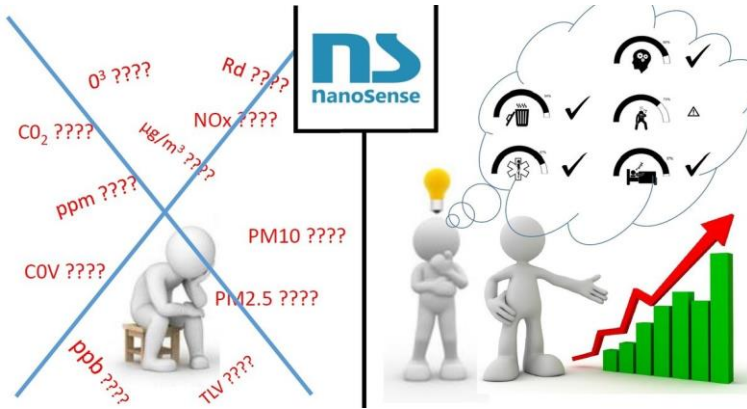


# Des sondes multi-capteurs au service de la Qualité de l'Air Intérieur sur Construction 21

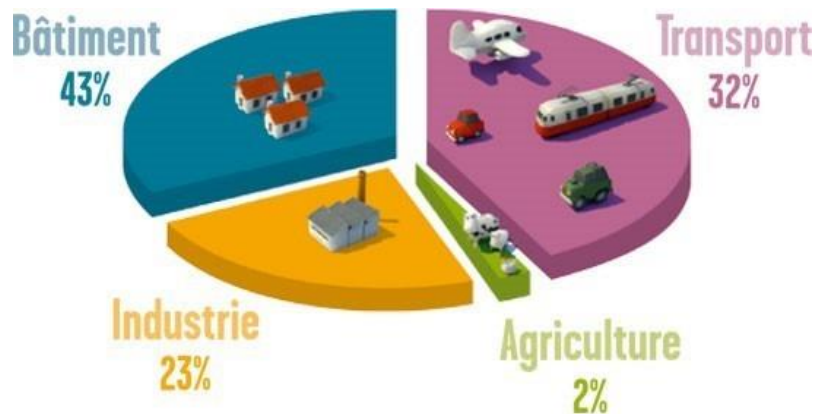


NanoSense est une PME francilienne impliquée depuis 2002 dans la qualité de l'air intérieur (QAI dans la suite du texte). La société conçoit et produit différentes sondes QAI Multi-capteurs (CO2, COV, T°, RH, Radon, PM) avec des algorithmes de contrôle (de ventilations) et sont compatibles avec les principales interfaces des grands standards du bâtiment intelligent. Le but de cet article est de partager ici son

expertise en Qualité de l'Air Intérieur ainsi que d'étudier différents moyens de l'améliorer.

Son expertise s'étend aussi aux systèmes autonomes dits à "Energy Harvesting" (à récupération d'énergie) ainsi qu'à la représentation de la QAI sous forme d'impacts humains et comme tout savoir, celui-ci est fait pour être partagé.

Sachant que les bâtiments sont les plus gros consommateurs d'énergie du pays, le législateur a mis en place différents instruments : Incitations fiscales à la rénovation pour les bâtiments anciens (les plus énergivores), réglementations thermiques pour les bâtiments neufs (la dernière en vigueur étant la RT2012) et pour la première fois une réglementation pour les plus gros bâtiments tertiaires existants obligeant ainsi à les rénover.



La consommation d'énergie en France par secteur d'activité  
Source : Ministère de l'Ecologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Les différentes réglementations thermiques successives ont d'abord privilégié l'isolation de l'enveloppe puis son **étanchéité à l'air** en passant par le chauffage à rendement amélioré (condensation et pompes à chaleur). Depuis la RT 2012 les bâtiments neufs sont donc « étanches à l'air » ce qui nécessite une ventilation mécanique ou naturelle contrôlée.

En effet un bâtiment bien isolé perd principalement des calories par **le rejet d'air chaud l'hiver ou d'air frais l'été lié à la ventilation**. La consommation de chauffage et de climatisation devient alors majoritairement liée au débit d'air renouvelé.

Il est donc nécessaire de contrôler à bon escient le renouvellement de d'air pour **minimiser la consommation énergétique** mais il faut tout d'abord se poser la question principale : Pourquoi avons-nous besoin de renouveler l'air des bâtiments ?

Nos fonctions cérébrales nous distinguent des autres mammifères, le cerveau est notre patrimoine le plus précieux. Celui-ci, même s'il ne représente que 2% du poids de notre corps consomme à lui seul 20% de l'oxygène de l'air respiré via le flux sanguin. Et le sang fourni également d'autres aliments au cerveau dont il se nourrit avec frugalité.

La respiration est similaire à une combustion : nous inhalons de l'oxygène que nos poumons assimilent et qui est transporté grâce à l'hémoglobine mais ils rejettent également celui qui a été consommé (oxydation) sous forme de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O). Le volume respiré en une seule journée représente un volume de 15m<sup>3</sup> d'air. La surface développée de nos poumons représente environ celle d'un court de tennis. Cette surface gigantesque est très poreuse et absorbe outre de l'Oxygène des Composés Organiques Volatiles (COV) et des particules fines contenues dans l'air. Si ces éléments n'étaient pas absorbés, le fond de nos poumons seraient aussi encrassés en une journée que le dessous de notre lit au bout d'un mois. C'est ainsi qu'en respirant des vapeurs d'alcool (un COV parmi d'autres) on peut rapidement devenir ivre sans parler des drogues inhalées.

Tous ces éléments absorbés par respiration sont véhiculés par le sang pour nourrir principalement notre cerveau.

C'est pour cette raison que **la mauvaise qualité de l'air intérieur altère les fonctions cognitives et la productivité**.

Par exemple, une concentration de 1000ppm de CO<sub>2</sub> (l'air que nous expirons), c'est-à-dire le seuil réglementaire pour une salle de classe, correspond à une réduction des fonctions cognitive de plus de 23%. Quand on sait que dans une salle de classe on arrive couramment à plus de 3000ppm après une heure de cours, il ne faut pas s'étonner des résultats médiocres des élèves. On atteint également des taux de CO<sub>2</sub> élevés dans une chambre à coucher dont la porte est fermée ce qui altère la qualité du sommeil.

Si le CO<sub>2</sub> n'a pas d'impact sanitaire (sauf à atteindre des taux extrêmement élevés) les COV et les particules fines affectent la santé. **Les particules fines sont à elles seules responsables de plus de 48 000 morts par an en France**. Les COV sont globalement néfastes mais certains font désormais l'objet d'une réglementation spécifiques aux établissements recevant du public (ERP) car reconnus comme cancérigènes avérés : Le formaldéhyde et le benzène. On trouve du formaldéhyde dans le bois (naturel) mais surtout dans les colles (bois agglomérés). On trouve du benzène dans certains plastiques et dans les vapeurs d'essence (remplaçant du plomb). Les cas où le benzène est le plus important concernent les parkings reliés à l'habitation.

Pour ces différentes raisons il est donc indispensable de ventiler les bâtiments, mais la dilution avec l'air extérieur n'est pas toujours la solution optimale tant sur le plan énergétique que qualitatif comme on le verra plus loin.

## **Solution NanoSense : la QAI pilotée par multi-polluants**

Comme on l'a vu précédemment il faut garantir un taux de CO2 suffisamment bas pour que les fonctions cognitives ne soient pas affectées. Mais il ne faut pas négliger le confort olfactif et la productivité. Malgré une sonde CO2 dans une salle de réunion, combien d'entre nous ont ressenti une gêne olfactive après une pause-café en revenant dans la salle ! Le corps humain régule sa température par sudation. C'est l'évaporation de la sueur qui crée un rafraîchissement. C'est cette sudation qui exhale de l'acide valérique et que nous percevons. Mais l'acide valérique comme la plupart des autres COV sont assimilés dans le sang lors de la respiration et affectent, comme le CO2, les fonctions cognitives. C'est une découverte récente mais dont les conséquences sont considérables.

NanoSense a été le premier fabricant de sondes QAI à intégrer des **capteurs de COV**. Cela permet une ventilation qui assure un confort olfactif, une meilleure productivité (fonctions cognitives) et une meilleure santé sur le long terme.

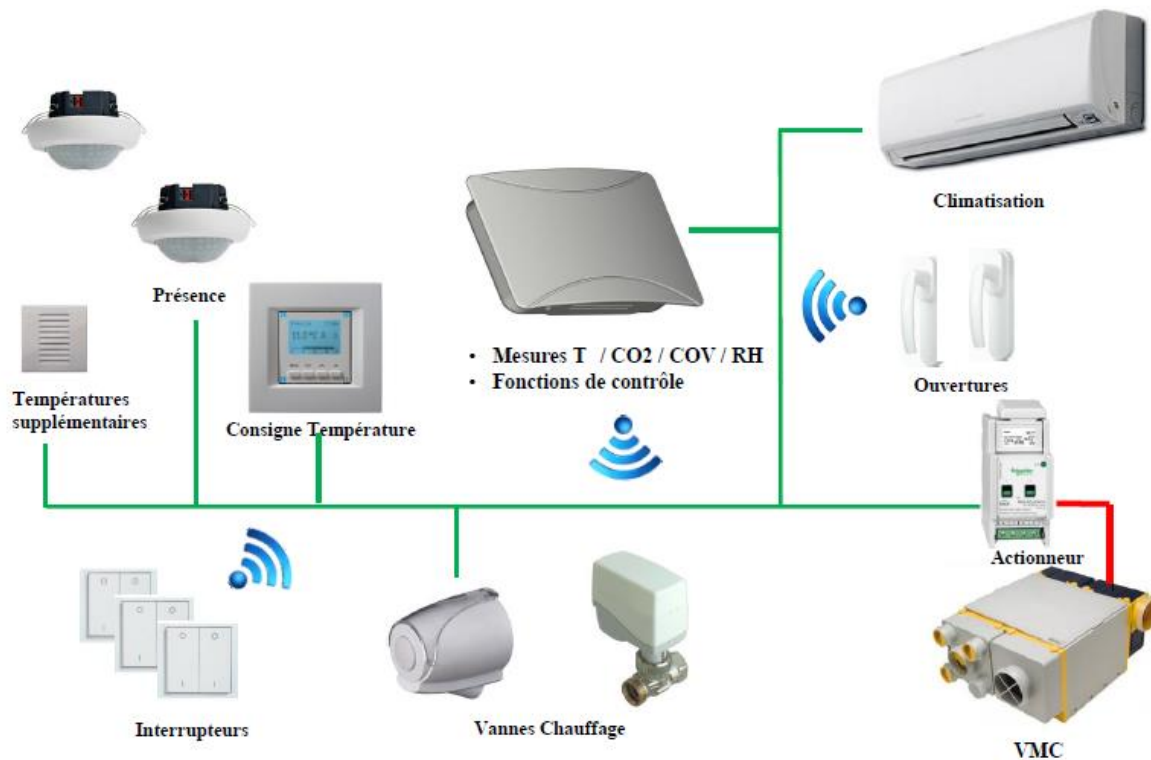
Mais une bonne régulation de la ventilation doit également tenir compte de l'humidité intérieure. Un air trop humide engendre des dégradations dans le bâtiment (peintures tachées ou qui pellent, moisissures, parquets qui gondolent). alors qu'un air trop sec génère des fissures dans les meubles, les menuiseries et les parquets mais il peut également affecter les occupants : produire des phénomènes d'électricité statique, dessécher la peau, les lèvres et irriter les muqueuses et les voies respiratoires.

Idéalement, une sonde QAI devrait pouvoir tenir compte de l'humidité de l'air extérieur. En effet si l'humidité absolue de l'air extérieur est supérieure à celle de l'air intérieur que l'on cherche à réduire, il n'est pas opportun d'utiliser la dilution. L'assèchement doit alors être obtenu par d'autres moyens comme par exemple la climatisation.

Les sondes QAI NanoSense peuvent être connectées à une sonde extérieure de température et d'humidité à cet effet. De surcroît, la température extérieure est utilisée pour la régulation du « free cooling » (rafraîchissement en été lorsque l'air extérieur est plus frais, typiquement la nuit).

Naturellement, les sondes QAI NanoSense intègrent des **commandes de ventilations sur dépassement de seuils multi-polluants CO2, COV, Humidité, PM1, PM2.5 et PM10, Radon**. Le contrôle en Température s'effectue avec un algorithme auto adaptatif (utilisant un PID Proportionnel Intégrale Dérivé très précis dont les paramètres se remplissent par apprentissage).

## Ecosystème KNX/LON + EnOcean



Mais optimiser la ventilation, c'est aussi s'intégrer dans l'écosystème du bâtiment. En effet les capteurs de présence généralement utilisés pour allumer ou éteindre automatiquement les éclairages peuvent être utilisés pour **ajuster les exigences de QAI à l'occupation**. De même des capteurs d'ouverture de fenêtre peuvent être utilisés pour **couper le chauffage et la ventilation en cas d'ouverture de fenêtres**.

Ces éléments font de la gestion de la QAI un acteur encore plus impliqué dans **l'efficacité énergétique du bâtiment**.

Les écosystèmes utilisent généralement un moyen de communication standardisé qui permet une interopérabilité entre les équipements de différents fabricants. Un même capteur de présence pourra ainsi être utilisé, pour le chauffage, la climatisation, la ventilation, l'éclairage, voire les volets roulants.

Les standards les plus courants sont le **KNX** (bus numérique filaire) et EnOcean (radio pour capteurs sans pile et sans fil).

Le protocole KNX est le plus sophistiqué et permet un paramétrage très fin. Il est principalement utilisé dans le tertiaire et l'hôtellerie. L'équivalent du KNX sur le marché

Nord-Américain est le standard **LON** parfois utilisé dans les Immeubles de Grande Hauteur (IGH) en Europe.

Le protocole radio **EnOcean** est simple à déployer mais en contrepartie limité en terme de paramétrage. C'est le standard radio de référence en matière de capteurs et d'actionneurs **sans pile et sans fil** car c'est un standard ISO international. Il utilise une fréquence de 868 Mhz ce qui lui confère une grande portée à l'intérieur des bâtiments. L'énergie radio mise en œuvre est particulièrement faible (100 fois moins que celle générée par l'étincelle à l'intérieur d'un interrupteur traditionnel) ce qui fait de cette technologie la solution idéale pour les crèches et les écoles où les rayonnements électromagnétiques ne sont pas les bienvenus.

Il existe également un standard hérité des installations industrielles dénommé **Modbus**. C'est un bus numérique filaire très peu cher permettant d'atteindre de grandes distances (1,2Km) mais qui ne dispose pas d'un langage standardisé et qui nécessite un automate centralisé rendant l'architecture plus vulnérable comparé aux standards précédents à « intelligence » distribuée et donc, par nature, plus résilientes en cas de panne.

Il n'existe pas de standard idéal, c'est pourquoi NanoSense propose des sondes QAI répondant à tous ces différents standards. Comme il est parfois judicieux de mixer plusieurs standards il existe même une **fonction passerelle intégrée** aux sondes QAI. Typiquement une sonde QAI KNX avec des poignées de fenêtres sans pile sans fil EnOcean.

## **Solution Optimale : Prise en compte des effets Cocktail**

Un système de mesure et de contrôle multi-polluants est comme nous venons de le voir bien plus pertinent que les systèmes "aveugles" ou de ventilation sur CO2 et/ou Humidité.

Cependant si l'on veut être réellement pertinent il faut regarder l'image dans son ensemble ! N'y a-t'il pas **plusieurs polluants de l'air intérieur néfastes** ? Bien qu'il existe pour chacun un seuil qu'il n'est pas conseillé de dépasser, si tous ces seuils atteignent ou dépassent leur limite en même temps, ne serait-il pas plus dangereux de respirer cet air plutôt qu'un air ou un seul des polluants serait à la concentration limite ?

Dans les médicaments sans ordonnance par exemple, il est écrit "ne pas dépasser X comprimés par jour" mais si vous prenez 10 boîtes de médicaments différents et que vous ingérez la dose limite conseillée à chaque fois... **L'impact sur votre corps en sera décuplé** et il en va de même pour l'impact sur votre cerveau qui est la partie la plus irriguée du corps.



C'est dans cette optique que NanoSense quantifie et intègre dans ses calculs d'impacts physiologiques **les effets cocktail des différents polluants de l'air intérieur**.

En effet, avec l'algorithme Smart QAI, une ventilation peut être déclenchée sans qu'aucun des seuils de polluants ne soient dépassés si **l'impact global** est supérieur à la consigne souhaitée.

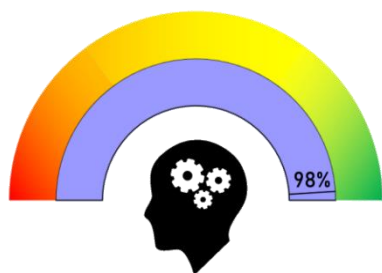
### **Démocratisation et vulgarisation de la Qualité de l'Air**

Les réglementations thermiques actuelles et futures concernent toute la population et il n'est pas envisageable de démocratiser des systèmes de remédiation basés sur la mesure de la QAI sans donner une certaine visibilité comme on le fait avec un thermostat qui affiche la température de consigne et la température ambiante.

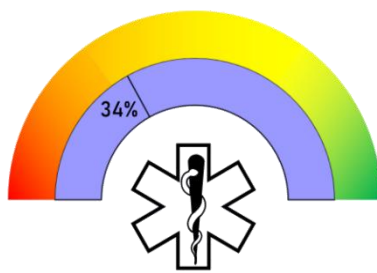
Il serait déraisonnable de penser pouvoir éduquer toute une population à la QAI au point qu'elle puisse comprendre et interpréter des ppm, des ppb et des  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il est donc indispensable de trouver **une manière simple et intuitive de représenter le QAI**.

L'usage de sondes QAI actuelles pour contrôler les systèmes de ventilation se heurte également à la **difficulté de paramétrage par les intégrateurs**. De surcroît les seuils réglementaires, lorsqu'ils existent, sont plus guidés par les aspects sanitaires que par leurs effets physiologiques immédiats.

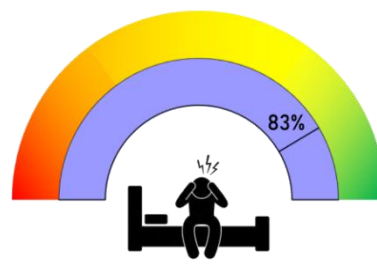
Une nouvelle manière d'exprimer la QAI est de la faire par ses **effets physiologiques induits** plutôt que par des mesures.



**Productivité**




**Santé**



**Qualité du sommeil**

Le tableau ci-dessous résume les différents effets physiologiques et les éléments de la QAI qui y contribuent.

 © NanoSense	CO2	COVt	PM	Formaldéhyde, Benzène	Radon	Bruit	Odeurs	T°	HR	NOX O3
Cognitif / Productivité	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
Santé		✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓
Qualité du sommeil	✓	✓	✓			✓		✓		
Confort Olfactif		✓					✓			✓
Confort Thermique								✓		
Confort Sonore						✓				
Confort air sec									✓	
Irritations			✓						✓	✓
Développement de moisissure, de spores et d'acariens									✓	

## Productivité

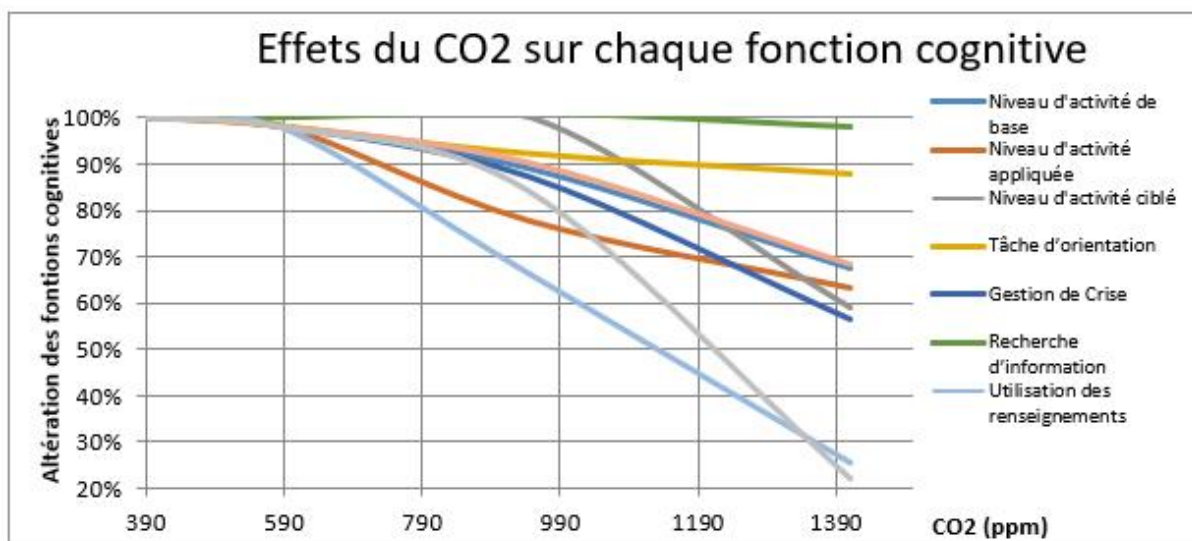
La problématique de productivité concerne principalement **le tertiaire** mais concerne également les **établissements scolaires** ou les fonctions cognitives sont au centre de la mission de l'éducation Nationale.

Les sondes actuelles du marché contrôlent la remédiation à partir de seuils individuels (CO2 principalement, voir humidité et COV dans le meilleur de cas) **sans se soucier des effets physiologiques ni de la combinaison des différents constituants**.

Le tableau ci-dessus montre que la **productivité est liée aux concentrations de CO2, de COV, des Particules Fines et à la Température** (voir le bruit).

Grace à la puissance des microprocesseurs embarqués dans les sondes QAI, il est désormais possible de mettre en œuvre des algorithmes qui permettent de **déterminer automatiquement des seuils de régulation de la ventilation**, en fonction de la température ambiante et des objectifs de productivité. Si un seuil est dépassé par un des éléments, les seuils des autres contributeurs peuvent être automatiquement ajustés afin de pouvoir tenir l'objectif de productivité défini sur la moyenne des polluants contributeurs.

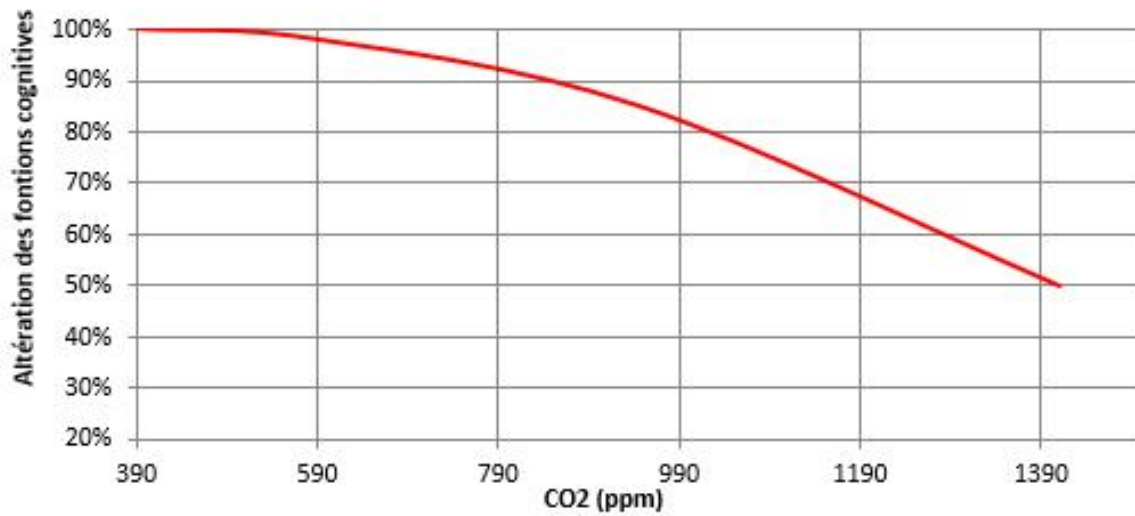
L'impact du CO2 sur les fonctions cognitives est connu depuis longtemps. Il a été récemment quantifié par le NIH (National Institute of Environmental Health Science) aux USA vis à vis de différentes activités ce qui correspond aux graphiques suivants :



Ces courbes peuvent être moyennées de la façon suivante



## Effets du CO2 sur les fonctions cognitives (Moyenne)

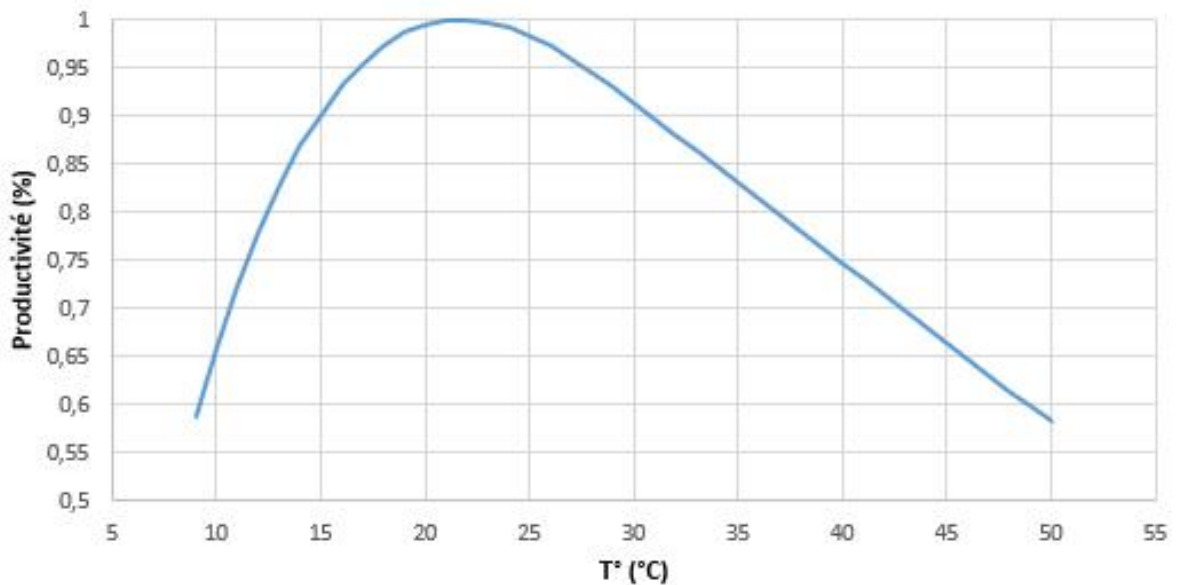


De façon plus surprenante cet institut a démontré dans cette même étude, l'impact des COV totaux.

Dans une autre étude menée sur des emballeurs de poires payés à la tâche, il a été possible de démontrer et quantifier l'impact des particules PM2.5 sur la productivité.

L'impact de la température a lui aussi été modélisé sur la base d'une moyenne de plus de 20 études et synthétisé de la façon suivante :

## Productivité en fonction de la T°



Il semble en effet évident que s'il fait trop chaud ou trop froid, il est difficile de se concentrer sur une tâche mais encore fallait-il modéliser cet impact de façon mathématique.

On peut également modéliser l'impact du bruit ambiant sur la concentration.

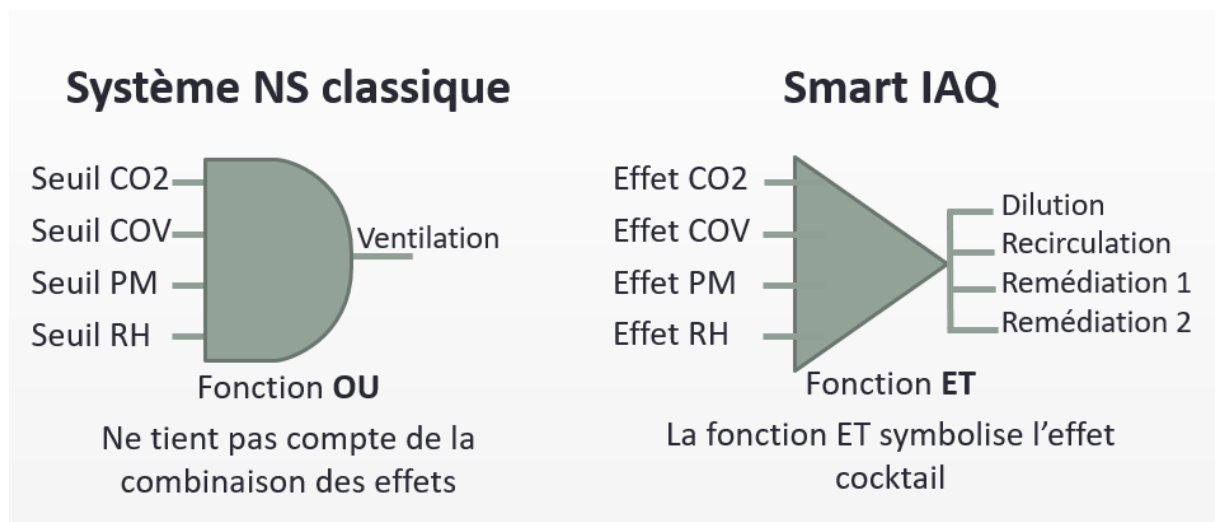
Le confort olfactif peut également altérer la productivité mais le phénomène est plus complexe qu'il peut paraître au premier abord. En effet, la notion de bonne ou mauvaise odeur est très subjective et très liée à la culture culinaire (œuf de cent ans par ex.) et à la mémoire olfactive de la petite enfance qui associe certaines odeurs à des sentiments de bien-être et d'autres à des souffrances passées. De surcroît, le cerveau adapte le seuil olfactif pour chaque odeur (système lié à l'acceptation des odeurs corporelles personnelles).

La prise en compte du **confort olfactif** sera donc basée sur des **variations rapides des niveaux de COV**.

Il existe donc, pour les fonctions cognitives, des modèles mathématiques simples pour chaque contributeur (voir graphiques précédents) issues de différentes recherches académiques.

Toutefois, dans la vie réelle, tous ces effets étudiés et quantifiés individuellement en laboratoire se combinent (**effet cocktail**) et il convient de pouvoir établir **un impact global**.

Il n'existe pas encore d'études sur l'effet cocktail des contributeurs à l'altération des fonctions cognitives mais NanoSense a développé un modèle mathématique qui est en cours d'expérimentation.



Lorsqu'un bâtiment est équipé de moyens de remédiation comme la recirculation à travers un filtre PM il est possible de réduire les PM sans procéder au renouvellement de l'air ce qui est plus efficace et plus économique que la dilution. La dilution peut être équipée ou pas

d'un système de filtrage de l'air entrant. Le contrôle des différents moyens de remédiation nécessite donc de prendre en compte leurs caractéristiques et d'optimiser leur engagement en fonction de leur efficacité et de leur impact économique.

### Prise en compte de l'air Extérieur (QAA : Qualité de l'Air Atmosphérique)

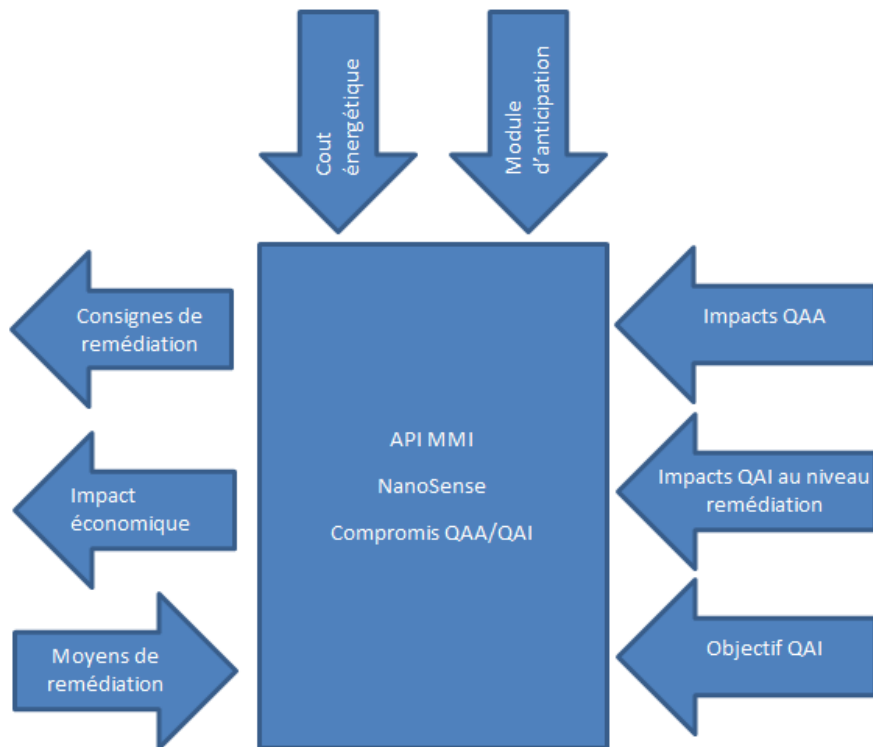
Une politique de remédiation optimale est le compromis entre la pollution intérieure, la pollution de l'air extérieur dit neuf, les consommations énergétiques (différentes en fonction de moyens de remédiation) et les consignes utilisateur. Le cas le plus courant est une exposition forte au CO2 qui affecte principalement les fonctions cognitives avec un air extérieur chargé en particules fines (PM2.5) et une VMC sans filtre.



également les fonctions cognitives mais elles affectent surtout la santé sur le long terme. Le compromis concerne donc des **conséquences de nature totalement différentes pour des temps d'exposition également très différents.**

*Sonde QAA NanoSense*

Le coût énergétique de la dilution et des autres moyens de remédiation contribue à la politique de remédiation.



Le but de cette solution est de déterminer les consignes de remédiation à appliquer qu'elles soient manuelles et /ou automatiques.

Début 2018, **la Ville de Paris et l'Urban Lab de Paris&Co** ont décidé de faire de l'enjeu majeur qu'est la qualité de l'air, la thématique de leur nouveau **programme d'expérimentations**, en s'accompagnant pour cela de l'expertise technique d'Airparif.

La solution **SmartQAI** de NanoSense fait partie des 5 projets de Qualité de de l'Air intérieur à avoir été **sélectionné**, aux côtés d' « Air4kids », une solution proposée par VentilairSec qui met en œuvre des sondes QAI NanoSense pour contrôler un système de VMI VentilairSec innovant.

## Émergence produits Autonomes dans le bâtiment

Dans ces politiques d'efficacité énergétique des bâtiments, les installations (l'enveloppe, le chauffage...) ne doivent pas être les seules contributrices, les automatismes du bâtiment peuvent contribuer pour 30% d'économie d'énergie. On doit donc pouvoir multiplier les capteurs pour automatismes (Sondes de présences, d'ouvertures de fenêtre, de QAI, de T°, ...) à moindre coût.

L'installation d'une sonde câblée coûte presque autant que la sonde elle-même. L'utilisation de sondes autonomes en énergie est donc un moyen économe de déployer des

automatismes dans le bâtiment. De surcroît, ce déploiement est rapide et pas invasif (continuité de l'activité dans le tertiaire).

C'est pour cela que NanoSense investit depuis plusieurs années pour créer des produits autonomes au service du bâtiment et de leurs utilisateurs!

NanoSense a développé une sonde QAI (CO2, COV, T°, RH) entièrement alimentée par la lumière ambiante. Elle communique en radio selon différents standards basse consommation notamment EnOcean.



Pour compléter l'écosystème, un afficheur contrôleur également autoalimenté par la lumière ambiante a aussi vu le jour.

Ces produits sont conçus pour une **durée de vie supérieure à 10 ans** mais elle est **théoriquement infinie** ! De plus ils continuent de fonctionner, même lors d'une absence prolongée, pendant 60 jours dans le noir.

## Synthèse

Nous avons vu ici le **besoin de piloter les différents moyens de ventilation** dû principalement à l'étanchéité accrue des bâtiments dans une optique d'efficacité énergétique. Cependant l'efficacité énergétique recherchée ne doit pas se faire au détriment d'une bonne Qualité de l'air. Il serait judicieux, dans cette optique, de ne pas sur-ventiler en permanence de peur d'intoxiquer les occupants. Nous avons vu que l'existant, en terme de pilotage de ventilation, se contentait dans le meilleur des cas de piloter en Humidité ou en CO2.

Ce pilotage est loin d'être optimal et c'est pourquoi il est préférable d'utiliser des **solutions de pilotage de ventilation par détection multi-polluant** (CO2 + COV + PM) et une intelligence de contrôle intégrée dans les sondes.

Pour que ces solutions soient démocratisées, il est important de prendre plusieurs facteurs en compte, les capteurs ainsi que leur déploiement doivent être à **moindre coût**, l'accès aux

données de **QAI en termes intelligibles** doit se démocratiser grâce à un **accès simple et direct**. Afin que les occupants soient des acteurs éclairés de leur QAI il semble nécessaire d'utiliser une visualisation des données de la Qualité de l'Air en **impacts physiologiques** sur smartphones ou tablettes.

L'intégration de la **Qualité de l'Air Extérieur, des effets cocktails et d'une considération énergétique** nous semble être l'avenir en termes de représentation et de gestion de la Qualité de l'Air Intérieur.



[Retrouvez ici l'article sur le site de Construction 21 !](#)

**PDF** [Notre dossier de presse 2020.](#)

**PDF** [Notre communiqué de presse 2020.](#)

**PDF** [Dossier thématique par Construction 21 et Alliance HQE.](#)

**PDF** [Article rédigé par Alliance HQE](#)