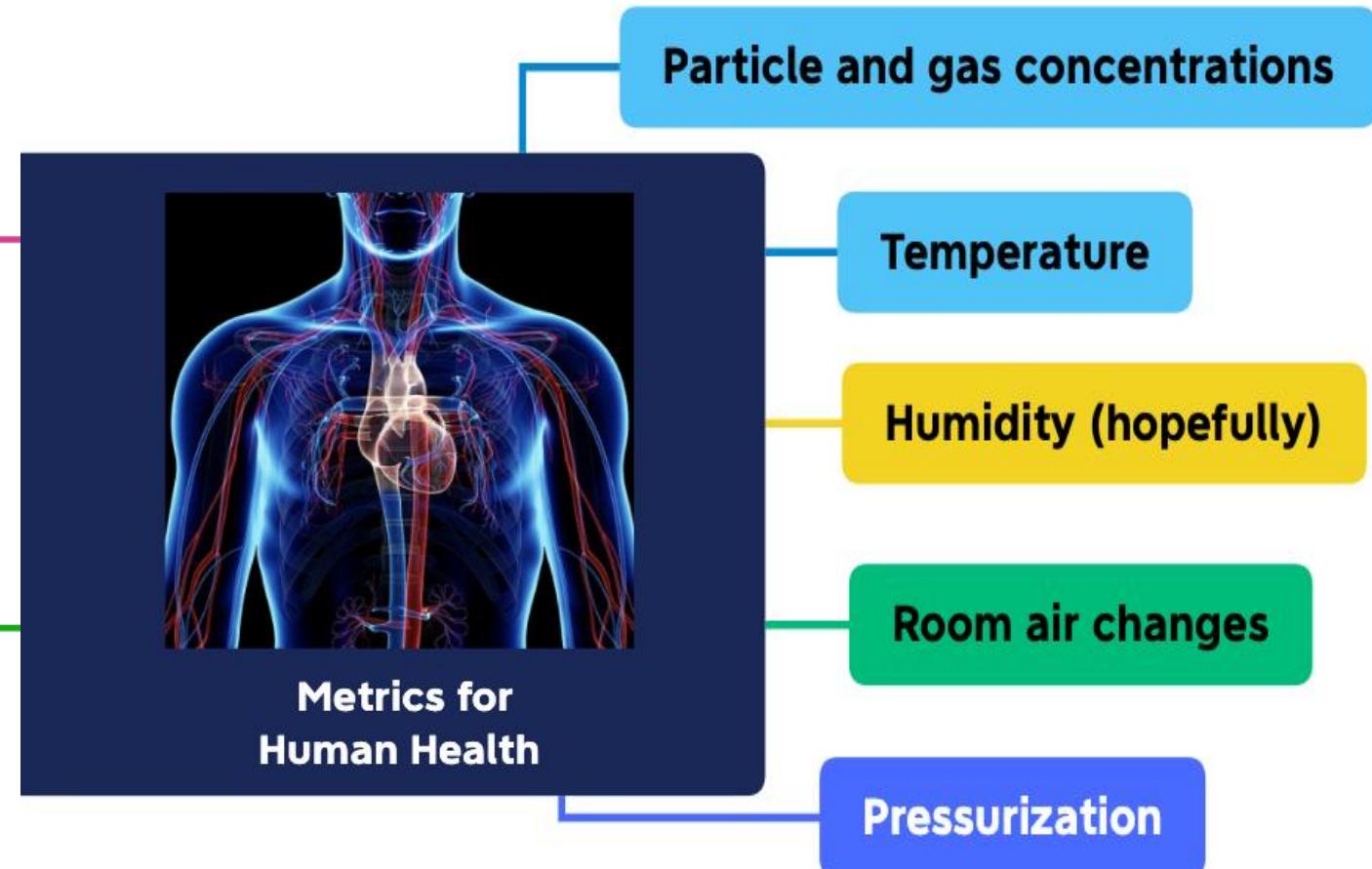


# Aller au-delà des mesures traditionnelles pour prendre en compte les occupants humains

## *Optimiser la santé des occupants*



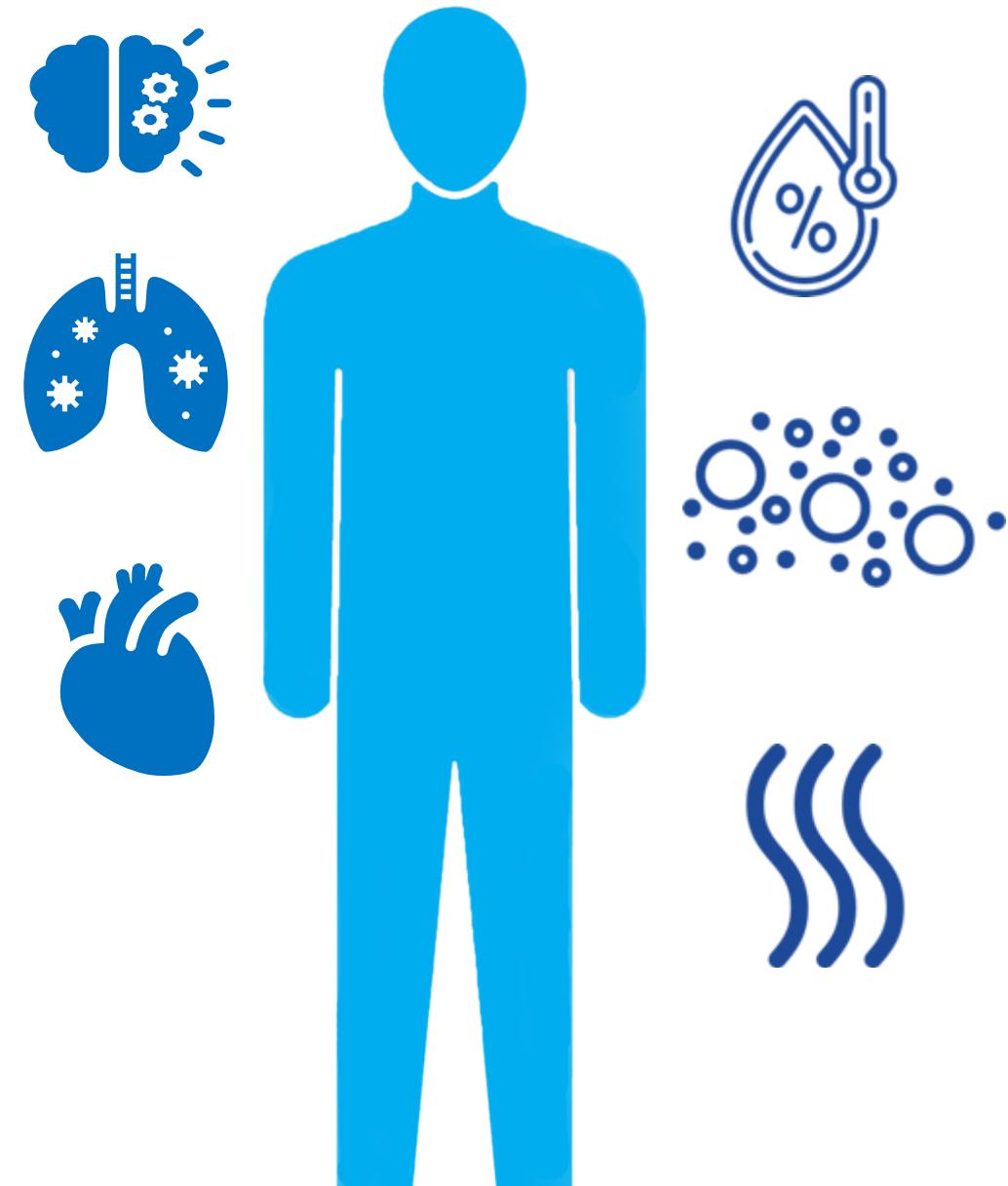
## *Optimiser les économies d'énergie*



# Identifier les principaux composants de la QAI qui ont un impact sur la santé

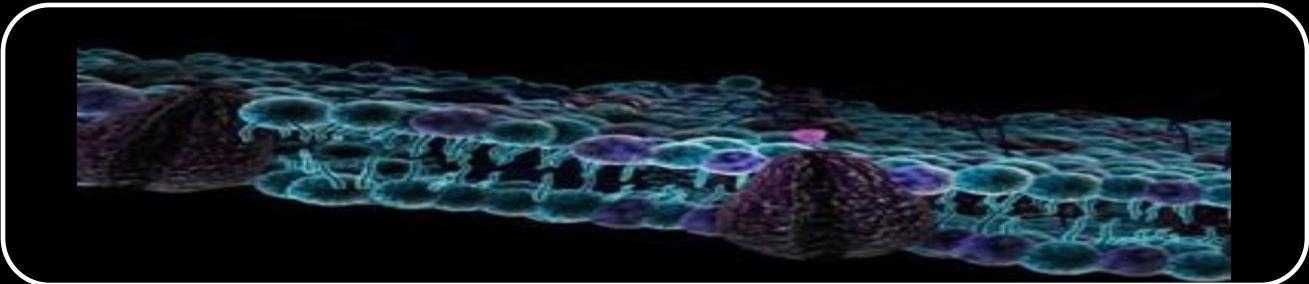
11 paramètres intérieurs qui, seuls ou combinés, ont des **effets physiologiques quantifiables** sur la santé des occupants dans un court laps de temps :

- Fonctionnement et productivité du cerveau
- Infections et inflammation
- Fonction cardiaque et coagulation sanguine
- Métabolisme et hormones



# Quantifier l'impact des composantes de la QAI sur la santé humaine

NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, COV, les particules pénètrent les membranes cellulaires, modulées par les conditions thermiques



Cela affecte le cerveau, les systèmes respiratoire et cardiaque, la peau et les membranes de recouvrement



Ces effets biologiques peuvent être quantifiés et rapportés pour comprendre l'assainissement



# Étapes de la gestion de la QAI pour la santé des occupants

## MESURE

**1** DES CAPTEURS SURVEILLENT EN PERMANENCE LES MESURES CLÉS DE L'QAI



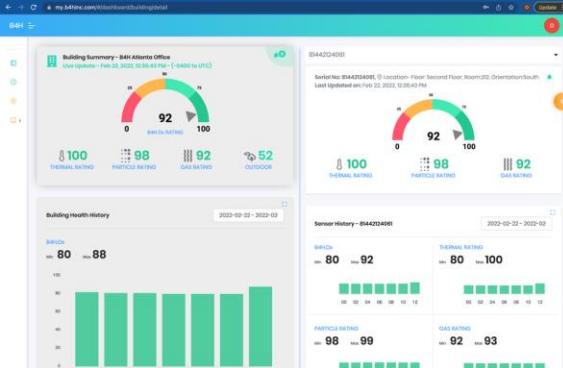
## ANALYSE

**2** UN ALGORITHME BREVETÉ CALCULE LE SCORE DE SANTÉ



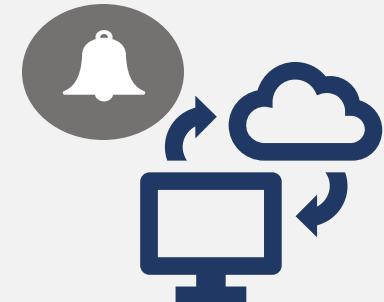
## RAPPORT

**3** LA PLATEFORME QAI VISUALISE ET GÈRE LES DONNÉES



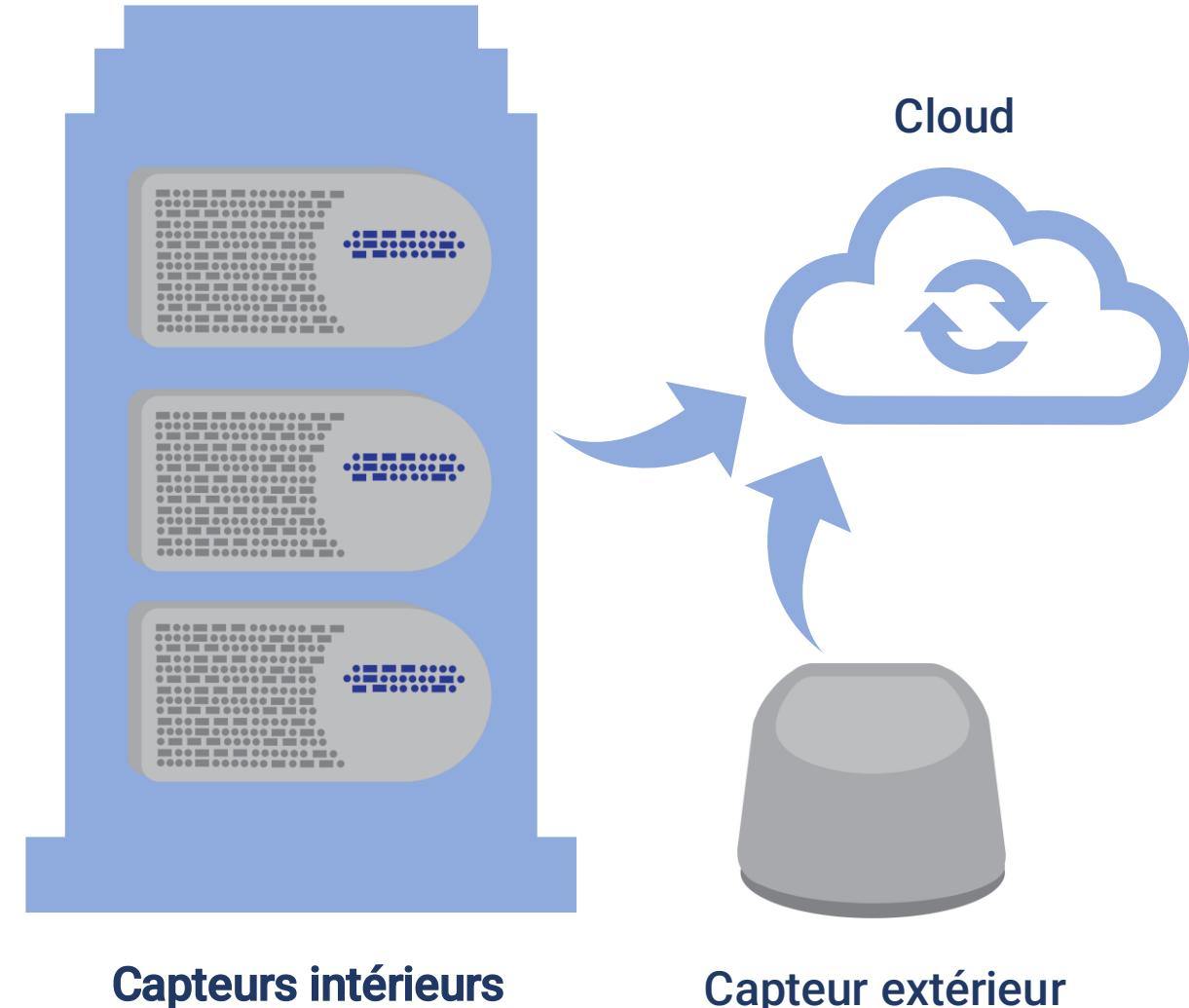
## REMÈDE

**4** ALERTES EN TEMPS RÉEL, ÉTAPES DE REMÉDIATION & REMESURE

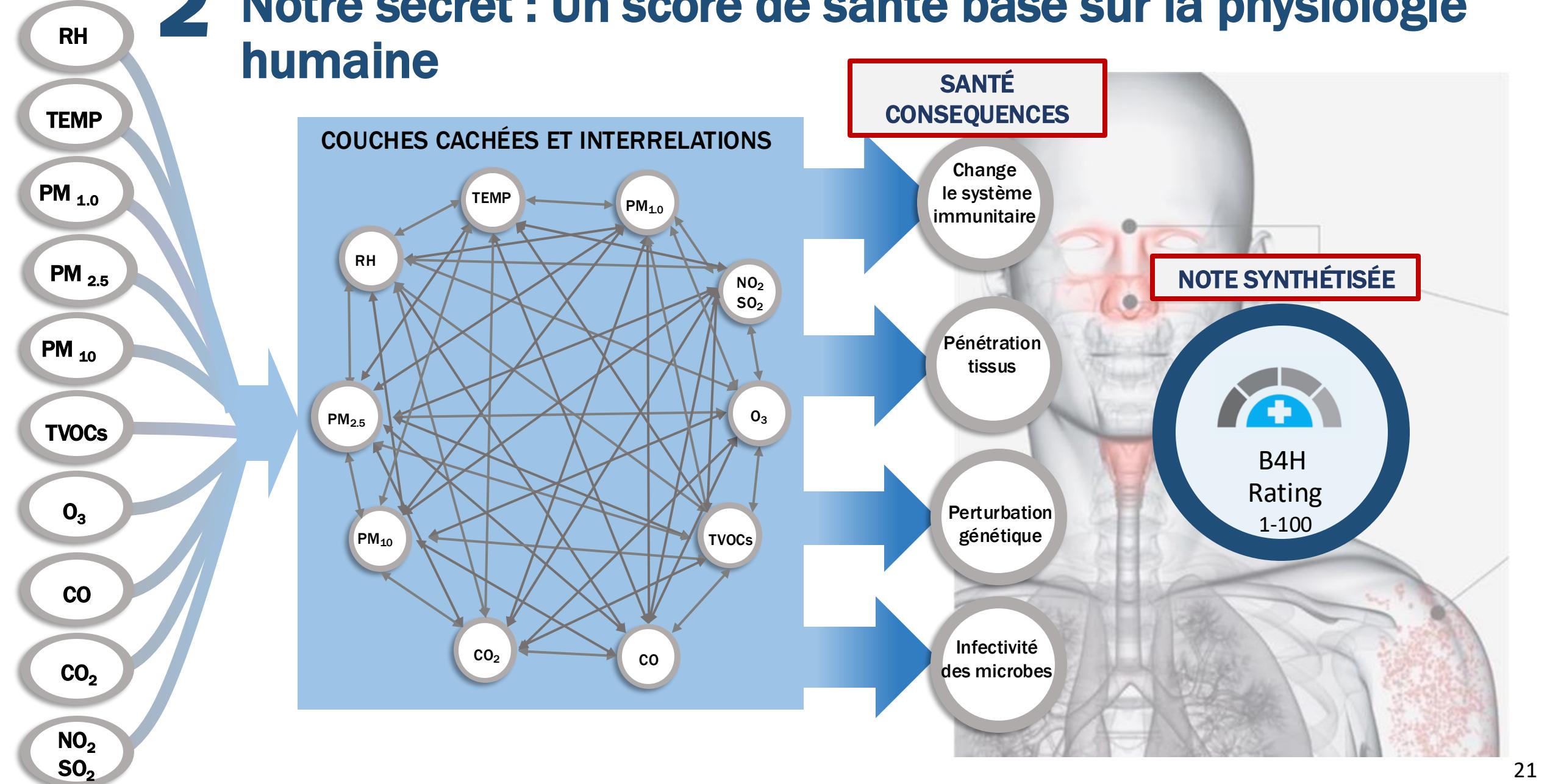


# 1 Mesurer la qualité de l'air avec des capteurs précis et accessibles

- Capteurs testés pour leur précision, leur fiabilité et leur capacité à répondre aux besoins de collecte de données
- **Plage de couverture :** Up to 7000 Sq. Ft.



## 2 Notre secret : Un score de santé basé sur la physiologie humaine



# Étapes de la gestion de la QAI pour la santé des occupants

## MESURE

**1** DES CAPTEURS SURVEILLENT EN PERMANENCE LES MESURES CLÉS DE L'QAI



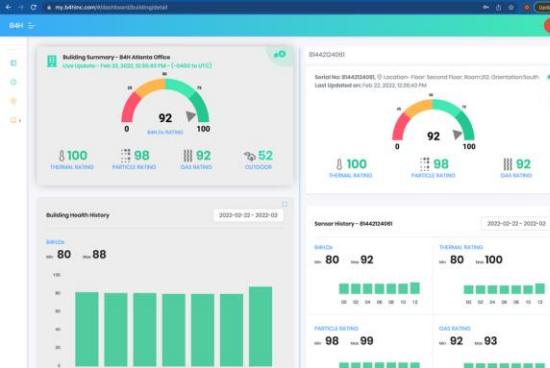
## ANALYSE

**2** UN ALGORITHME BREVETÉ CALCULE LE SCORE DE SANTÉ



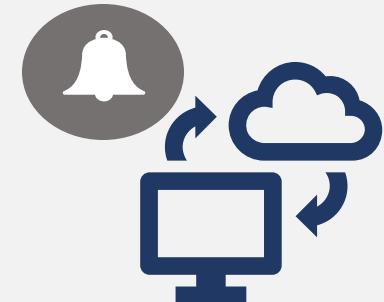
## RAPPORT

**3** LA PLATEFORME QAI VISUALISE ET GÈRE LES DONNÉES



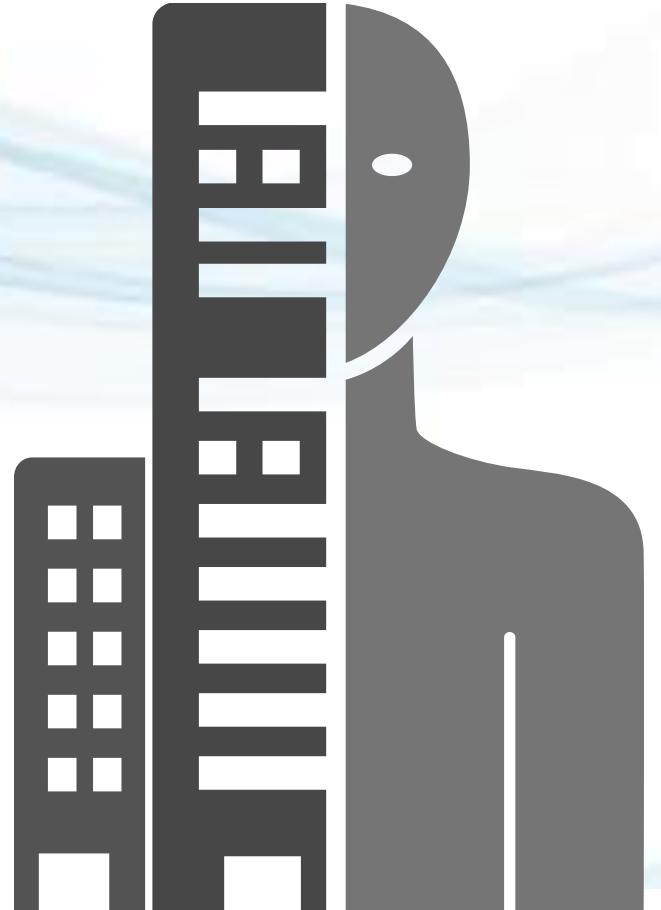
## REMÈDE

**4** ALERTES EN TEMPS RÉEL, ÉTAPES DE REMÉDIATION & REMESURE

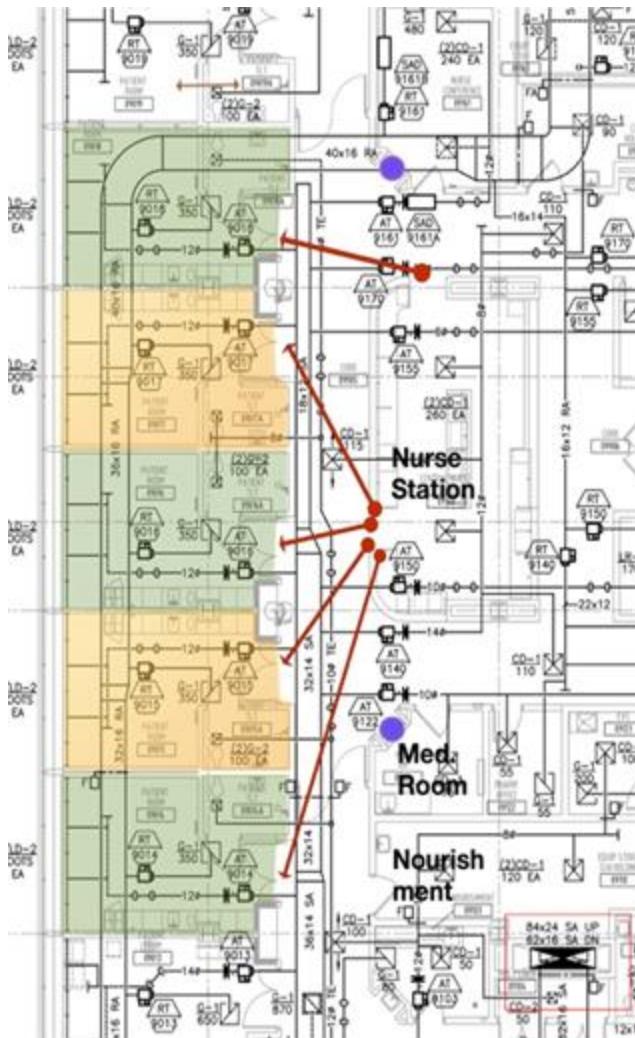


# Sommaire

- I. La gestion de l'environnement intérieur en faveur de la santé est puissante, éthique et rentable
- II. Comment mesurer le rapport entre la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé
-  III. Conclusions : une humidité relative intérieure de 40 à 60 % est essentielle pour la santé des occupants
- IV. Dire « oui » à la gestion de votre environnement intérieur ou comment préserver une bonne santé.

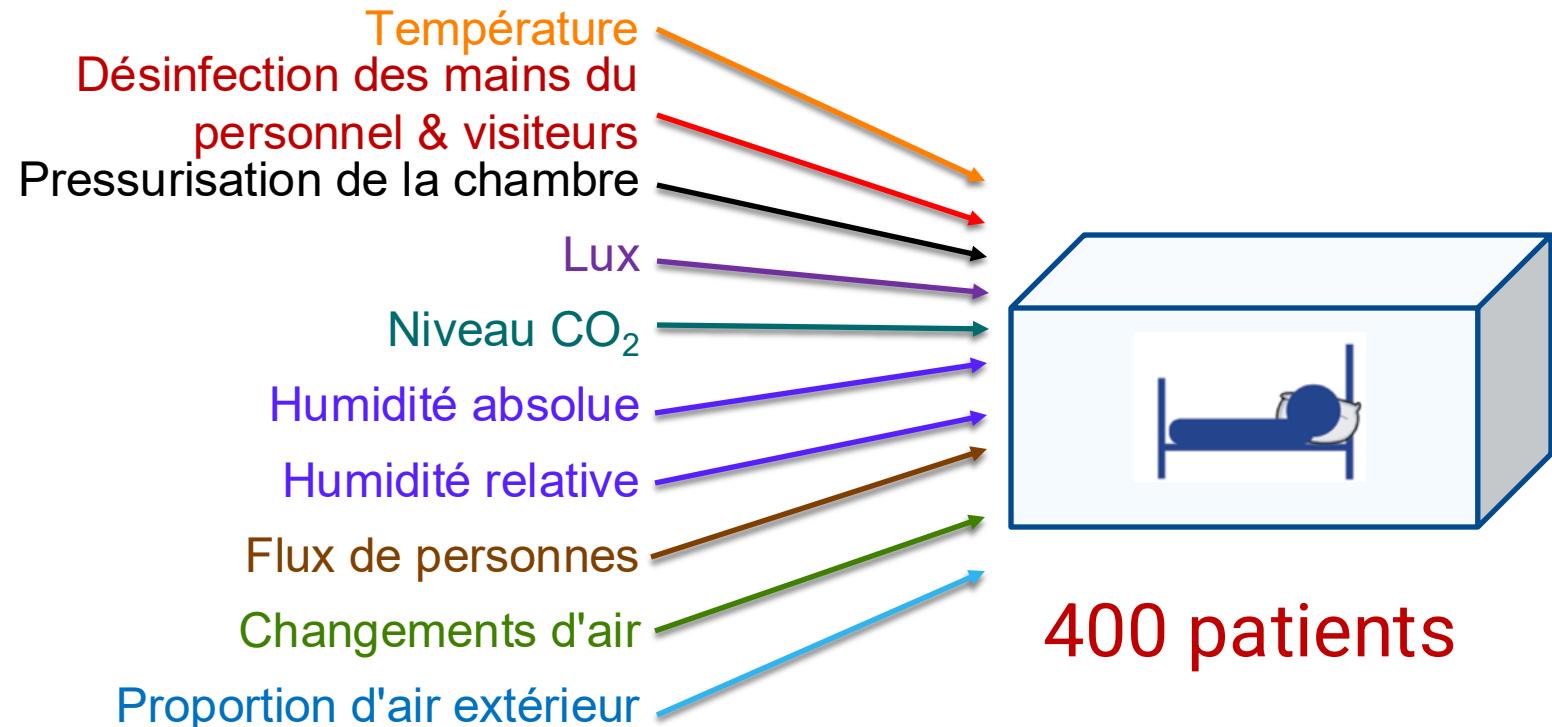


# Étude préliminaire sur les résultats des patients et la QAI



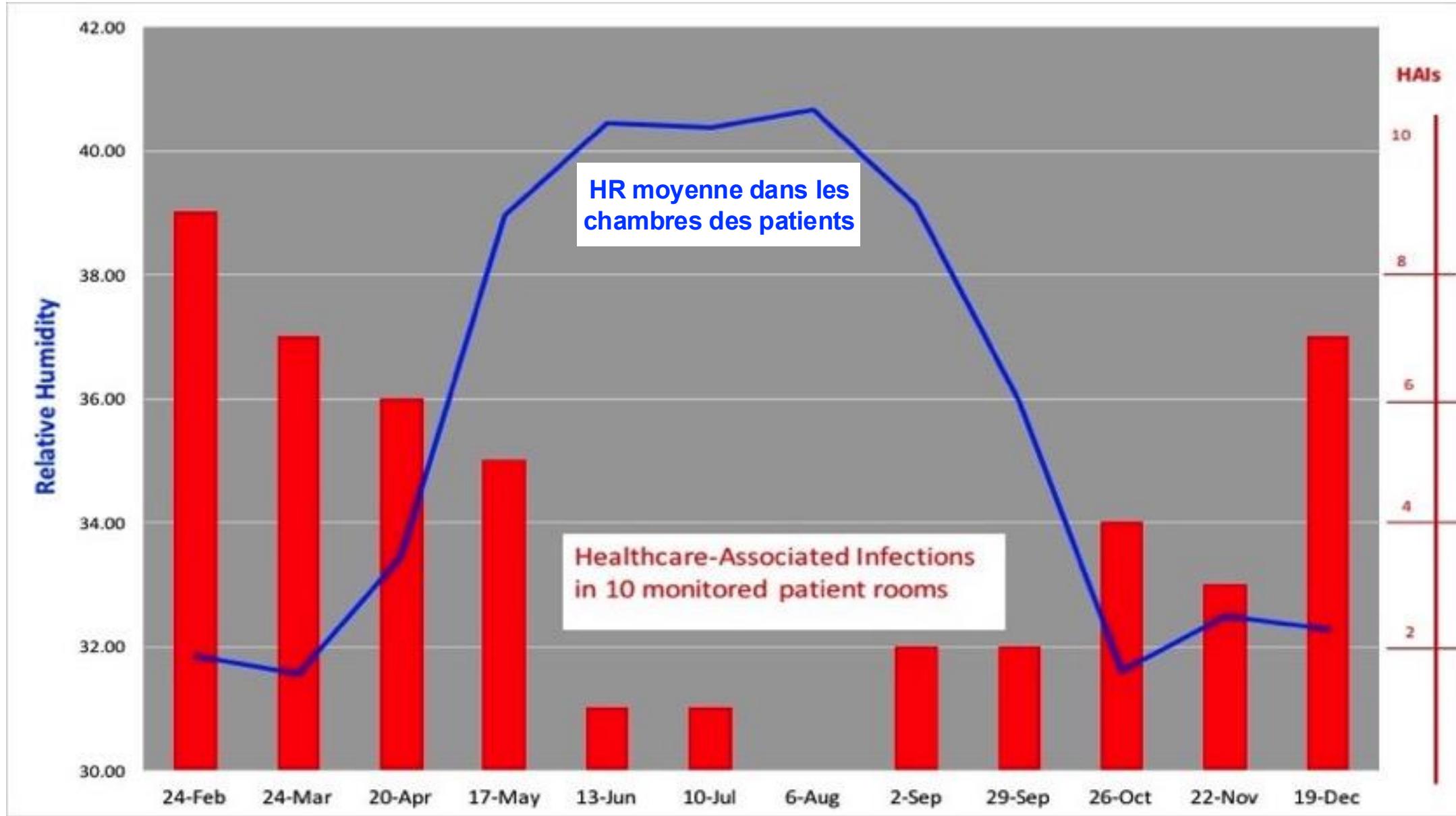
## Conception de l'étude

Comparer les données relatives aux chambres des patients aux infections associées aux soins de santé afin de déterminer les facteurs clés



10 pièces surveillées pendant 13 mois = 8M points de données

# Plus l'humidité relative a diminué, plus les infections ont augmenté !

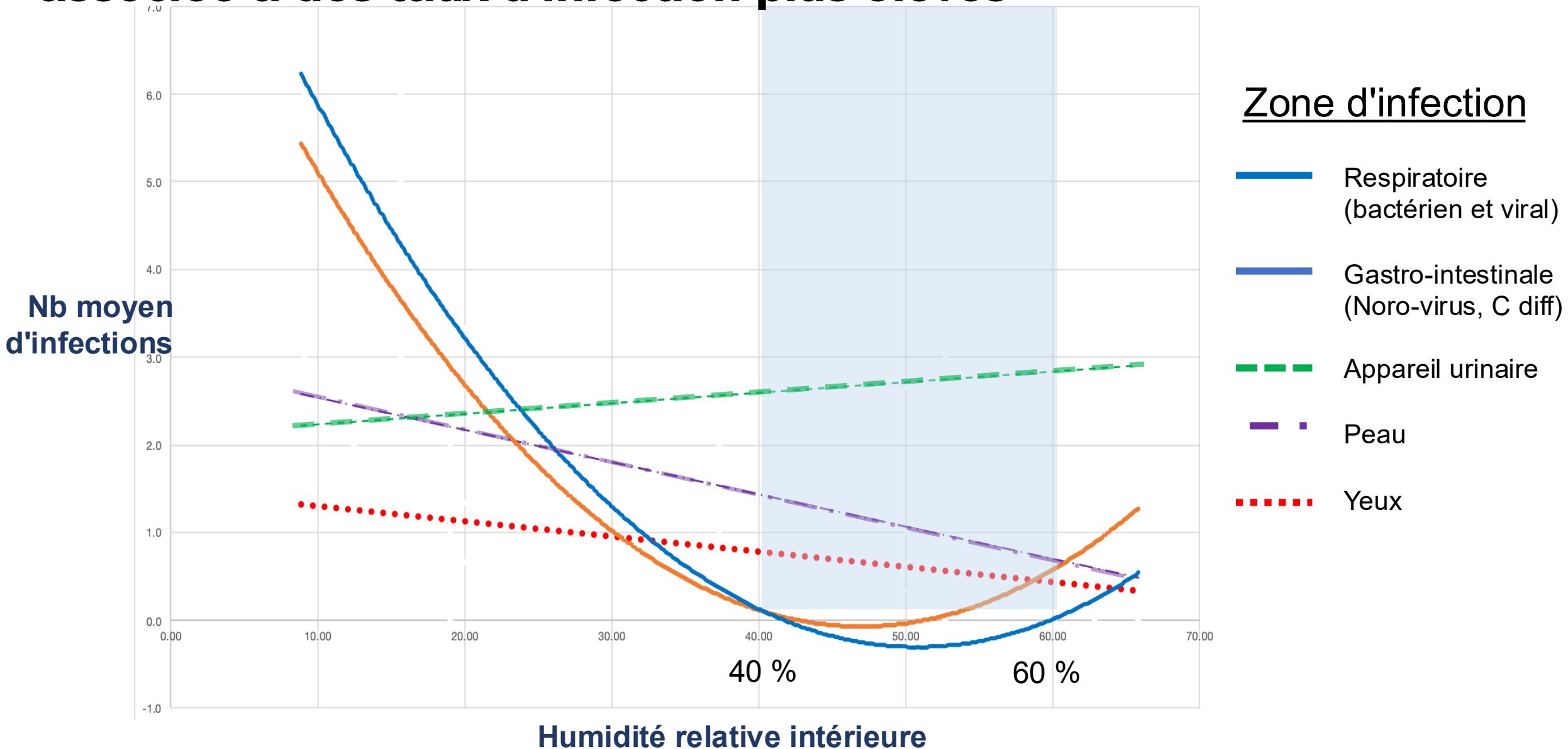


# **Étude de quatre ans sur l'humidité relative intérieure et les résultats en matière de santé dans un établissement de soins de longue durée pour personnes âgées.**



**Résidence de 74 lits pour patients âgés, dans le nord du Vermont**

# Une fois encore, une faible humidité relative intérieure était associée à des taux d'infection plus élevés



## Une étude clé publiée en 2019

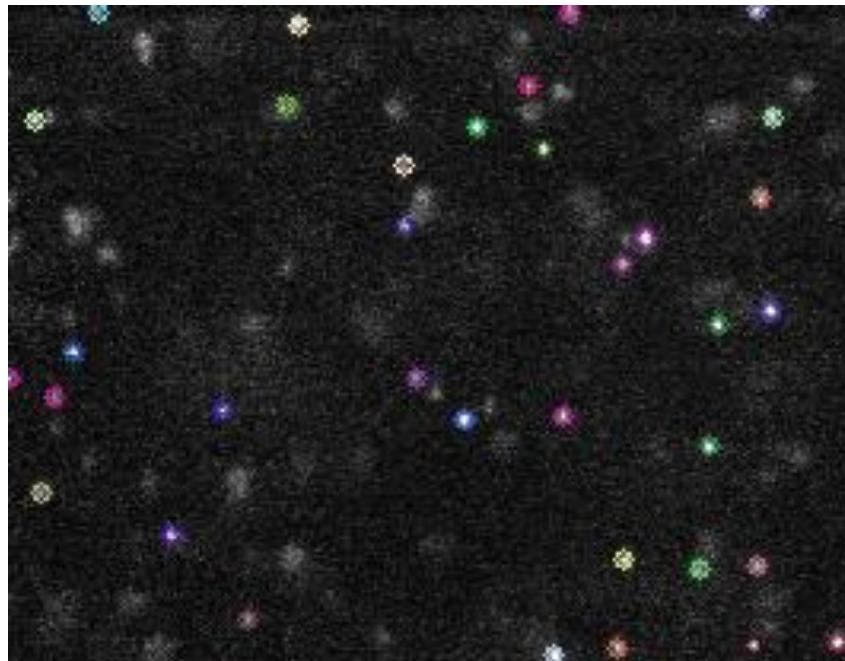


**"Une faible humidité  
ambiaante altère la  
fonction de barrière  
et la résistance à  
l'infection par la  
grippe"**

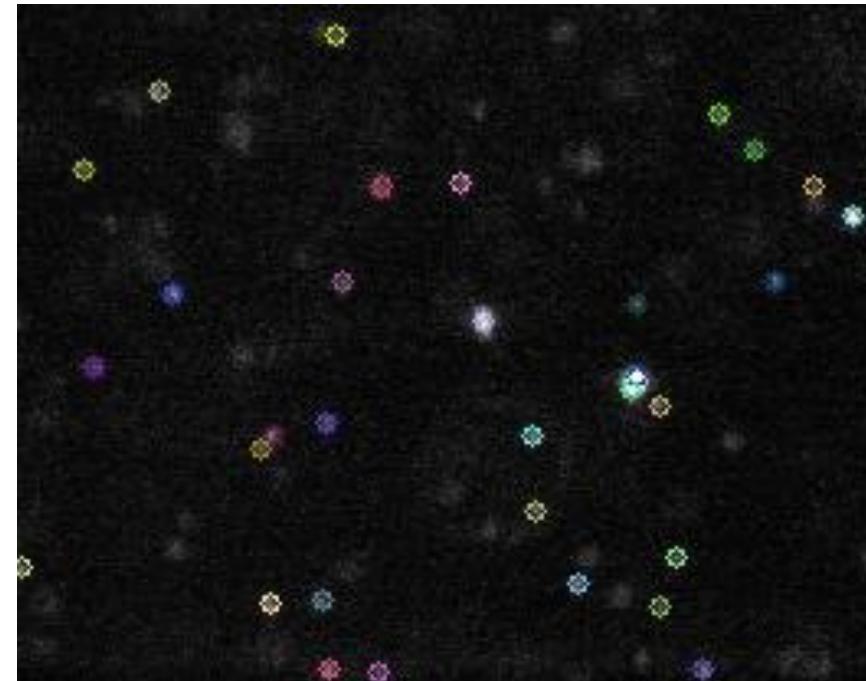
*Proceedings of the National  
Academy of Sciences, USA. May  
2019*

E Kudo, E Song, L Yockey,  
T Rakib, P Wong, R Homer,  
A Iwasaki

# Vidéo-microscopie de la clairance muco-ciliaire dans la trachée de la souris



souris après 5 jours d'exposition à **10-20% HR**, 20°C en chambre climatique

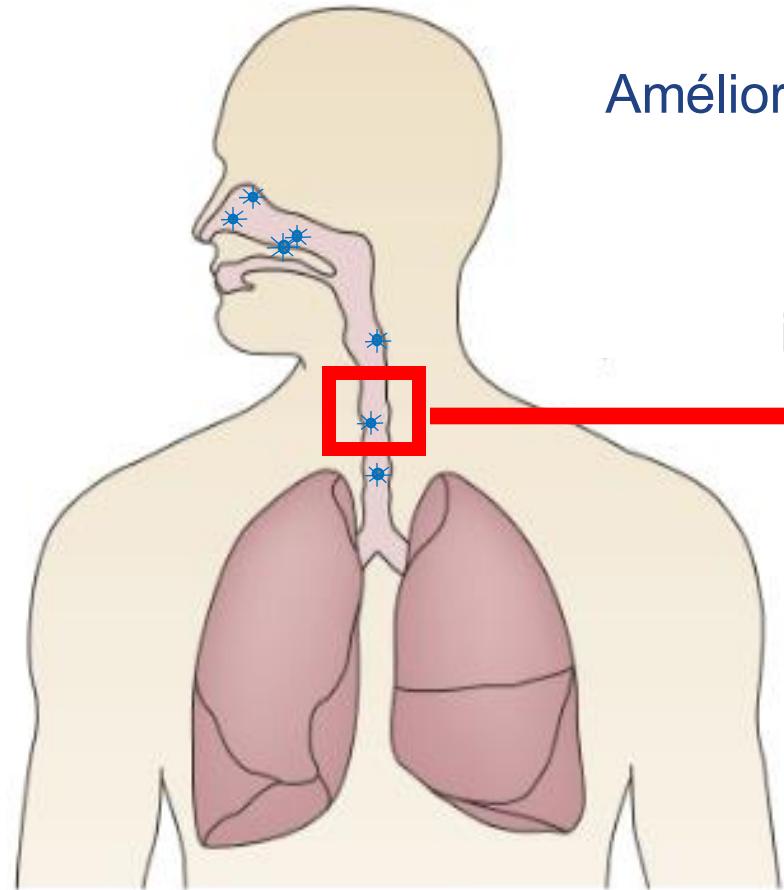


souris après 5 jours d'exposition à **50% HR** et 20°C en chambre climatique

mucus speed reduction  
 $12\mu\text{m/s} \rightarrow 4 \mu\text{m/s}$

Après avoir été exposées à des virus de la grippe en aérosol, toutes les souris maintenues dans une faible humidité relative sont mortes dans les 5 à 10 jours

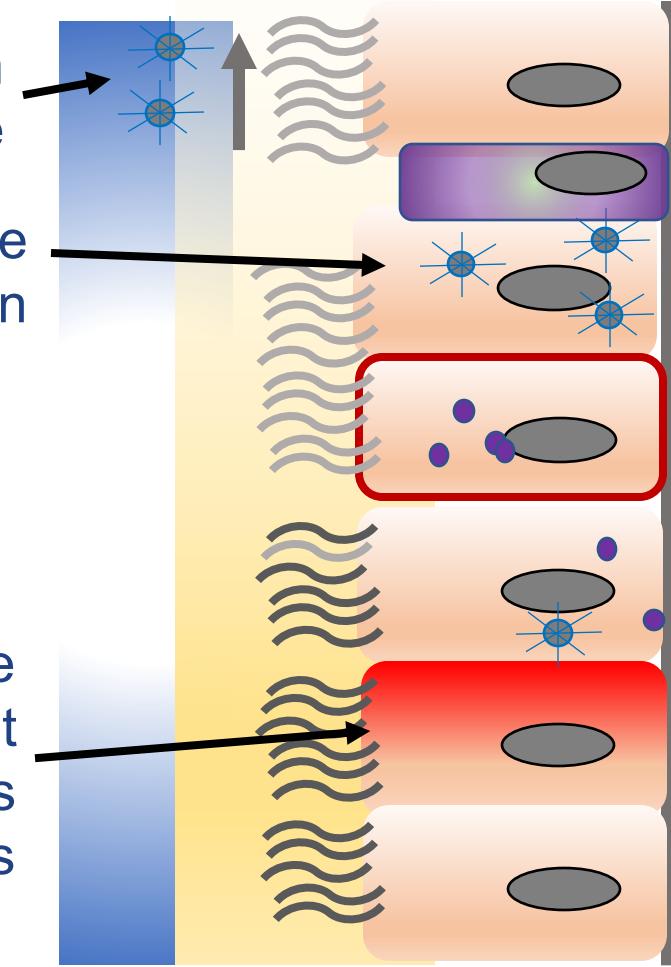
# Une faible humidité relative a causé des dommages bien au-delà du mucus sec des voies respiratoires



Amélioration de l'élimination muco-ciliaire

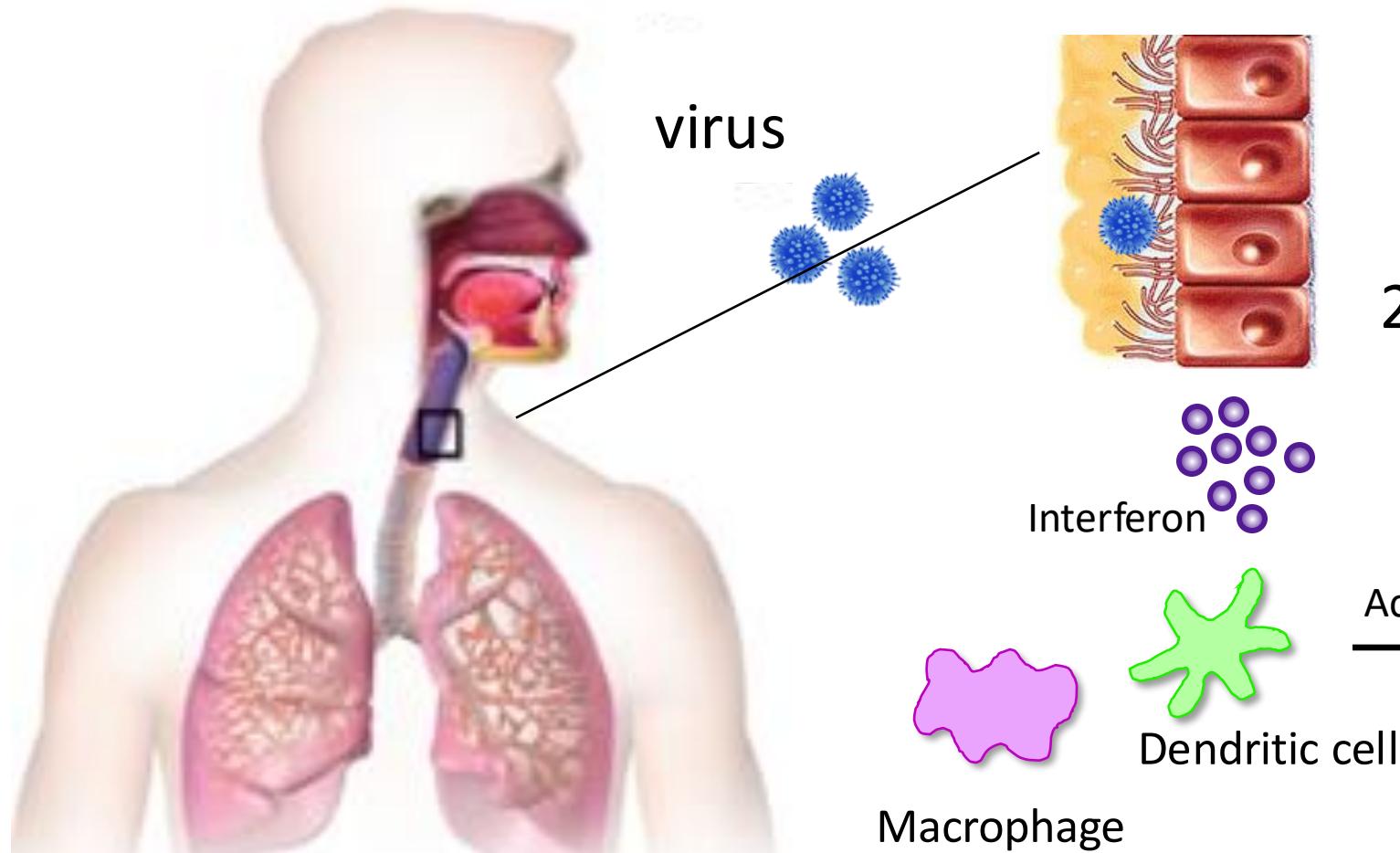
Protection accrue induite par l'interféron

Diminution de l'inflammation et des lésions tissulaires

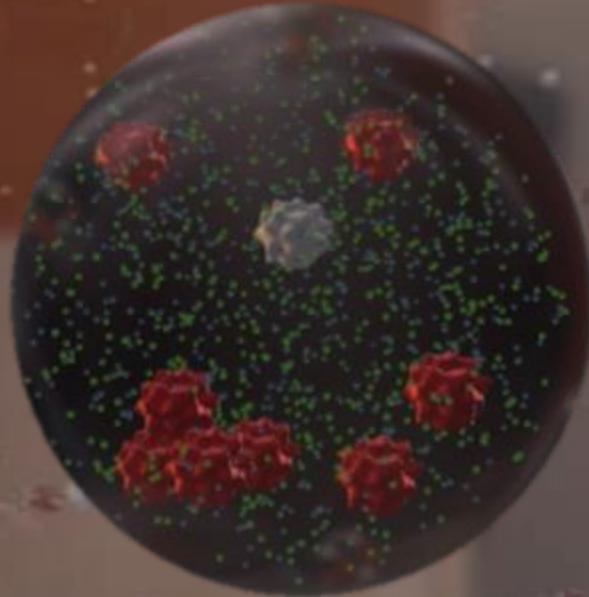


Amélioration des tissus réparation

# Les défenses immunitaires sont altérées à HR 20% et optimales à 50%



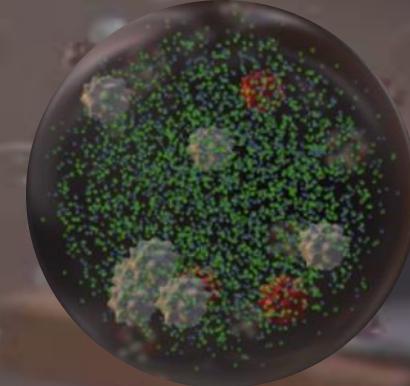
1. Barrière physique :  
Production de mucus et clairance ciliaire
2. L'immunité innée : IFN de type I et gènes stimulés par l'interféron (ISG)



100 µm

100 % humidité

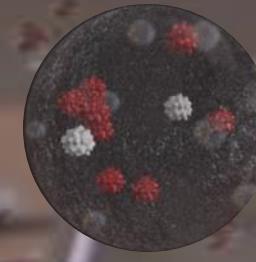
aérosol après  
expiration



50 µm

humidité > 40 %

pathogènes dans la  
solution saline des  
gouttelettes

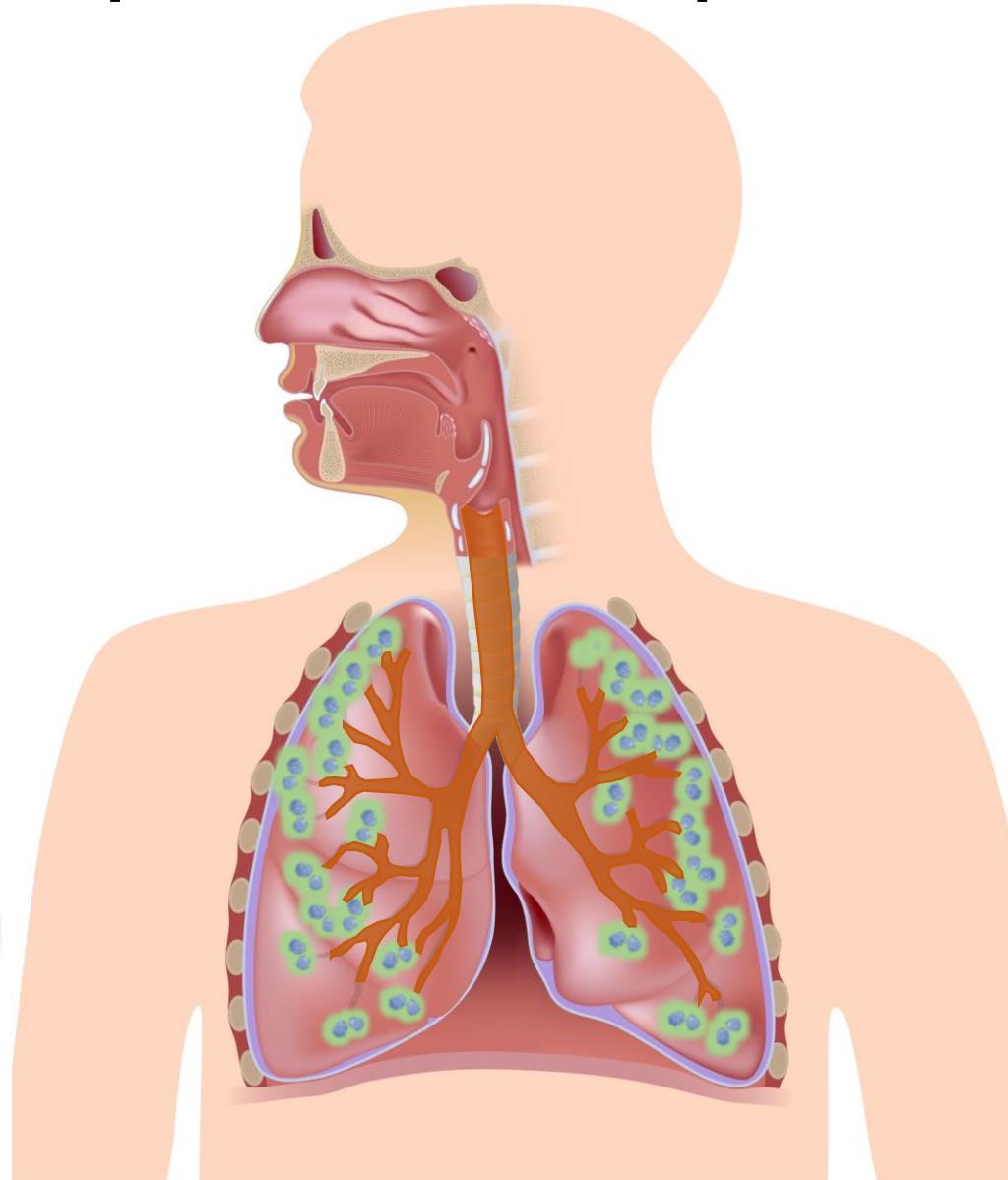
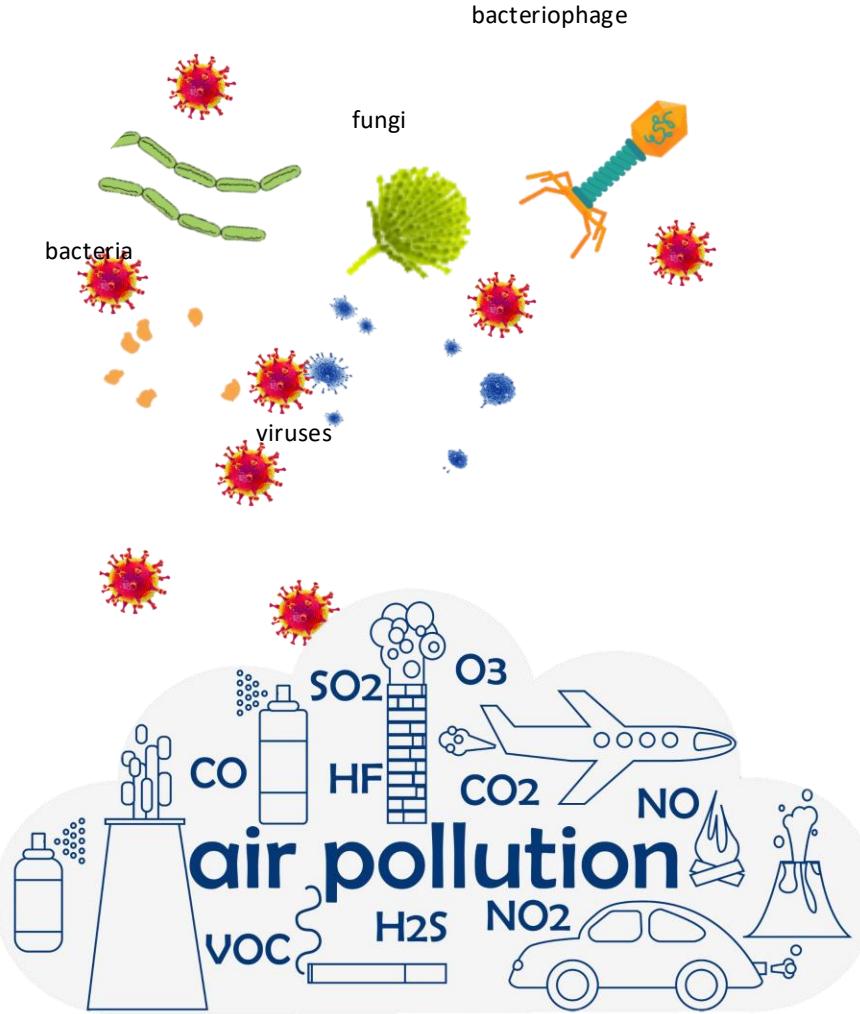


3.9 µm

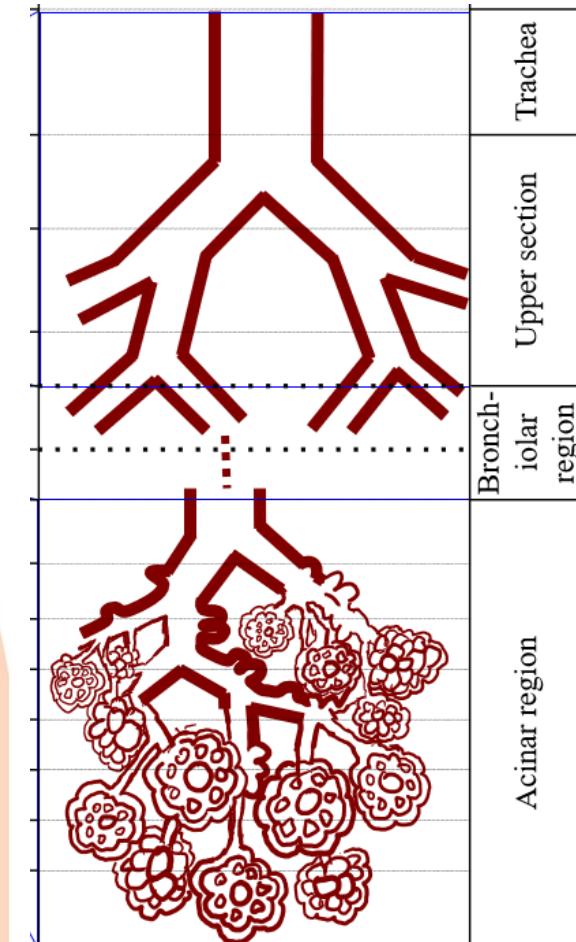
humidité < 40 %

sels cristallisés  
les agents pathogènes  
peuvent rester actifs

# Les muqueuses sèches sont des "portes ouvertes" pour les agents pathogènes et les polluants en suspension dans l'air



Diffusion dans les voies respiratoires



# La recherche à l'échelle mondiale

---

## EXPLORING THE POTENTIAL ROLE OF INDOOR CLIMATE IN GLOBAL COVID-19 OUTCOMES

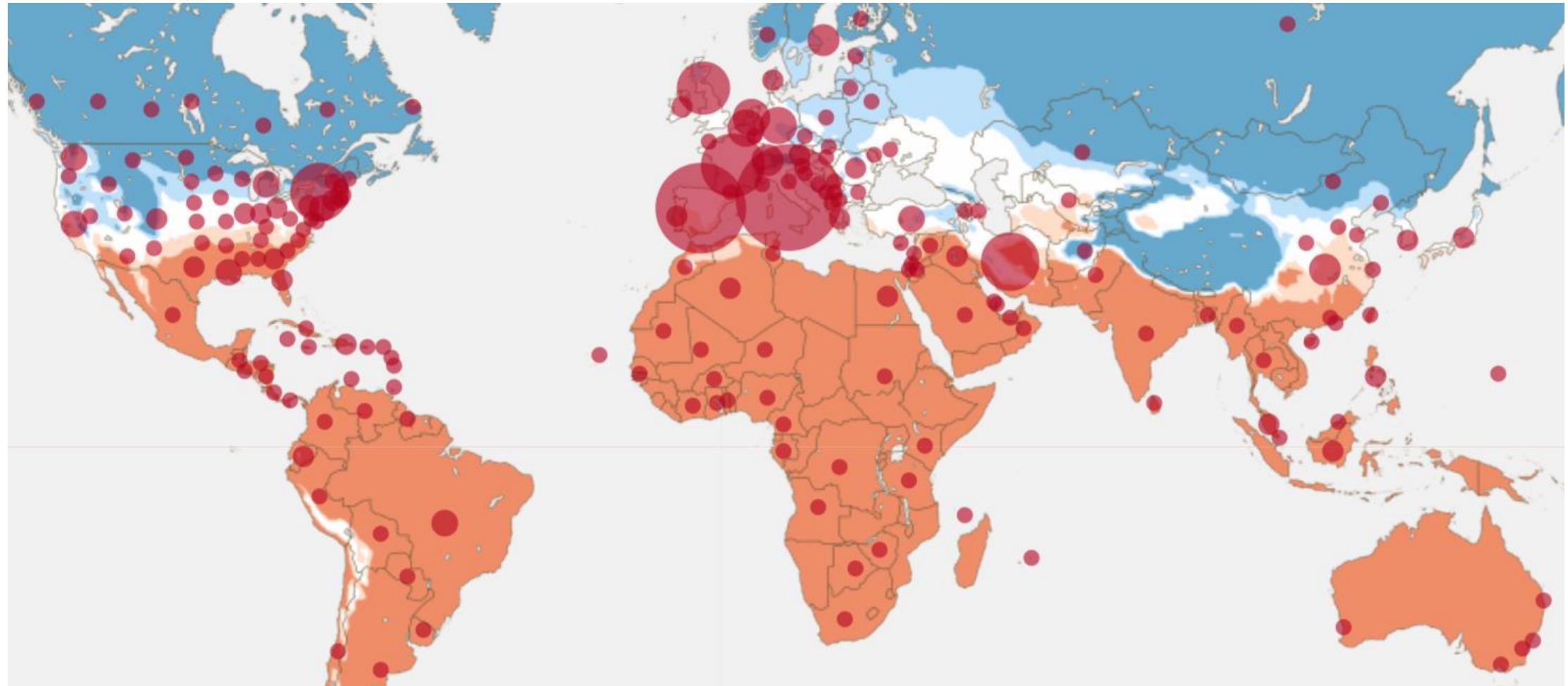
---

Harvard-MIT Health Sciences and Technology  
Boston, MA 02139

Stephanie Taylor  
Connor Verheyen  
Lydia Bourouiba

Submitted to Nature

# Pourquoi les épidémies de covid-19 sont-elles régionales ?



Nombre de décès en mars 2020  
Copernicus COVID-19 climate viewer

# Nous avons analysé de nombreuses données

## Politiques gouvernementales et mesure de santé publique

School closing, workplace closing, cancel public events, restrictions on gatherings, close public transport, stay at home requirements, restrictions on internal movement, international travel controls, income support, debt/contract relief, fiscal measures, international support, public information campaigns, testing policy, contact tracing, emergency investment in healthcare, investment in vaccines

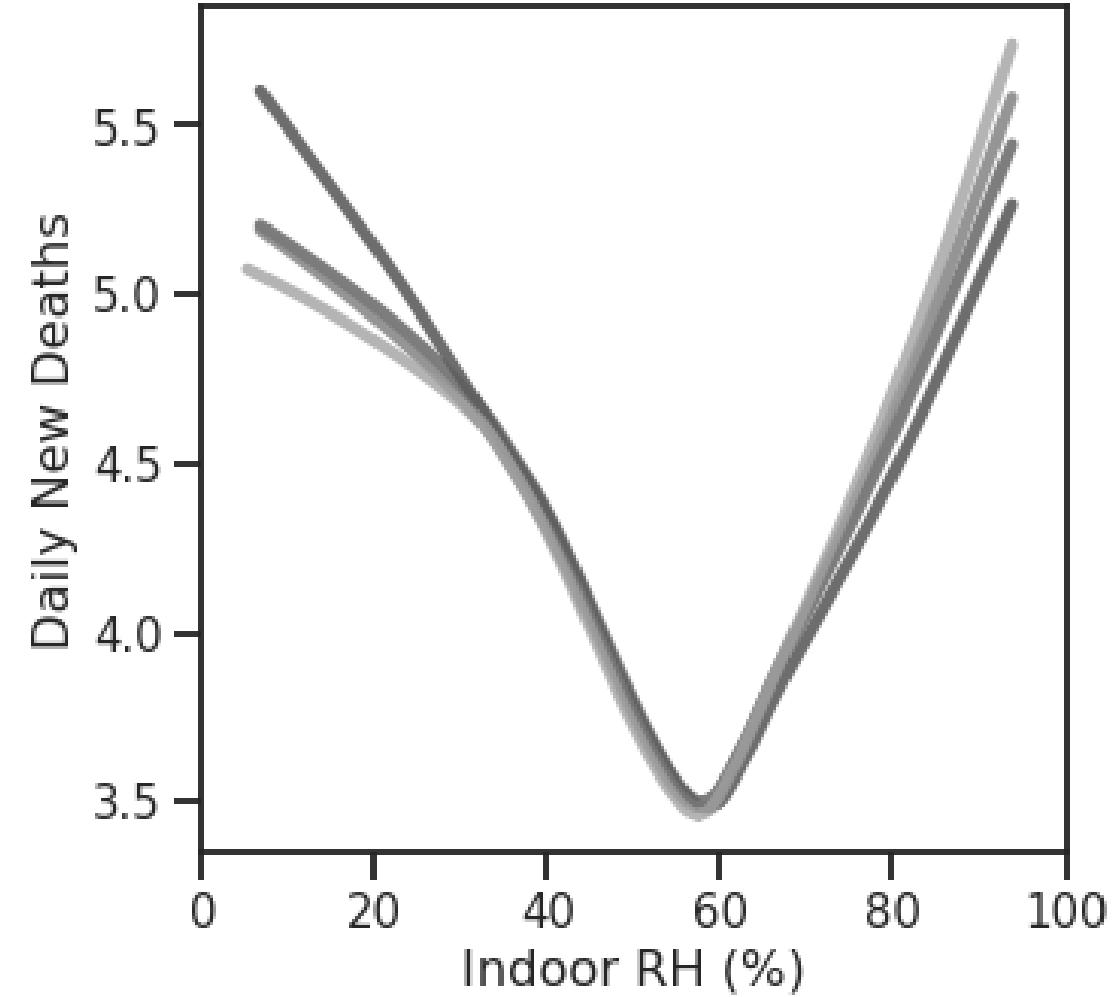
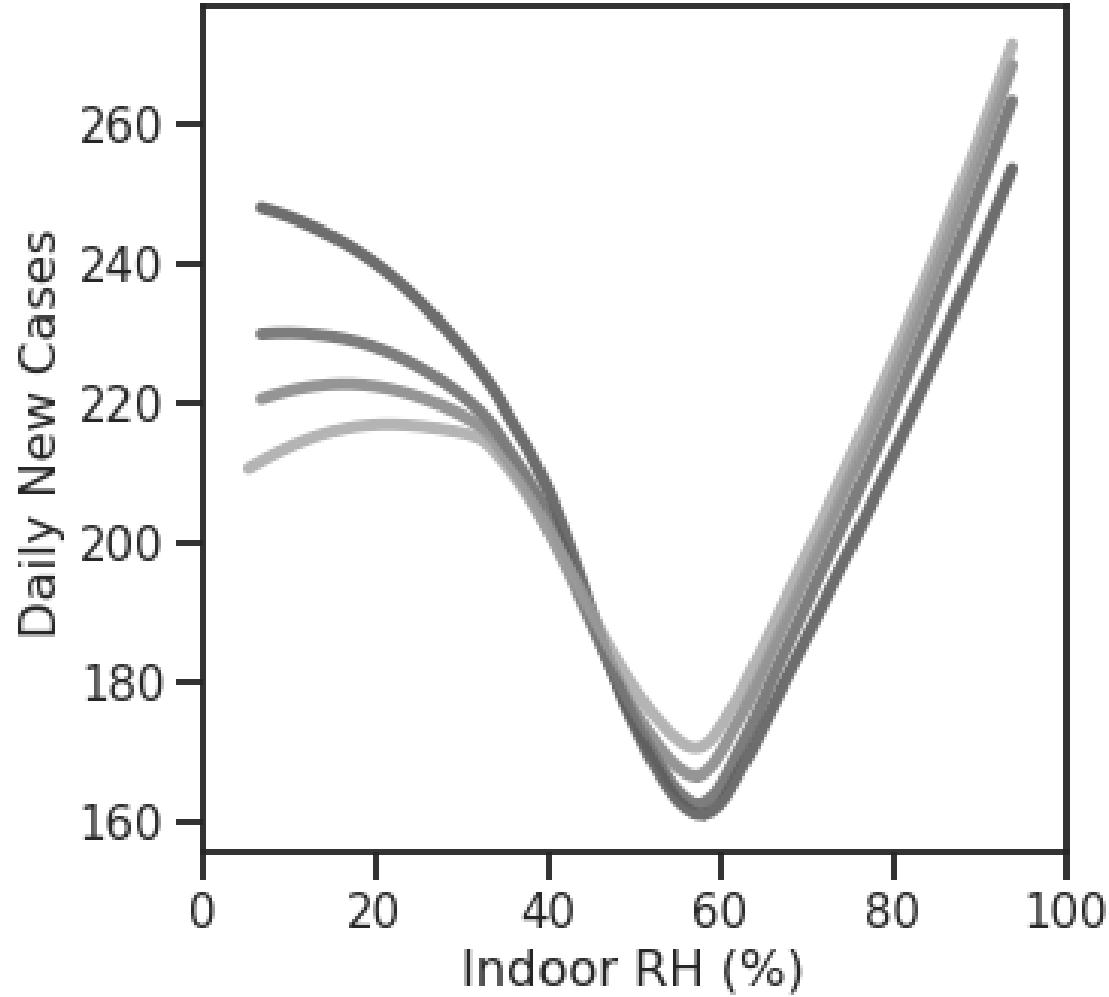
## Variables environnementales ambiantes

Température extérieure quotidienne, UV quotidien, pression atmosphérique, taux de précipitation quotidien, vitesse du vent quotidien, point de rosé quotidien, humidité relative quotidienne, humidité absolue quotidienne, zone de confort thermique humain standard, humidité relative intérieur extrapolée quotidienne

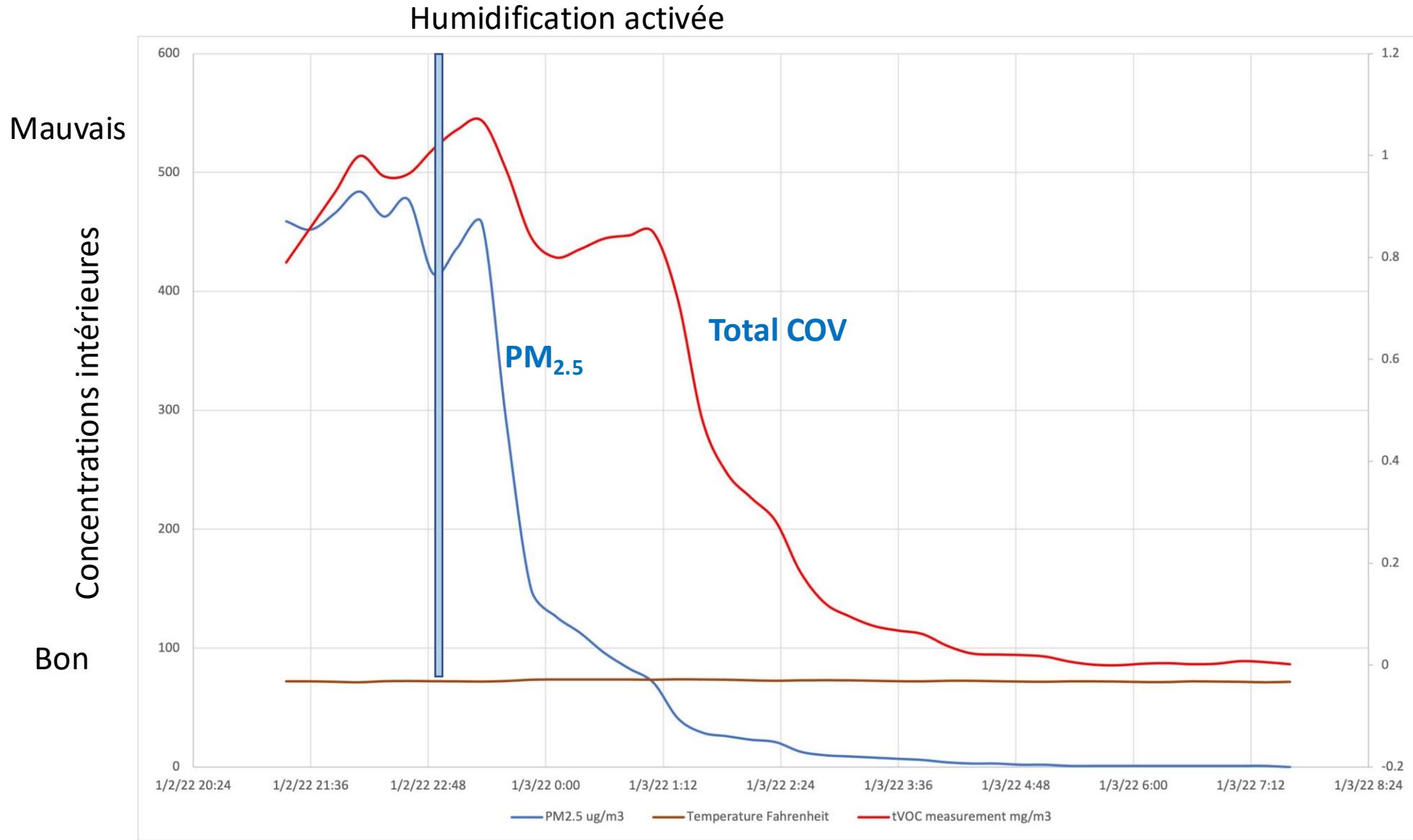
## Démographie socio économie et tests

Population, densité de population, âge moyen, 65 ans et plus, 70 ans et plus, espérance de vie, taux de mortalité par maladie cardiovasculaire, prévalence du diabète, PIB par habitant, pauvreté extrême, installation de lavage des mains, lits d'hôpitaux par millier, nombre total de tests, nouveaux tests, nombre de tests- par millier, nouveau tests par millier

# Les cas et les décès de COVID-19 étaient les plus faibles lorsque l'humidité relative intérieure était de 40-60%

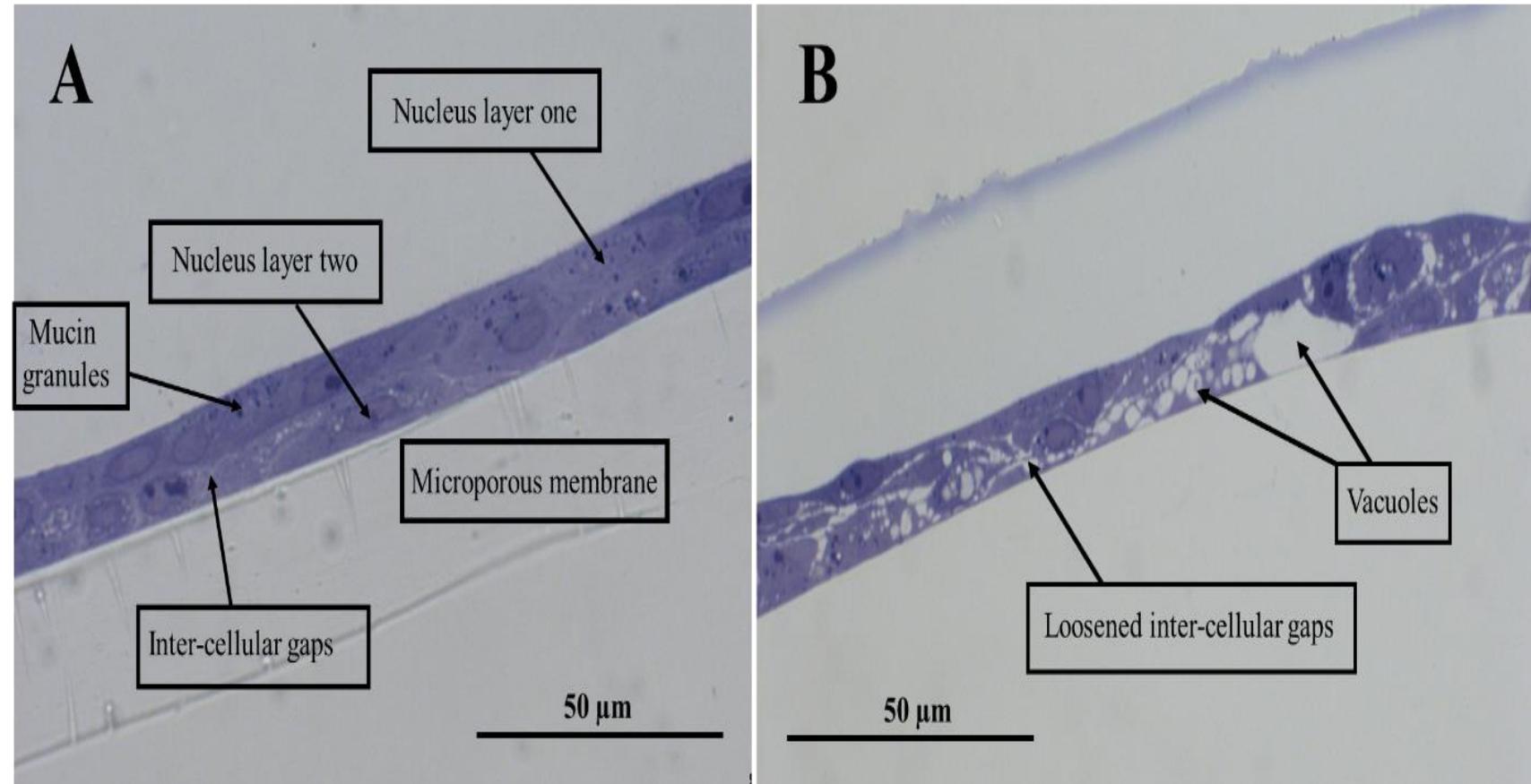


# L'humidification a permis de réduire les particules et les COV en 15 minutes



# Une faible HR accentue les dommages causés par les particules et les gaz dans nos voies respiratoires supérieures

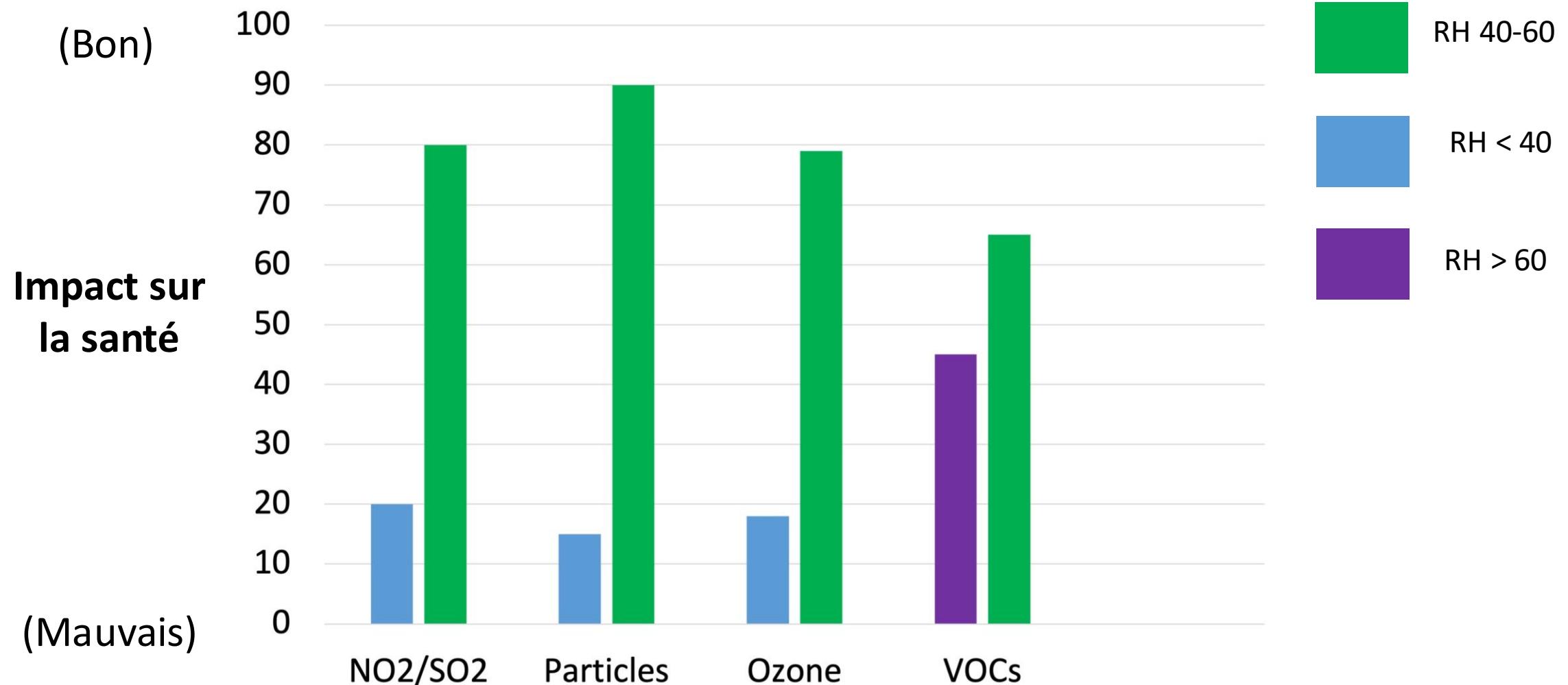
Une faible HR amplifie les effets nocifs de l'ozone ( $O_3$ ) inhalé, et le dioxyde d'azote ( $NO_2$ ) provoque un relâchement des jonctions intercellulaires



HR 50%

HR 20%

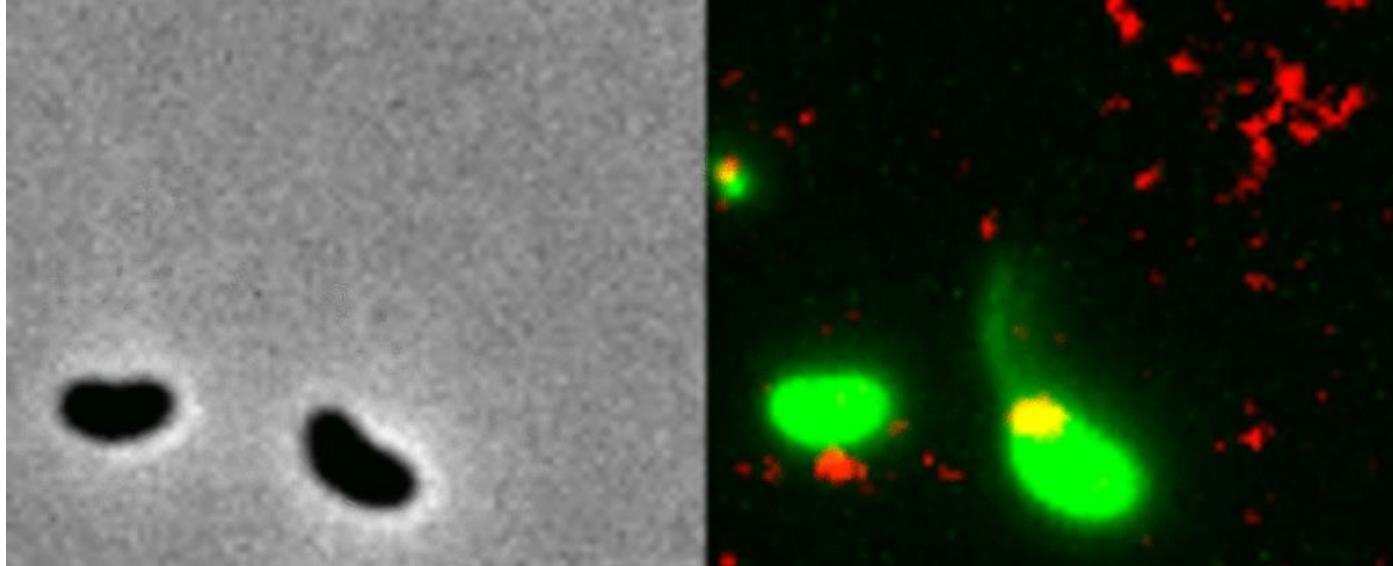
# Une HR entre 40 et 60 % protège contre les effets de nombreux autres polluants intérieurs



# C'est une découverte surprenante et très importante

"La résistance aux antibiotiques peut se propager dans l'air, avertissent les scientifiques, et oui, vous devriez être terrifiés«

26 juillet 2018



La mauvaise qualité de l'air augmente le transfert par voie aérienne des gènes de résistance aux antibiotiques

# Tableau Taylor 2019

**Virus (lipid membrane)**  
influenza, coronavirus, RSV, parainfl.  
measles, rubella, herpes

**Virus (non-lipid membrane)**

**Bacteria (Gram neg)**

Legionella (aerosolized)

**Bacteria (Gram pos)**

**Mycoplasma (no cell wall)**

**Adult in-patients (acute care)**

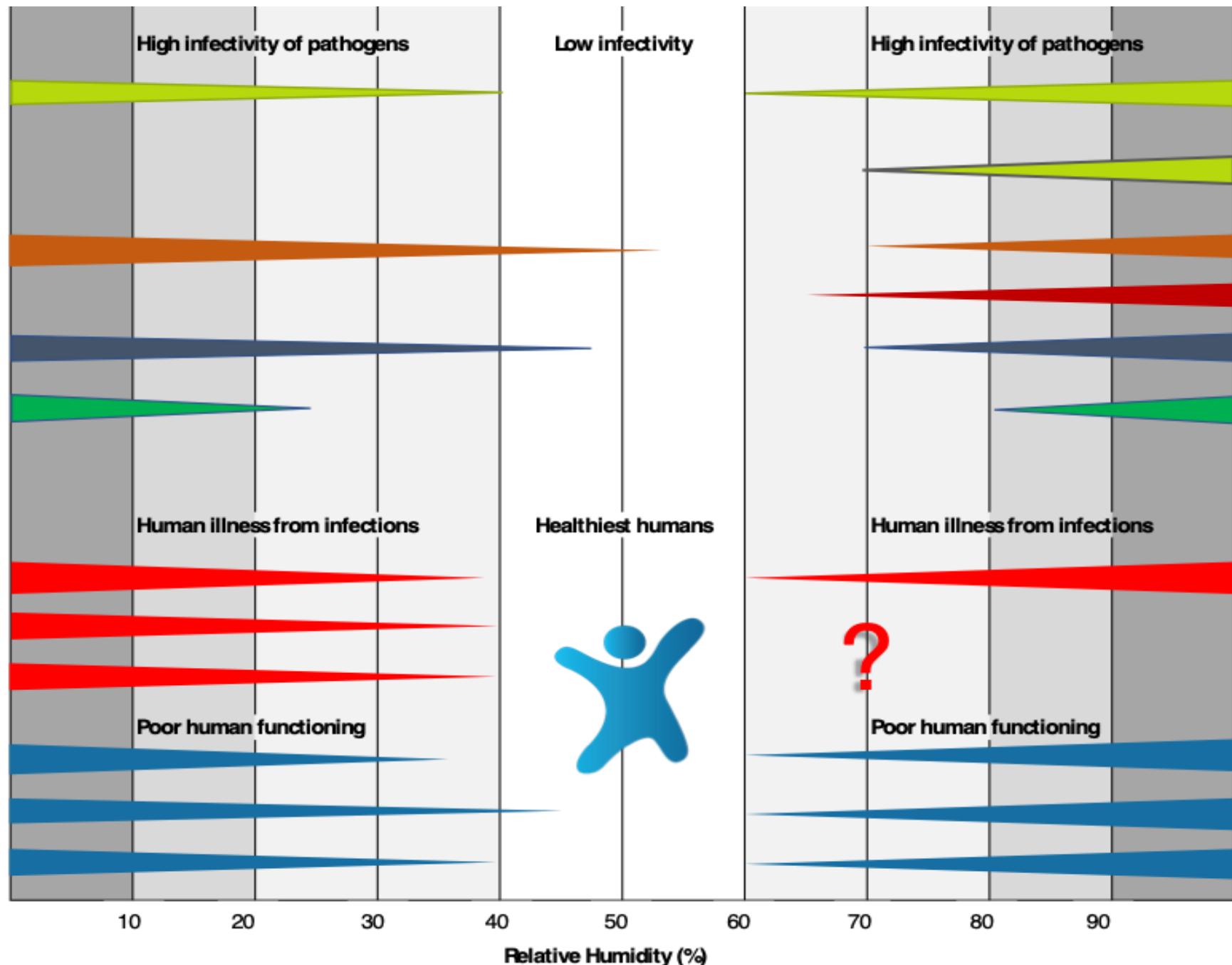
**Elderly patients in long-term care**

**Pre-school children**

**Employee productivity**

**Employee sleep quality**

**Student learning**



# RH 40%-60% bénéfice à la santé

## 1. Gestion de l'humidité relative, 40 %-60 %

- Soutient l'immunité humaine
- Diminue les particules en suspension dans l'air
- Empêche les bioaérosols de se réduire à des tailles minuscules et de pénétrer dans les tissus
- Contrôle la volatilité de nombreux COV

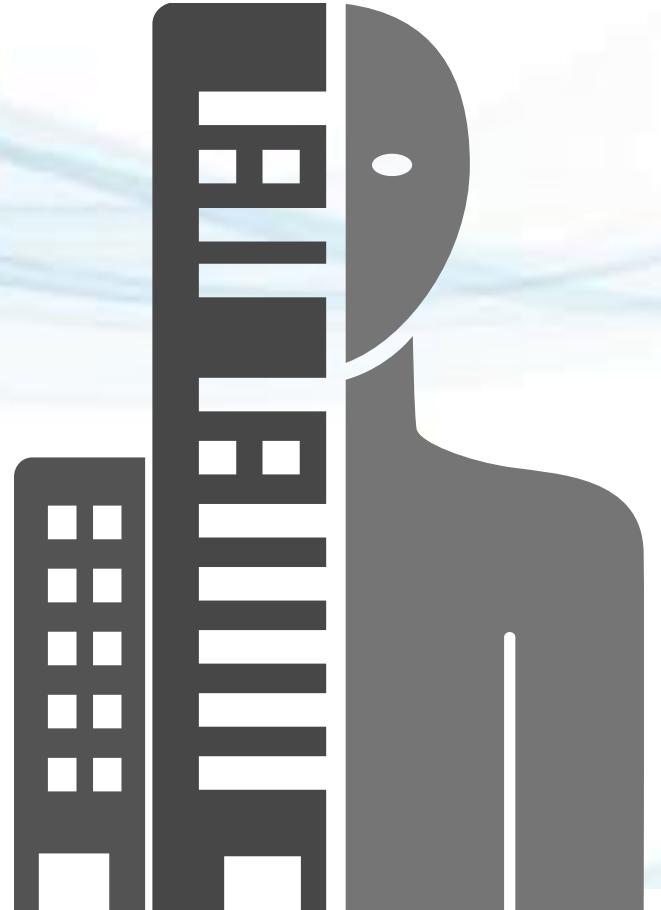
## 2. Si le CO2 est un bon marqueur de l'occupation humaine, d'autres mesures sont également nécessaires

## 3. Une ventilation accrue n'est pas toujours une bonne chose

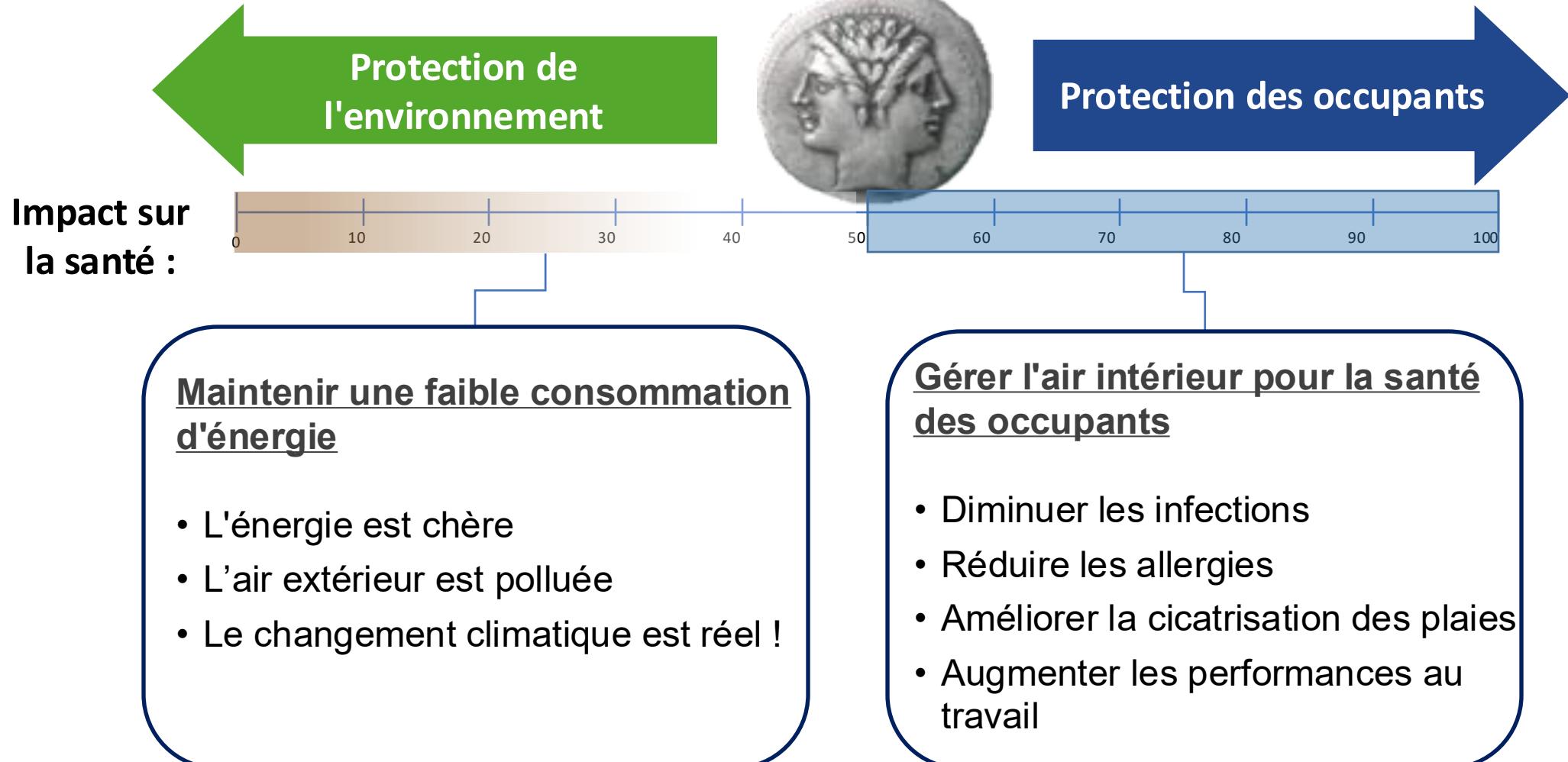
## 4. L'ozone est répandu à l'intérieur et les dommages sont contrôlés par l'humidité relative de 40 à 60 %

# Sommaire

- I. La gestion de l'environnement intérieur en faveur de la santé est puissante, éthique et rentable
- II. Comment mesurer le rapport entre la qualité de l'air intérieur (QAI) et la santé
- III. Conclusions : une humidité relative intérieure de 40 à 60 % est essentielle pour la santé des occupants
- IV. Dire « oui » à la gestion de votre environnement intérieur ou comment préserver une bonne santé.



# Comment résoudre ce conflit ?



La santé des gens est le NORTH STAR (l'étoile polaire)  
qui guide une décarbonisation sûre



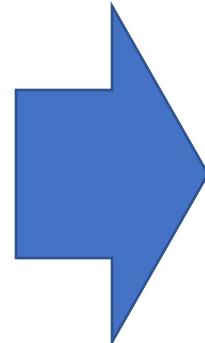
# La nouvelle étape de la QAI consiste à préserver la santé des gens

## PRATIQUE ACTUELLE D'QAI

- Basé sur des données limitées et statistiques
- La programmation HVAC entraînant des coûts énergétiques inutiles
- Impact inconnu sur la santé les gens

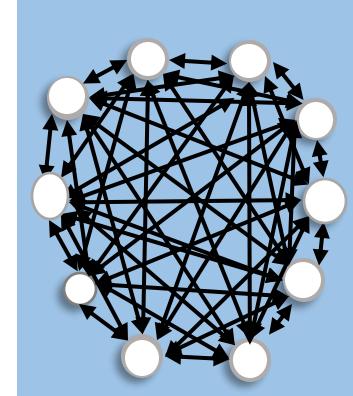


- Échange d'air
- Temp



## Santé : LA PROCHAINE GÉNÉRATION D'QAI

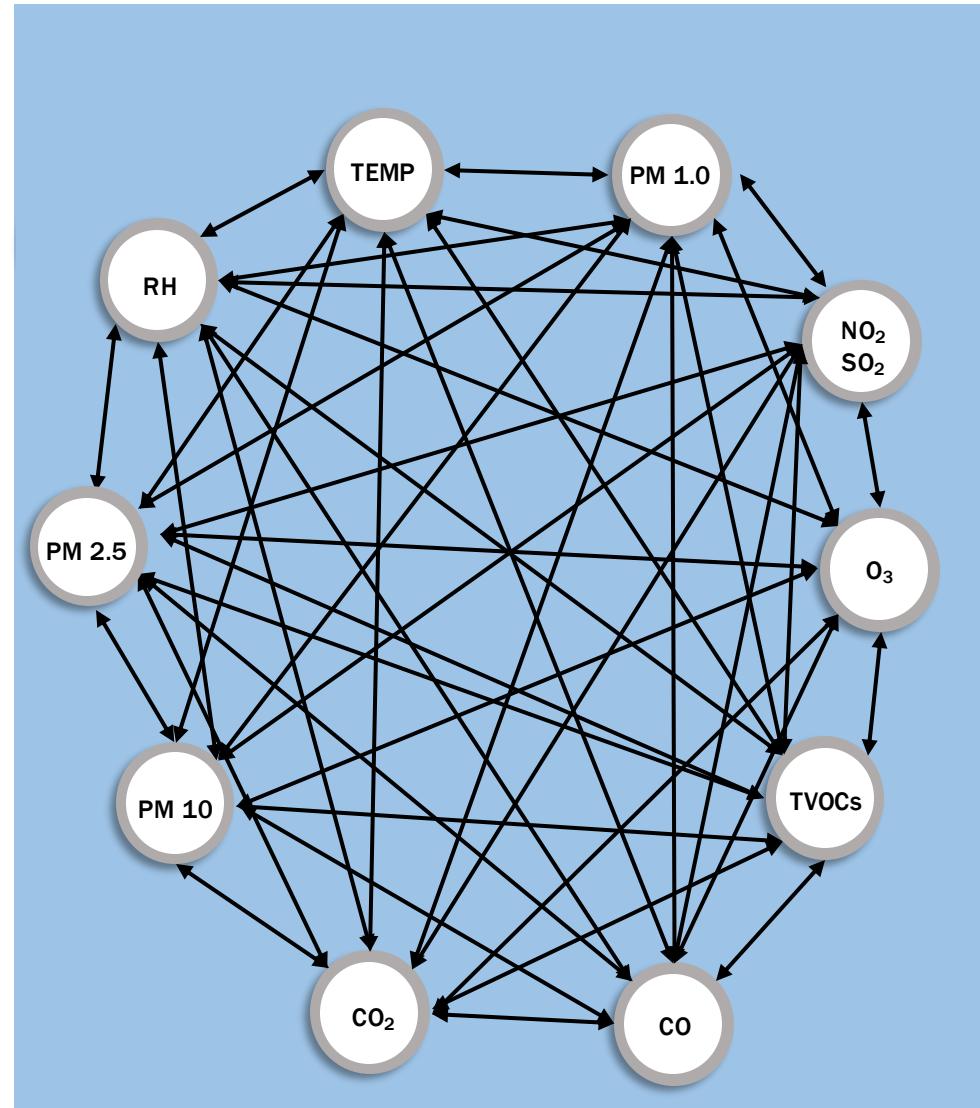
- Mesure continue des données
- Évaluer l'impact sur la santé humaine
- "Testez avant d'investir"
- Gérer les conditions en temps réel
- Choisir les options les plus efficaces



# La remédiation pour la santé intègre des interventions flexibles

Les composants de l'air intérieur interagissent et ont un impact total sur la santé des gens

Pendant la saison froide, le maintien de l'HR intérieure entre 40 et 60 % est l'intervention la plus efficace et la plus économique en énergie, malgré l'énergie nécessaire au fonctionnement des humidificateurs !



# Monitor Critical Care EQI's



# Case Study | IU Methodist

Ce qu'ils ont réalisé

- **3.8 to 0.5% Reduction in SSI = ~87% reduction**



	Average Number of Procedures/Day	Number of days in the year	Number of Procedures/Annum	Revenue per OR per year	Reduction in liability payouts	Avoided Costs	Reduction in HAIs
	4	365	1,460	\$51,100,000	79%	-\$4,117,201	86.84%
Average cost of procedure	\$35,000	Number of infections @ 3.8%	55	-\$5,215,120			
Average cost of Infection	\$94,000	Number of infections at 0.5%	12	-\$1,097,920			

\*Cost projection model utilizing generalized data on US Govt. Average Patient Procedure Costs and Average cost per Hospital Acquired Infection

# Économies d'énergie dans les salles d'opération

Building Utility Service Type & Climate Zone	Économies d'énergie annuelles par réduction de 5 du taux de renouvellement de l'air	Économies annuelles pour toutes les salles d'opération modifiées par l'IQE (x 14)
City Thermal Utilities Climate Zone 5	\$10,068	\$140,952
Campus Thermal Climate Zone 4	\$7,052	\$98,728
Self-Generated Thermal Climate Zone 4	\$5,218	\$73,052

Le taux moyen de renouvellement d'air par bloc opératoire avant les modifications de l'IQE était d'environ 29. Après la modification de l'IQE, le taux moyen de renouvellement d'air était de 24. Cela a entraîné une réduction du taux de 5 par bloc opératoire.

# La gestion de la QAI par une humidification appropriée est bénéfique pour les personnes, la planète et votre entreprise

## PANDÉMIES NOUVELLES & EXISTANTES

COVID, Polio, Monkeypox,  
Mutations résistantes aux  
antibiotiques, Tuberculose.



## EQUITE DE SANTE

Pour donner la priorité à l'équité en matière de santé, il faut agir pour protéger les populations moins chanceuses et vulnérables.



## TECHNOLOGIE

La technologie permettant de créer des environnements intérieurs plus sains et d'améliorer la santé des occupants existe et doit être utilisée.



## LA CRISE CLIMATIQUE

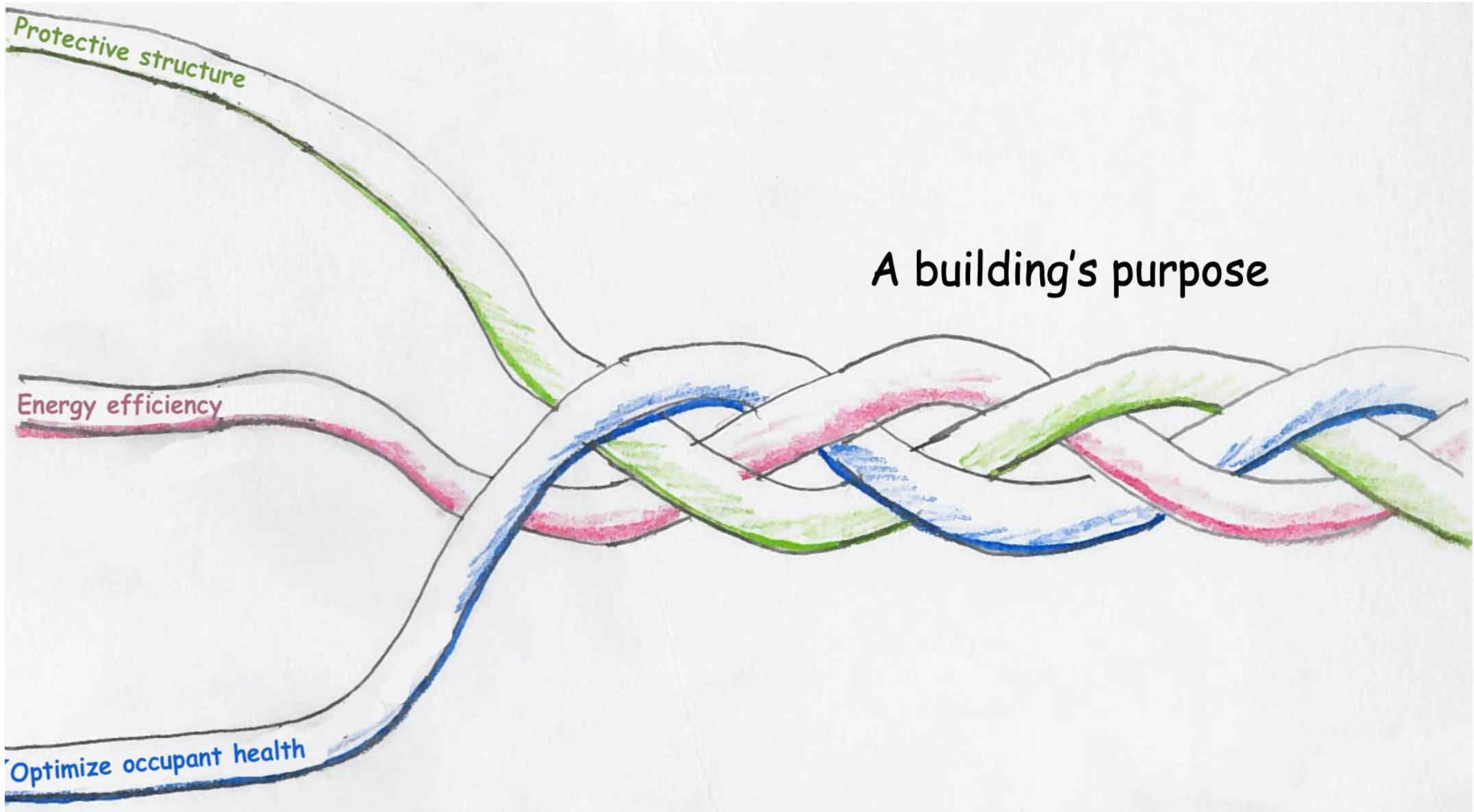
Pour faire face à la crise climatique, il faut utiliser tous les outils disponibles pour réduire notre empreinte carbone et notre consommation d'énergie.



# Résumé

- En donnant une visibilité à l'impact de l'environnement intérieur sur la santé, nous disposons d'une base scientifique pour gérer la QAI afin de renforcer la santé, la productivité et l'apprentissage des personnes
- L'humidification à une HR de 40-60% est une nécessité fondamentale pour conserver la santé
- Des personnes en bonne santé augmentent la rentabilité des entreprises et le succès de celle-ci

# Faisons de nos bâtiments de lieux sûr



# Si vous ne le mesurez pas, vous ne pouvez pas le gérer



Mon atterrissage avec un altimètre défectueux



Voler librement avec des mesures précises

# Merci!

- ✓ Si vous avez des questions sur l'humidification, ou
- ✓ Vous voulez surveiller votre bâtiment avec la plateforme B4H, ou vous voulez de l'aide pour mettre en place une étude coûts/bénéfices pour des bâtiments gérés pour la santé des occupants, contactez Condair.

\_\_\_\_\_@condair.com



Building Clarity | Building Confidence | Building4Health



# Bibliographie partielle

- Goffau MC et al, 2009, Bacterial pleomorphism and competition in a relative humidity gradient, Environmental Microbiology (2009) 11(4), 809–822
- Kramer A et al, 2006, How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces, a systematic review, BMC Infectious Diseases 2006, 6:130
- Noti JD et al. 2013. Higher Humidity Leads to Loss of Infectious Virus from Simulated Coughs . University of Illinois.
- Tropical Medicine & International Health. 2008., Volume 13, Issue 12, pages 1543-1552, 6 Oct.
- Sterling EM et al. 1985. Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings. ASHRAE Transactions. Vol. 91. Part 1.
- Fuchsman et al. 2017. Effect of the environment on horizontal gene transfer between bacteria and archaea . PeerJ 5:e3865; DOI 10.7717/peerj.3865.
- Donovan TL et al. 2008. Employee absenteeism based on occupational health visits in an urban tertiary care Canadian hospital. Public Health Nursing 25(6), 565-575.

# Bibliographie partielle

- Gibbons SM. 2016, The built environment is a microbial wasteland, *mSystems* 1(2):e00033-16. d
- Kembel SW, 2012, Architectural design influences the diversity and structure of the built environment microbiome, *The ISME Journal* (2012) 6, 1469–1479
- Stone W et al, 2016, Microbes at Surface-Air Interfaces: The Metabolic Harnessing of Relative Humidity, Surface Hygroscopicity, and Oligotrophy for Resilience, *frontiers in Microbiology* 7:1563. doi: 10.3389/fmicb.2016.01563
- Ebinesh A, 2017, Conspiracy of domestic microenvironment, bacterial stress response and directed mutagenesis towards antimicrobial resistance: Lessons for health care. *J Infectious Disease Med Microbiol.* 2017;1(1):1-3.
- Helsinki alert of biodiversity and health, *Annals of Medicine*, 2015
- Vandegrift R et al, 2017, Cleanliness in context: reconciling hygiene with a modern microbial perspective, *Microbiome* (2017) 5:76
- Chopra A, Lineweaver, 2016, The Case for a Gaian Bottleneck: The Biology of Habitability, *ASTROBIOLOGY*, Volume 16, Number 1, 2016
- Goffau MC et al, 2009, Bacterial pleomorphism and competition in a relative humidity gradient, *Environmental Microbiology* (2009) 11(4), 809–822