

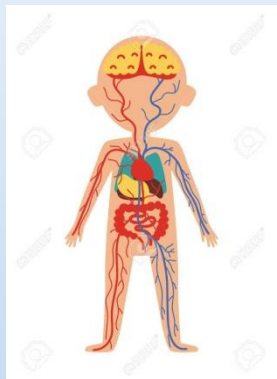


Les effets de la QA sur les humains

Olivier Martimort, NanoSense



Quelques faits



Un adulte respire 15 m³ d'air par jour

Le cerveau représente 2% du poids du corps


Le cerveau consomme 20% de notre métabolisme de base

Ce que nous respirons alimente principalement notre cerveau


Les PM2.5 tuent prématurément 6700 personnes par an en France



QA et effets physiologiques

|  | CO2 | COVT | PM | Formaldéhyde, Benzène | Radon | Bruit | Lux | Scintillement | T° Lum. | Odeurs | T° | H | NOX O3 |
|---|-----|------|----|--------------------------|-------|-------|-----|---------------|------------|--------|----|---|-----------|
| Cognitivité / Productivité | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| Santé | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | ✓ |
| Qualité du sommeil | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Confort olfactif | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | | |
| Confort Thermique | | | | | | | | | | | ✓ | | |
| Confort auditif | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| Confort air sec | | | | | | | | | | | | ✓ | |
| Irritations | | | ✓ | | | | | | | | | ✓ | ✓ |
| Moisissures, spores et acariens | | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | |

Ambiances et effets psychologiques

|  | Information QAI | <i>Lumière</i> | Odeurs perceptible | Odeurs imperceptibles |
|---|-----------------|----------------|--------------------|-----------------------|
| Réduction Angoisse | ✓ | | ✓ | |
| Confort thermique | | ✓ | | |
| Bien être | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Inconfort inconscient | | | | ✓ |



Productivité et QAI ???

- Quelques graphiques

La PRODUCTIVITE, le GRAAL du retour sur Investissement

Quelques chiffres :

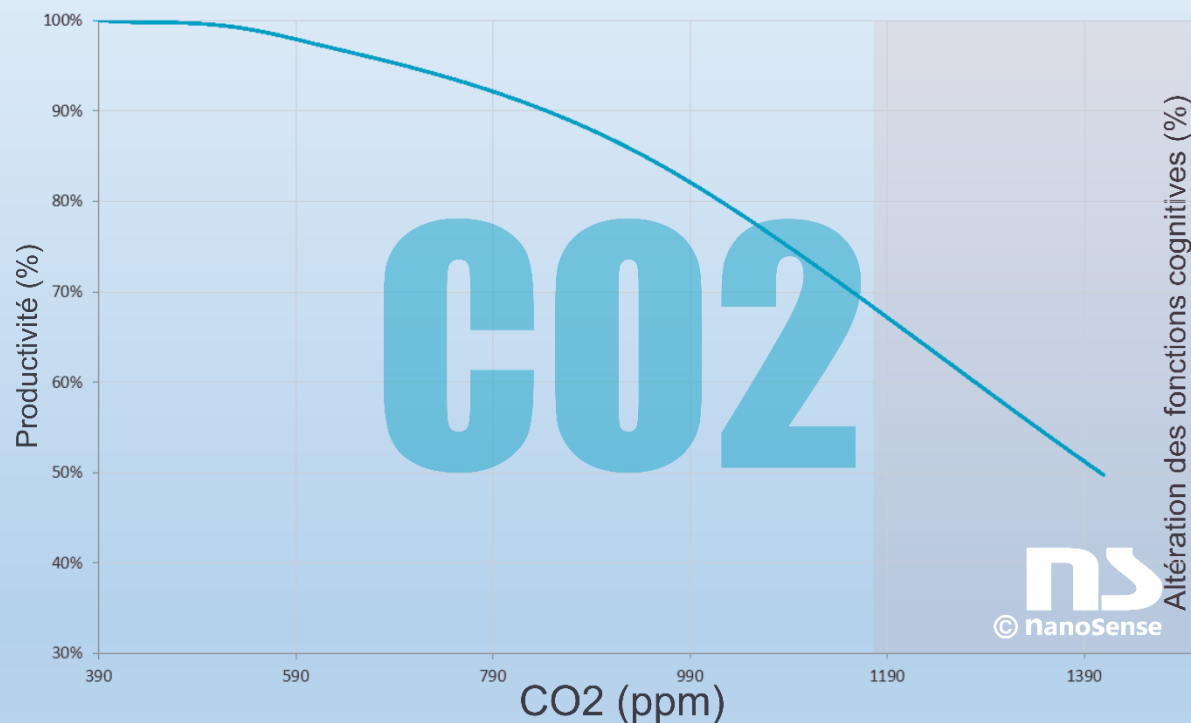
Le Harvard Institute à estimé dans une étude:

- ❑ 40 \$ par an et par employé investi dans l'énergie de la sur-ventilation
- ❑ Génèrent 6000\$ de gain de productivité par employé par an,
- ❑ Un ROI de $6000/365 = 16\$$ par jour soit **un amortissement < 3 jours**

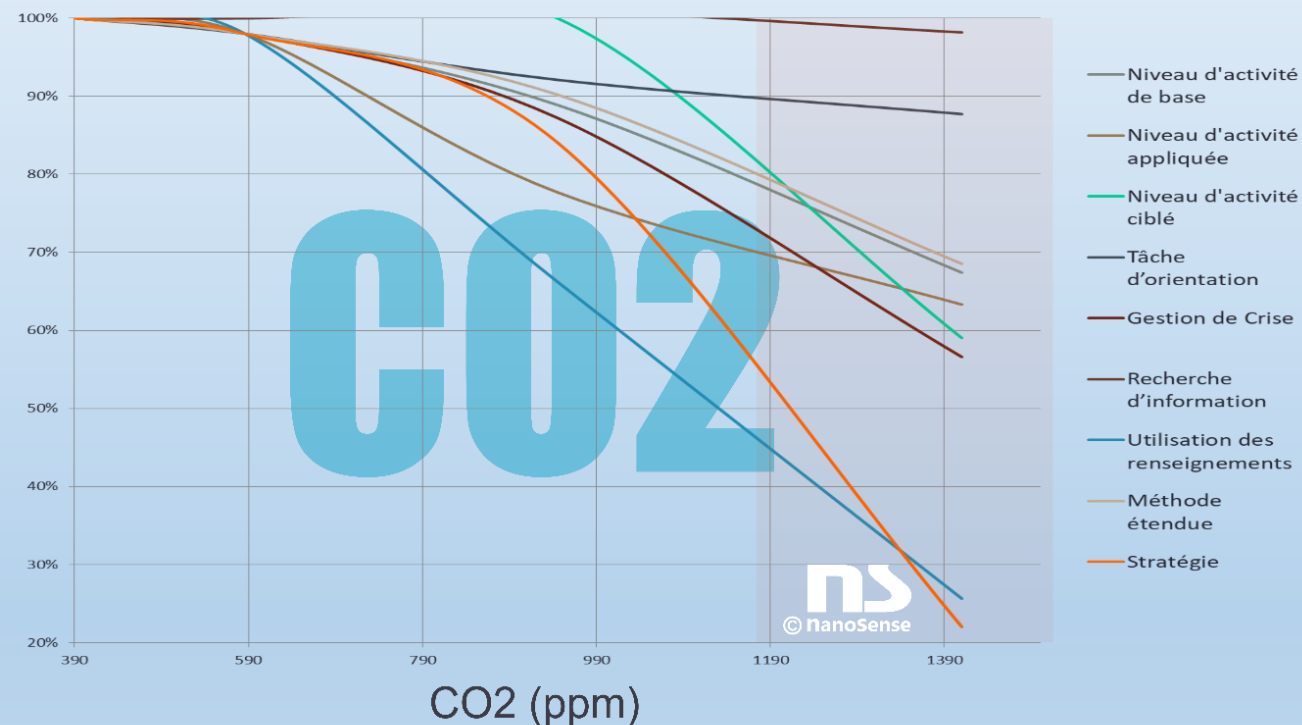
Investissement initial pour une « ventilation à la demande » estimé à 2\$ par employé : Totalelement négligeable



Effet du CO2 sur les fonctions cognitives



Effet du CO2 sur chaque fonction Cognitive



Source:

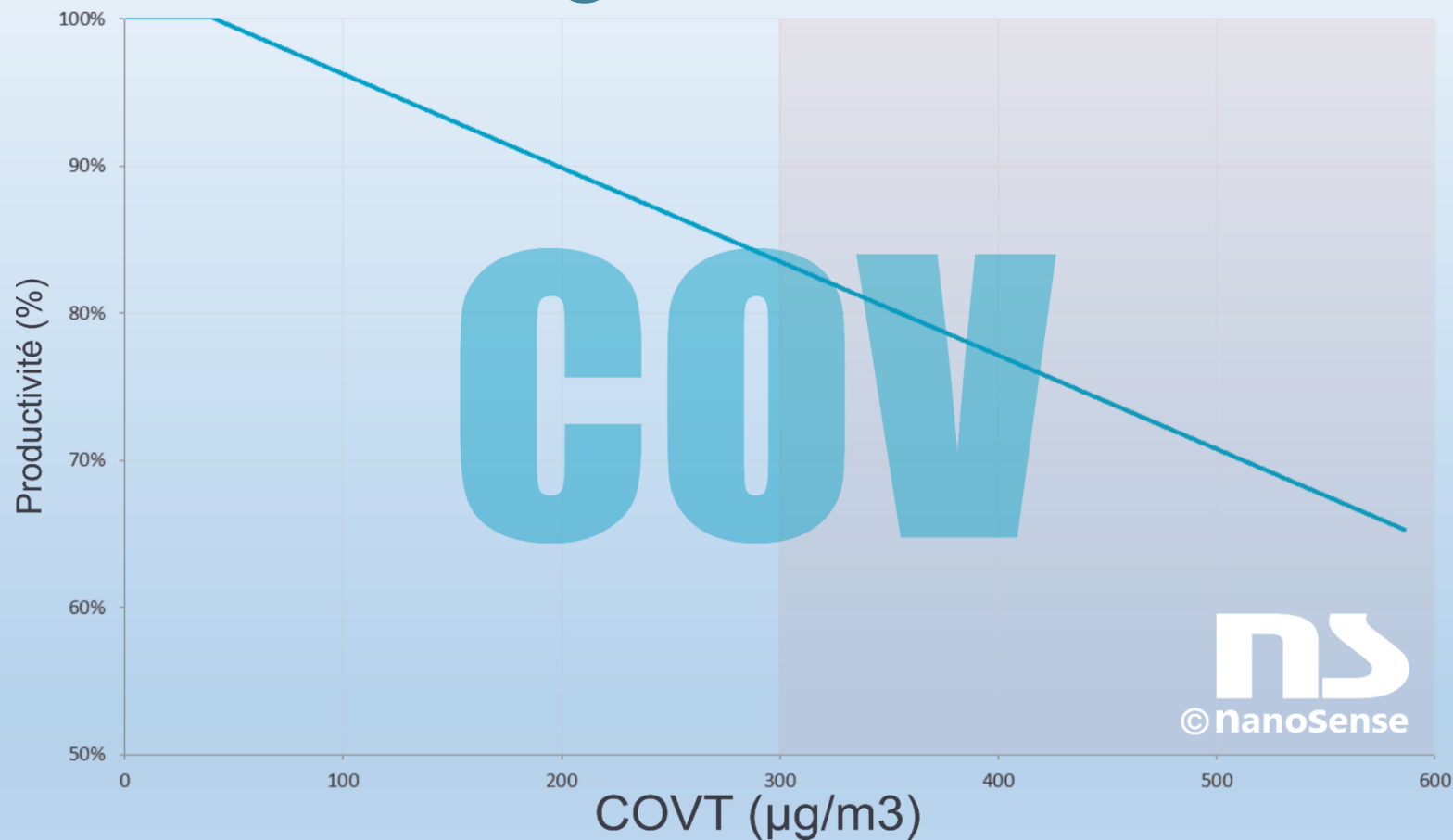


National Institute of Environmental Health Sciences
Your Environment. Your Health.

Exploitation des données brutes par NanoSense



Effet des COV sur les fonctions cognitives



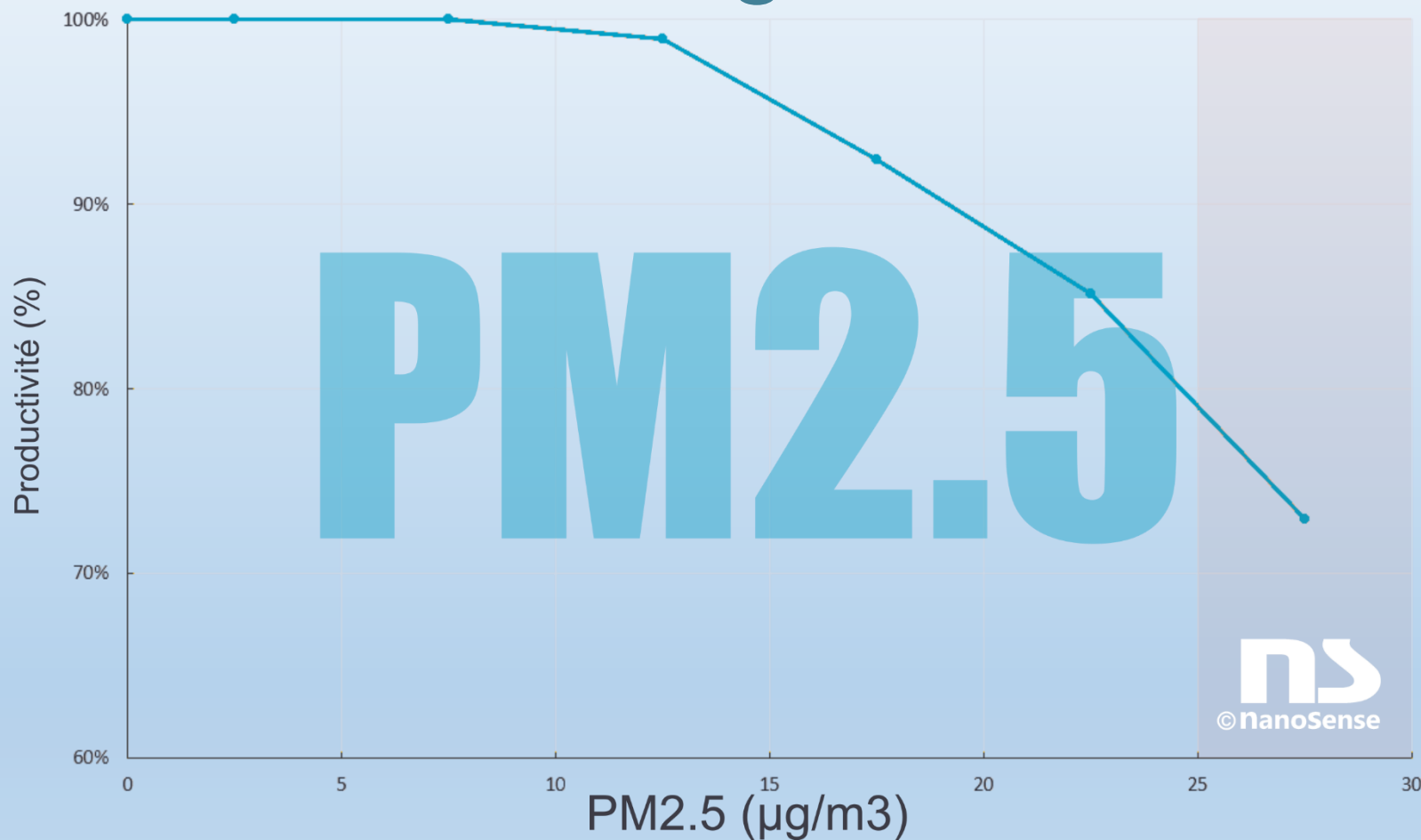
Source:



Exploitation des données brutes par NanoSense



Effet des Particules Fines sur les fonctions cognitives



Sources :

Courbe: NBER Working paper n°19944 (National Bureau of Economic Research - USA)

Seuil: 25 µg/m3 Moyenne exposition 24h - OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

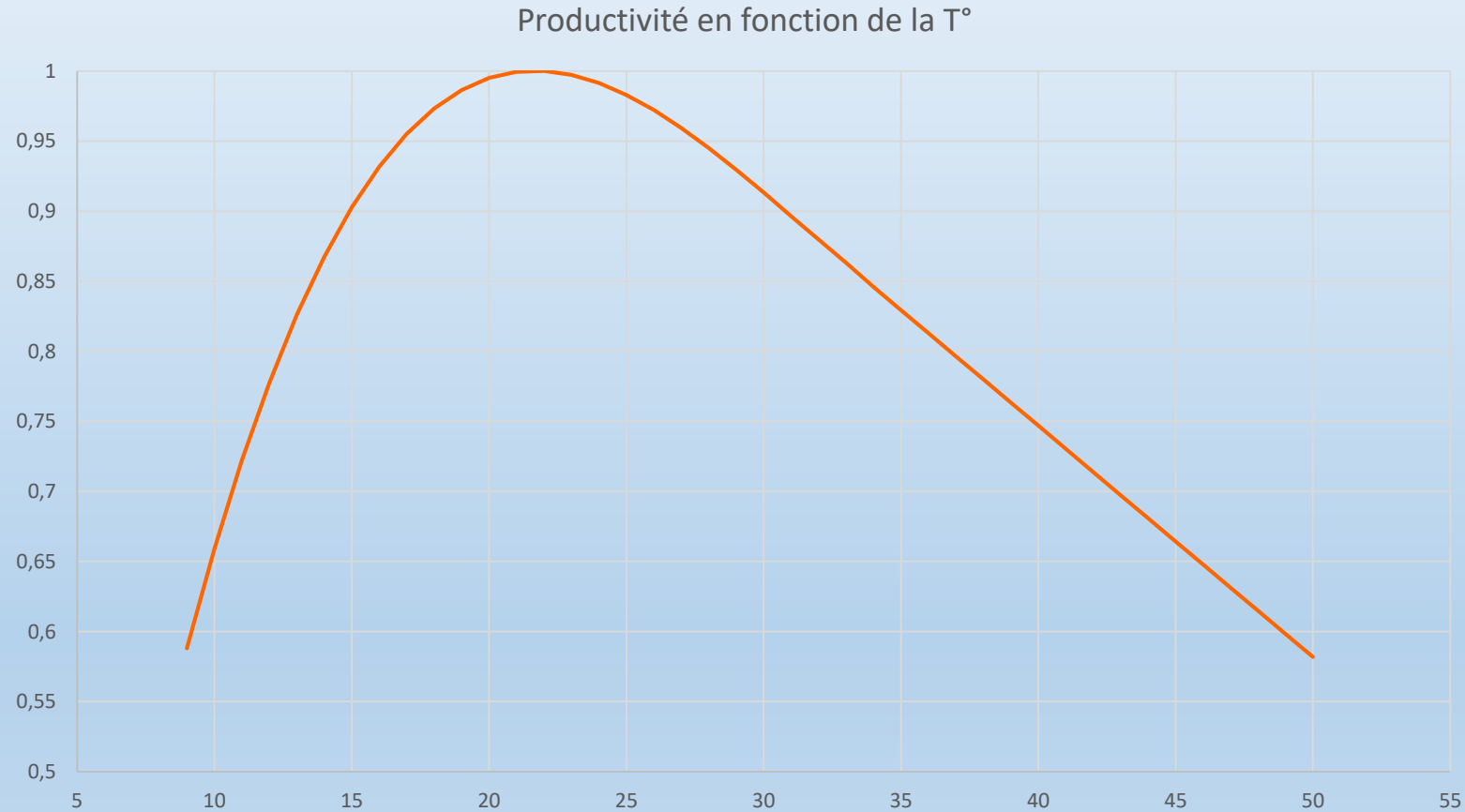


Organisation
mondiale de la Santé

NBER
National Bureau of Economic Research



Effet de la Température sur les fonctions cognitives



Source : <https://iaqscience.lbl.gov/si/performance-temp-office>



Effet de la lumière sur les fonctions cognitives

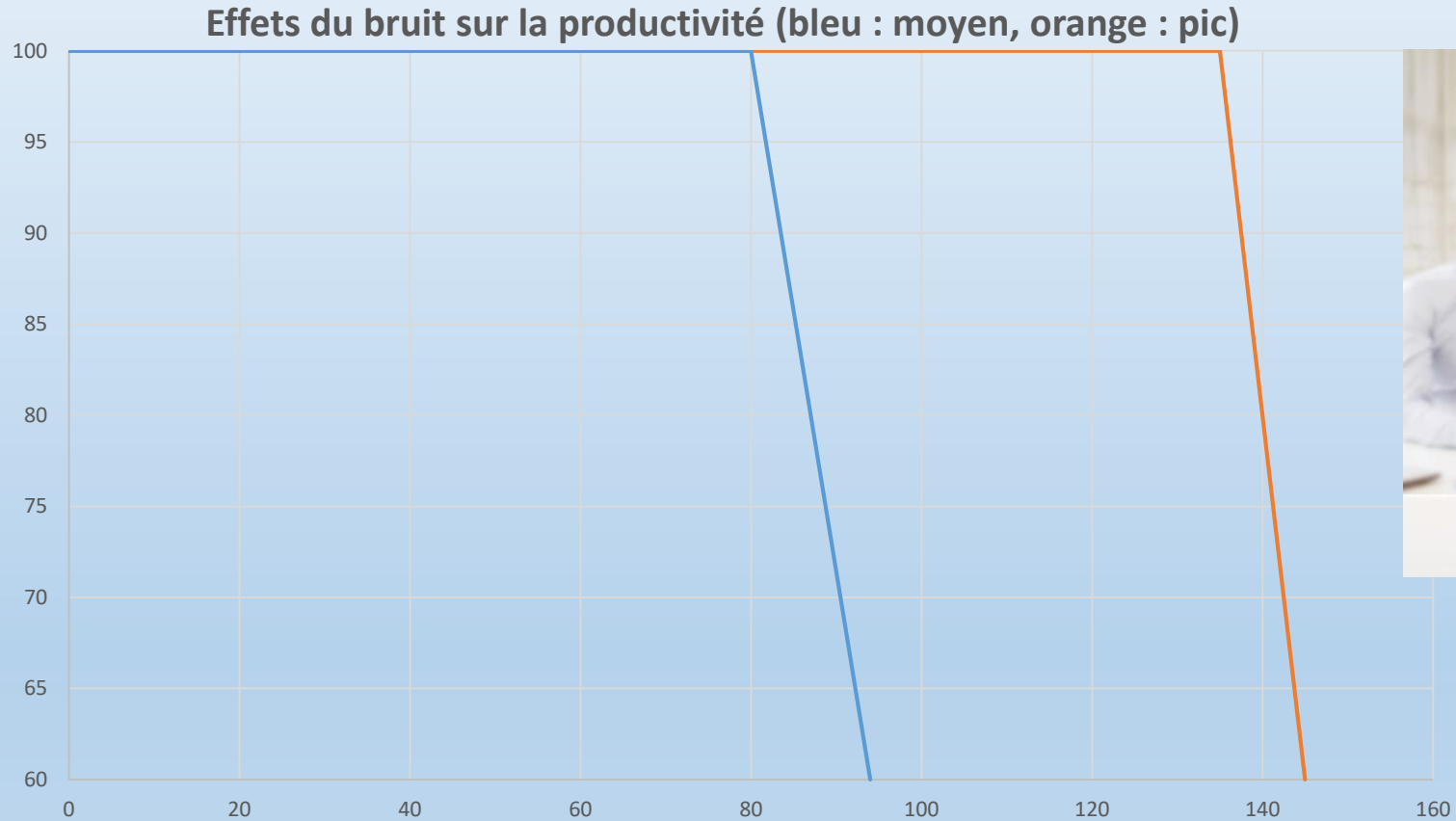


Le taux de mélatonine, hormone du sommeil, dépend de la température de la lumière et de son intensité.





Effet du bruit sur les fonctions cognitives





Effet des odeurs sur les fonctions cognitives

Les odeurs jouent sur notre humeur et les fonctions cognitives:

- Mémoire olfactive et effet sur le sérotonine
- Les bonnes et mauvaises odeurs sont une question de culture alimentaire
- Les odeurs soufrées sont quasi universellement mauvaises
- Le cerveau ajuste le seuil olfactif des odeurs (corporelle, groupe)



L'odeur du café ou même son évocation suffisent à améliorer les performances cognitives.





Santé et QAI ???

- Quelques graphiques

Les seuils sanitaires sont multiples

TWA is the Time Weighted Average (acceptable level for 8 hours exposure)

STEL is the Short Term Exposure Limit of 15 minutes

IDLH, Immediately Dangerous to Life and Health

IAGVs are Indoor Air Guideline Values

TRVs Toxicity reference values

DNEL Derived no-effect level

EUR Excess risk unit

....

Si le système de remédiation (ventilation) permet de maintenir la QA sous le seuil de TWA, il permettra de facto de rester sous le seuil du STEL. Donc pour un contrôle de remédiation, on ne tient pas compte du STEL.

Les effets sanitaires sont multiples

| | Cancérogène | Mutagène, génotoxique | Toxique pour la reproduction | Perturbateurs Endocrinien | Toxicité visant un organe spécifique | Irritant pour la peau, les yeux et le système respiratoire | Hypoxie | Impact cardiovasculaire | Crise d'asthme |
|--------------|-------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|---------------|-------------------------|----------------|
| TVOC | | | | | | ✓ | | | |
| NO2 | | | | | Poumon | ✓ | ✓ (MetHB*) | ✓ | ✓ |
| O3 | | | | | Poumon | ✓ | | | ✓ |
| PM10 | | | | | Poumon | | | ✓ | ✓ |
| PM2.5 | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Radon | ✓ | | | | Poumon | | | | |
| Formaldéhyde | ✓ | | | | | | | | |
| Benzène | ✓ | | | | | | | | |
| HAP | ✓ | | ✓ | ✓ | | | | | |

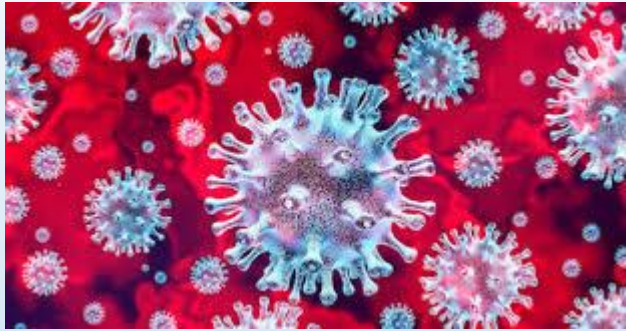
* Méthémoglobine : similaire a la carbohéoglobine liée au CO

Normalisation des seuils

| | TWA OMS | STEL OMS | IAGVs | Facteur de normalisation | Valeur commune après normalisation |
|-------------------|--|--|---|--------------------------|------------------------------------|
| TVOC | (Well: 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | 1 (500/500) | 500 |
| NO ₂ | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle) | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (une heure) | 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle) | 2.5 (500/200) | |
| O ₃ | 0.1 ppm | 0.3 ppm | | 1666 (500/0.3) | |
| PM ₁₀ | long terme: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24h: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | | No | 25 (500/20) | |
| PM _{2.5} | long terme: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24h: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | | No | 50 (500/10) | |
| Radon | long terme: 200 Bq/ m^3 | | | 2.5 (500/200) | |
| Formaldéhyde | | 0.1 mg/ m^3 (30 min) | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 5 (500/100) | |
| Benzène | Sans seuil | | 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un risque de 10^{-6} and 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 10^{-5} (exposition sur une vie) | 250 (500/2) | |

Principe de notre indice de santé

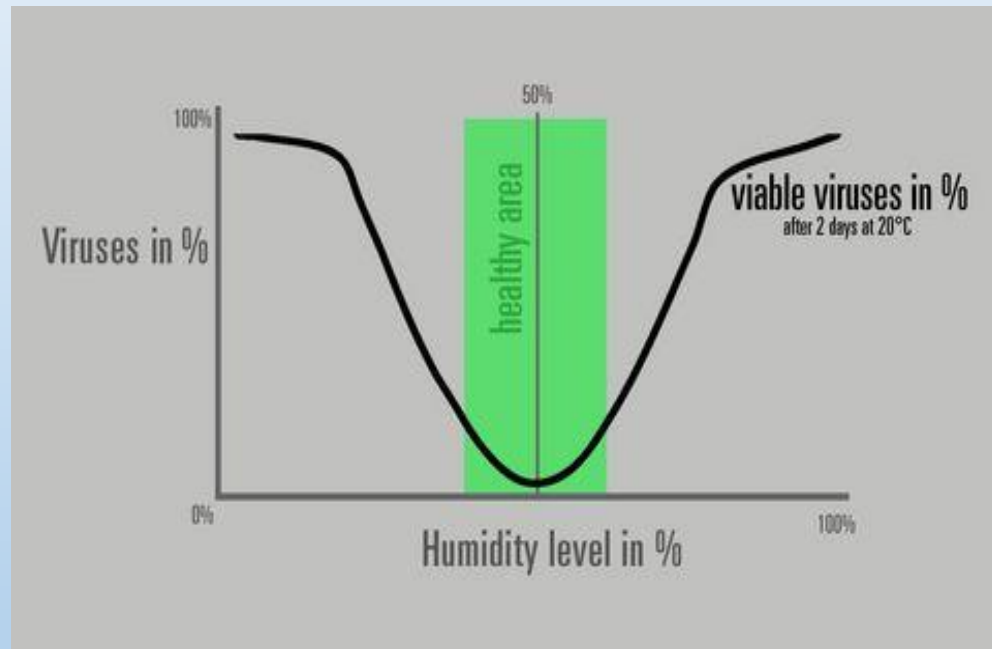
- La gamme va de 0 to 100%
- 100% correspond a un environnement totalement sain
- L'IAGVs ou le TWA étant des limites légales, on ne doit pas les dépasser.
- Si le cumul des contribution atteint ou dépasse le seuil légal commun (après normalisation) l'indice sera zéro
- Contrairement au cognitif, le cumul correspond a un effet cocktail purement additif



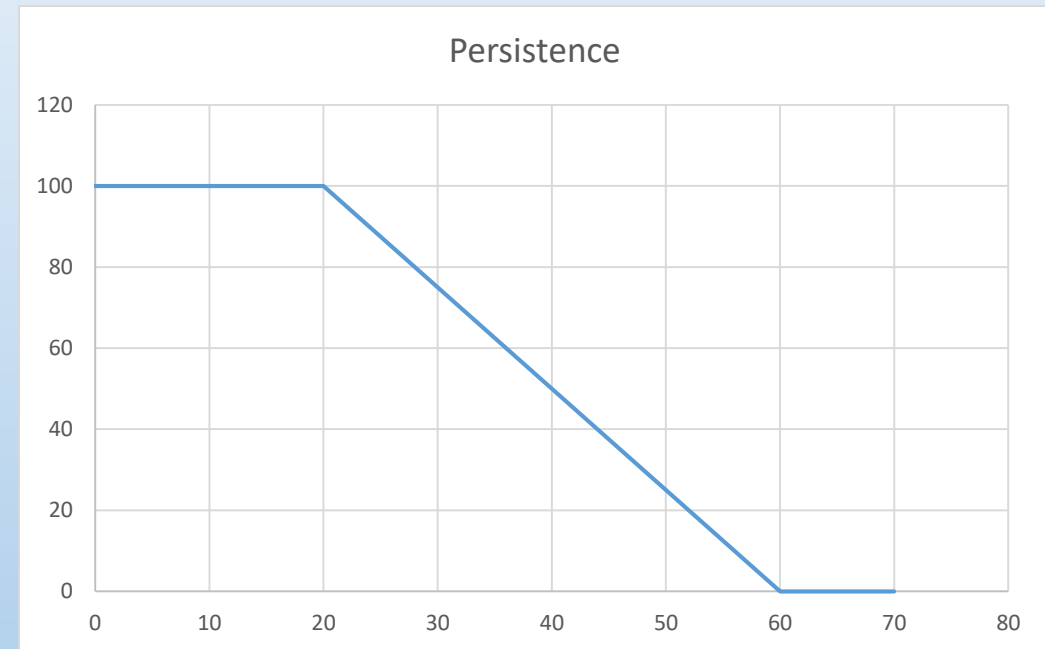
Indice de risque de diffusion des virus

- Quelques critères.....

La survie des virus dans le temps



Humidité



Température

La dispersion des virus Vs taux d'occupation

- Plus ce taux est important plus les occupants ont une chance d'être contaminés .
- Le taux d'occupation est caractérisé par les émissions de CO2 .
- Un niveau de 1000ppm peut être atteint avec une seule personne dans un espace mal ventilé ou par de nombreuses personnes dans une pièce bondée mais bien ventilée.
- Donc le taux d'occupation n'est pas fonction du niveau de CO2 mais du débit d'air neuf si la ventilation est réellement contrôlée.
- Une telle ventilation comporte une part proportionnelle et une part d'intégration (PI).
- La part d'intégration est fonction du nombre de personnes présentes.
- Part des PM dans la dispersion (étude Harvard et vapeur dans les abattoirs)

Que faire de tous ces graphiques ???

Algorithme avec effets Cocktails

Soumis à divers polluants simultanément les effets se combinent

$$1+1+1 \neq 3$$

$$1+1+1 > 3$$

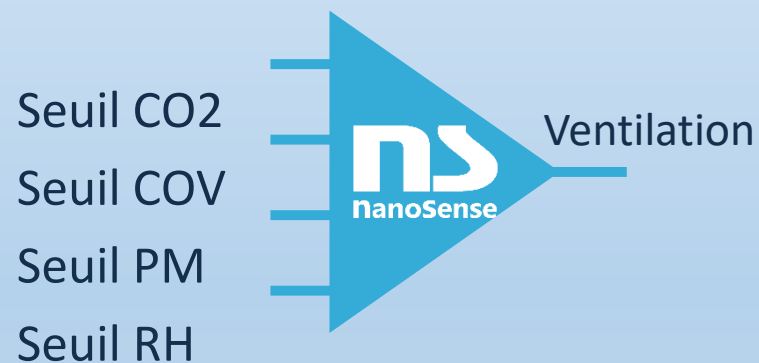


Contrôle de remédiation

Système classique:

Ventilation H24 (pas de pilotage) OU
Hygroréglable OU rarement CO2

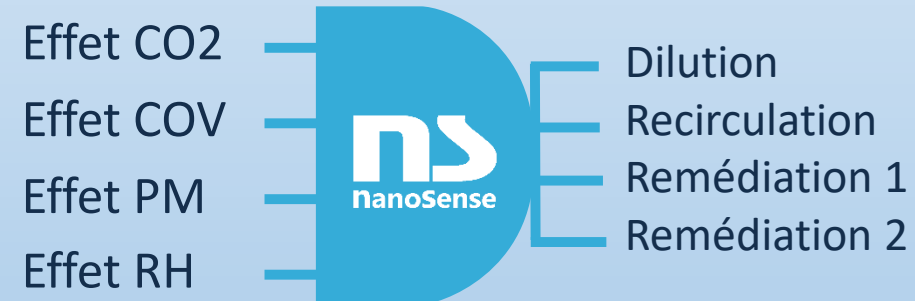
Système multi capteurs classique



Fonction **OU**

Ne tient pas compte de la
combinaison des effets

Smart QAI



Fonction **ET**

La fonction ET symbolise l'effet
cocktail



Arbitrage QAI / QAA

Scénario courant:

- ☐ CO2 à l'intérieur
- ☐ PM à l'extérieur



Si les Impacts physiologiques de l'air extérieur > impacts de l'air intérieur = Proscrire l'ouverture des fenêtres

Occupants informés = acteurs de leur environnement et de leur santé.



Complexité de la restitution de la QAI

Contrairement à la température, la QA n'est **pas perceptible** par nos sens.



Lorsque la QA est exprimé en concentration (ppm, ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$), elle est **difficilement compréhensible** !



Lorsque l'expression de la QA est comprise, les **seuils de toxicité** restent à mémoriser.

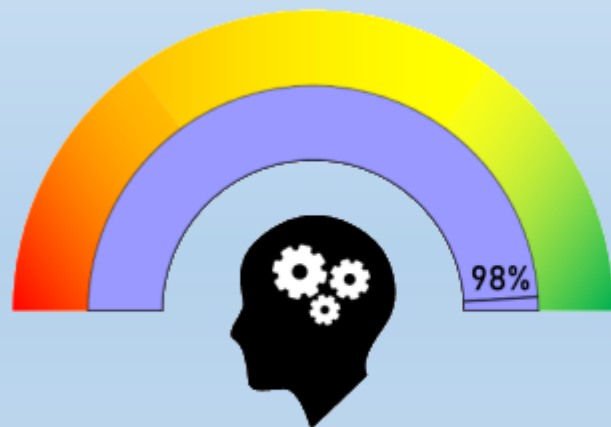


Les seuils réglementaires ne tiennent pas compte des **effets cocktails**

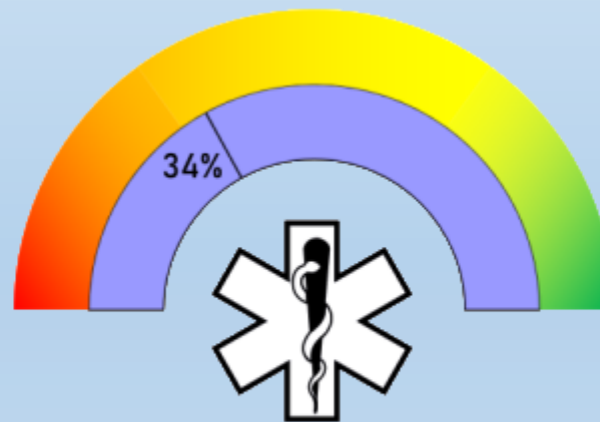


Indicateurs plus intuitifs

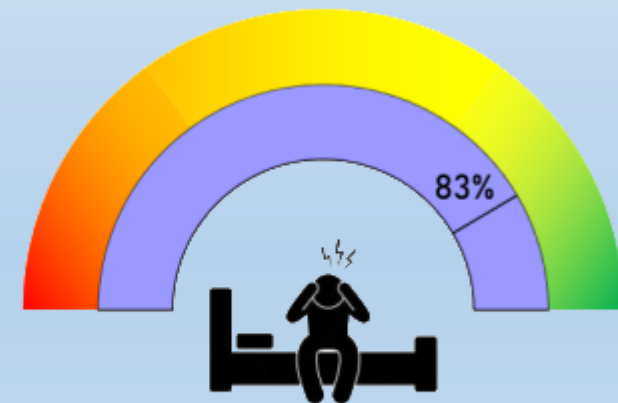
- ❑ Mesure productivité réelle extrêmement complexe (sauf centres d'appels)
- ❑ Estimations productivité basés sur des études académiques et des mesures
- ❑ Effets cocktails encore mal connus
- ❑ Hypothèses conservatoires suffisantes



Productivité



Santé

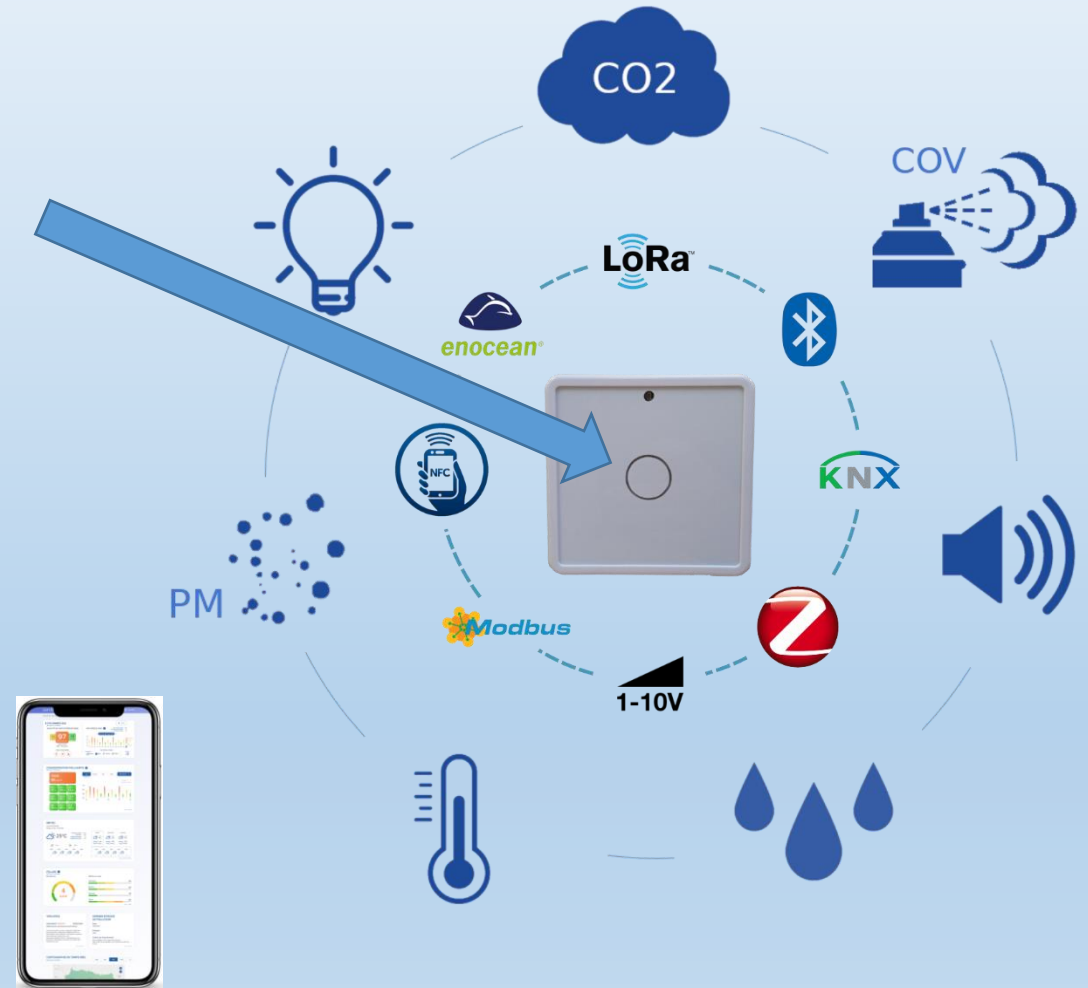


Qualité du Sommeil

Application pour sonde QAI

Indicateur simple (LED)
sur critères physiologique paramétrables
selon application

Consigne de contrôle sur objectifs
physiologiques
Indicateurs par effets physiologiques
Historisation



Expérimentation UrbanLab



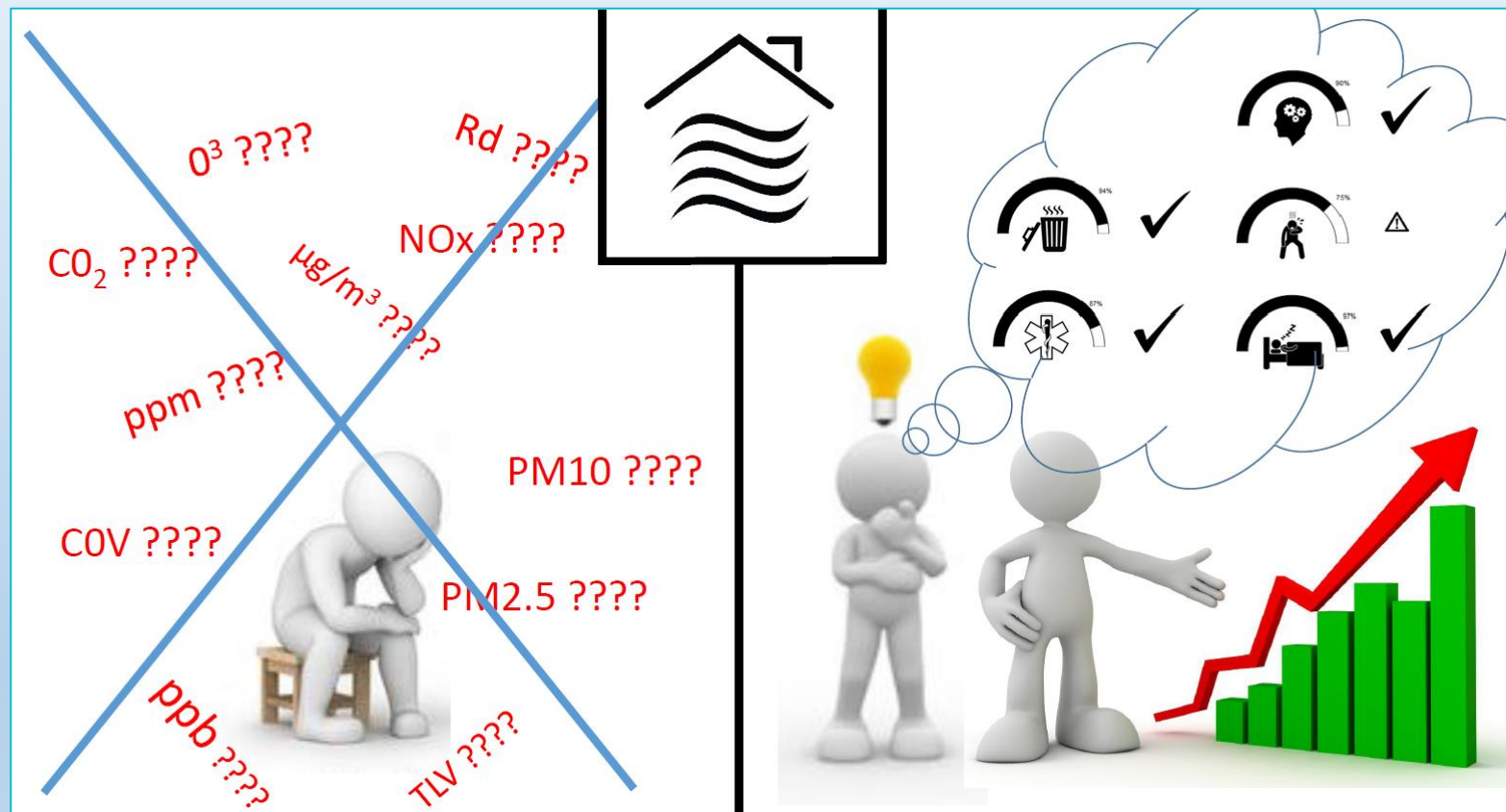
&CO Urban Lab
QUALITÉ DE L'AIR



MAIRIE DE PARIS



PARIS&CO



Mode pandémie

- Tous les échangeurs rotatifs des CTA des écoles de la Ville de Paris sont actuellement désactivés (similaire au free cooling)
- Des expérimentations actuelles dans les écoles parisiennes visent à gérer les débits d'air pour optimiser les fonctions cognitives et la santé (réflexion pour piloter sur un index pandémie + santé + cognitif lors de crises)
- REX :
 - Les débits nominaux sont généralement juste suffisants pour maintenir un taux de 1000ppm de CO2 mais insuffisants vis-à-vis des effets cocktail et d'une pandémie virale, il faut alors gérer les débits pièce par pièces (préau, salle de motricité, salles de repos et centre de loisir inutilisés durant les cours) afin de récupérer de la réserve de débit.



Impact économique de la QAI en France

- Santé : 19 Milliard €
- Education : 3,3 Milliards €*
- Productivité : 91 Milliards € **
 - Privé : 71,9
 - Public : 19,1
- Valeur patrimoniale : ? (dégradations par moisissures, peintures, poutres en bois, portes, fenêtres...)

* : 1 ans sur une scolarité de 15 ans soit 6,6% (source Norvège), 6,6% de 50 milliard (Budget EN) = 3,3 Milliards.

** : La VA de l'économie nationale s'élevait à 1 820,9 milliards en 2011, On estime la perte de productivité liée à la QAI à au moins 5% soit 91 milliards. A noter que la perte de productivité nuit au budget de l'état qui récolte en moyenne 28% des bénéfices des sociétés et qu'il est lui-même un employeur avec 21 % de l'emploi total en France