

QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

La place des capteurs de mesure en continu
lors de la réception ou de l'exploitation
d'un bâtiment



Note de
cadrage



SOMMAIRE

Note de
cadrage



AVANT-PROPOS	3
INTRODUCTION	5
LES ENJEUX DES CAPTEURS <i>à bas coût pour la mesure en continu de la qualité de l'air intérieur</i>	7
SPECIFICATIONS TECHNIQUES <i>des capteurs à bas coût</i>	12
• CO ₂	
• Particules	
• COV	
• COV Légers	
• Formaldéhyde	
POUR BIEN COMPRENDRE	19
ANNEXE	21

Nous contacter

Alliance HQE-GBC
4 avenue du Recteur Poincaré
75016 PARIS

Site internet : www.hqegbc.org
Twitter : @hqegbc
Tél : 01 40 47 02 82

Publication Mai 2021

AVERTISSEMENT

**Ce document est la propriété
de l'Alliance HQE-GBC,**

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.



AVANT-PROPOS



DES ANALYSEURS EN CONTINU AUX CAPTEURS À BAS COÛT DE MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Lorsque, dans mon laboratoire, nous nous sommes intéressés à la fin des années 80 à la qualité de l'air dans les logements et les établissements accueillant de jeunes enfants, nous n'avions à notre disposition que les analyseurs utilisés dans les stations de surveillance de la qualité de l'air extérieur. Installer ces analyseurs bruyants dans les maisons de nos collaborateurs ou dans les salles de classe n'était pas une mince affaire. Nos collègues ont accepté leur présence dans leur salon, mais pas dans leur chambre à coucher, tandis que nous trouvions un local technique à proximité de la salle de classe pour disposer ces équipements et « tirer » des tubes à travers la porte pour prélever l'air, afin de ne pas gêner les enfants durant leurs cours. Cette étude a été présentée au 6^{ème} congrès international Indoor Air '93 à Helsinki sous le titre « Chemical characterisation of indoor air quality inside schools in Paris ».



Mais la mesure de la qualité de l'air dans les environnements intérieurs a pris son essor avec le développement des tubes à diffusion passive. Ils ont comme avantages de ne pas être bruyants, d'être faciles à poser dans une pièce ou à porter comme un badge. Après analyse en laboratoire, ils donnent des informations sur une exposition chronique sous la forme d'une concentration intégrée sur une semaine, qui est ensuite comparée à des valeurs de référence (valeurs réglementaires lorsqu'elles sont définies, valeurs repères d'aide à la gestion du Haut Conseil de la santé publique, sinon valeurs guides d'air intérieur de l'Anses ou valeurs guides de l'OMS ou valeurs toxicologiques de référence).

Pour les substances ne disposant pas de ces valeurs de référence, des valeurs à visée informative issues d'études représentatives de l'environnement étudié peuvent être utilisées. Ces tubes passifs ont été régulièrement utilisés dans la grande majorité des études de qualité d'air intérieur, notamment celles de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur et dans le cadre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air dans les établissements recevant un public sensible, et en premier lieu les crèches et les écoles. Ce sont eux que nous avons choisi pour l'élaboration des protocoles de mesure de la qualité de l'air à réception et en exploitation d'un bâtiment.



**Docteur Fabien
SQUINAZI**

Animateur du
GT « Indicateurs
Santé-Confort »

Membre d'hon-
neur de l'Alliance
HQE-GBC France

Vice-Président
de la commission
« Risques liés à
l'environnement »

Haut Conseil de
la santé publique





Ces dernières années, nous assistons au développement de capteurs intégrés dans des boîtiers de monitoring ou des stations connectées pour la mesure en continu de certains paramètres de la qualité de l'air intérieur (capteurs à bas coût). Ceci a permis d'envisager trois pistes importantes de progrès dans le bâtiment, comme l'amélioration de l'étude de la dynamique des concentrations, une meilleure connaissance de l'exposition à différents polluants et l'évaluation des activités émettrices et/ou l'impact des pratiques d'aération et/ou du fonctionnement du système de ventilation. Même si les mesures fournies par ces capteurs à bas coût sont dites « indicatives » de la qualité de l'air intérieur, le nombre considérable de données a pour vocation de détecter des événements particuliers ou les tendances des paramètres mesurés, qu'il faudra interpréter à la lumière des informations obtenues sur le fonctionnement des installations de ventilation, sur l'occupation des locaux et sur les sources ou activités émettrices de polluants.

Les résultats dynamiques que nous obtenions avec un analyseur en continu en un seul point sont démultipliés grâce au grand nombre de capteurs à bas coût qui sont disposés dans plusieurs pièces du bâtiment. L'objectif est de développer ainsi **un véritable pilotage de la qualité de l'air d'un bâtiment et/ou la sensibilisation de ses occupants.**

Toutefois, l'utilisation des capteurs à bas coût nécessite encore pour certains d'entre eux une évaluation précise de leur fiabilité et doit être complétée par des campagnes de mesure avec analyses normées en laboratoire.

À noter que la notion de capteurs «à bas coût» est liée à la facilité non trop coûteuse de les déployer dans un bâtiment alors que les analyseurs de mesure en continu, beaucoup plus chers, ne permettent pas de le faire, mais sont par contre plus fiables.

La note de cadrage sur la place des capteurs à bas coût pour la mesure en continu de la qualité de l'air intérieur a été élaborée par le groupe de travail « Indicateurs Santé – Confort » de l'Alliance HQE-GBC. Le groupe de travail s'est donné comme objectifs de définir les différents enjeux des capteurs à bas coût et de donner des informations sur les spécifications techniques de ces capteurs. Elle vient compléter les documents déjà publiés sur les règles d'application pour l'évaluation de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment neuf ou rénové à réception ou d'un bâtiment en exploitation. Elle entend apporter aux utilisateurs une meilleure prise en compte de ces mesures en continu pour des choix en connaissance mais aussi encourager les fabricants à plus de transparence sur les spécifications des capteurs mis sur le marché. Cette note de cadrage participe également à la vulgarisation essentielle pour ces sujets croissants en Santé et Bâtiment.



Ressources préliminaires :

Les paramètres à mesurer dans le cadre d'une évaluation ou d'une surveillance de la qualité de l'air intérieur sont définis et explicités dans des documents cadres élaborés par l'Alliance HQE-GBC.

Retrouvez les paramètres (polluants ou paramètres de confort) à mesurer dans le cadre d'une campagne d'analyse de la qualité de l'air intérieur ainsi que les méthodes de mesures associées et les valeurs cibles pour la comparaison des résultats dans :

- le protocole de mesure de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment neuf ou rénové à réception ;
- le protocole de mesure de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment en exploitation.

Découvrez des bonnes pratiques en faveur d'une bonne qualité de l'air intérieur, des éléments sur les sources potentielles en cas de dépassement des valeurs cibles ou encore des propositions d'actions correctives possibles dans le guide pratique « Étapes clés pour la mise en œuvre de mesures à réception ».

INTRODUCTION



Les règles d'application pour l'évaluation de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment à réception ou en exploitation, définies par l'Alliance HQE GBC, reposent sur des campagnes de mesure sur cinq jours. Certains paramètres sont mesurés à l'aide d'échantillonneurs passifs (dioxyde d'azote, benzène, formaldéhyde, composés organiques volatils), d'autres sont mesurés à l'aide de systèmes par pompage actif (température, hygrométrie, dioxyde de carbone, monoxyde de carbone, indice de contamination particulaire, flore bactérienne et flore fongique revivifiables).

Les résultats obtenus par des mesures passives ne peuvent offrir qu'une valeur cumulative, une valeur moyenne intégrée, qui ne permet pas de connaître, du fait du lissage, les variations de concentrations au cours de la période d'étude. Par exemple, lors de l'arrêt de la ventilation la nuit, il n'est pas possible d'observer l'accumulation des

polluants avant sa remise en marche au matin. En conséquence, les concentrations mesurées sont comparées à des valeurs cibles (valeurs guides d'air intérieur et/ou valeurs repères d'aide à la gestion) établies pour une exposition dite « long terme ».

Les mesures en continu ont pour intérêt un suivi dynamique, c'est-à-dire l'observation de l'évolution dans le temps de paramètres dans l'air. Toutefois, il demeure nécessaire, de réaliser des campagnes périodiques de mesures selon les protocoles proposés par l'Alliance HQE-GBC :

- pour obtenir une information précise relative aux concentrations des paramètres recommandés ;

- pour pouvoir interpréter les résultats et déduire les sources de pollution ;
- pour comparer aux valeurs cibles des paramètres recommandés.

Ainsi, si les deux types de mesures sont complémentaires, l'inter-comparaison entre les résultats d'une campagne et ceux de mesures en continu n'est toutefois pas toujours possible.

	Campagne de mesures (protocoles HQE)	Suivi par capteurs à bas coût
Durée	5 jours	En continu
Modalités des mesures	Échantillonnages par des organismes habilités et analyses en laboratoire	Mesures par des capteurs/sondes spécifiques avec traitement du signal
Résultats	Concentrations moyennes intégrées sur la période d'échantillonnage	Mesures dynamiques, évolutions dans le temps
Interprétation	Comparaison aux valeurs cibles Sources de pollution	Comparaison possible à des valeurs cibles pour les capteurs spécifiques d'un paramètre donné
Rendu	Rapport d'analyses circonstancié, interprétation, propositions de mesures correctives	Masse de données brutes, devant souvent être retraitées et exploitées
Quelques points de vigilance	Préparation de la campagne, échantillonnage, choix du prestataire, ...	Mise en œuvre, données fournies par les fabricants, modalités d'étalonnage et de calibration des capteurs, ...

Tableau I : Tableau comparatif des mesures QAI dans un bâtiment

1 de l'ordre d'une centaine d'euros

2 et 3 Les termes « mesures indicatives » et « estimation objective » sont ici entendus dans le sens de leur définition inscrites dans la Directive européenne n° 2008/50/CE du 21/05/08 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. A titre d'exemple, concernant les PMs l'incertitude est pour la mesure fixe de référence 25%, pour la mesure indicative de 50% et pour l'estimation objective de 100%

Le développement des capteurs à bas coût¹ pour la mesure en continu des paramètres de confort (température, hygrométrie, dioxyde de carbone) et de quelques familles de polluants (particules et composés organiques volatils, dont le formaldéhyde) permet de donner des informations sur la dynamique de ces paramètres et sur l'exposition des occupants, mais aussi sur une éventuelle activité émettrice et/ou pour l'analyse des pratiques d'aération et/ou du fonctionnement du système de ventilation.

Ils permettent par ailleurs de piloter les moyens de remédiation (ventilation, recirculation, traitement) en fonction des besoins notamment dans le cadre de la réduction de la consommation énergétique des bâtiments et du respect des réglementations thermiques et environnementales.

Il est également important de rappeler que les capteurs à bas coût étudiés dans cette note de cadrage fournissent des mesures dites « indicatives »², voire une « estimation objective »³, de la qualité de l'air in-

térieur (norme CEN TC 264 WG42 « Air Quality Sensors ») adaptée au monitoring et qu'ils ne peuvent remplacer un analyseur de référence. Ainsi, selon leurs niveaux de précision, là où les analyseurs sont utiles pour faire un état des lieux et connaître les concentrations des paramètres étudiés, les capteurs sont eux plutôt préconisés pour leur suivi dans le temps, permettant ainsi d'identifier les variations et les tendances.

L'objectif de cette note de cadrage est ainsi de déterminer la place des capteurs à bas coût pour la mesure en continu de la qualité de l'air intérieur au cours ou en dehors des campagnes de mesure définies par les règles d'application HQE Performance. Ces recommandations ont été élaborées par le Groupe de travail « Indicateurs santé-confort », ouvert à tous les experts du secteur et animé par le Docteur Fabien Squinazi, membre d'honneur de l'Alliance HQE-GBC. Ce protocole concerne les bâtiments à réception ou en exploitation et s'applique à une surveillance régulière des performances du bâtiment.



1

ENJEUX DES CAPTEURS À BAS COÛT

POUR LA MESURE EN CONTINU
DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR



Il convient de rappeler l'importance de ne pas confondre les capteurs, qui peuvent être spécifiques de différents types de polluants, et les boîtiers de monitoring qui comprennent ces capteurs. Ainsi le capteur contient un ou plusieurs éléments (ou sondes) sensibles à une ou des espèces chimiques et un système électronique qui délivre un signal analogique ou numérique qui, après des traitements du signal, est transformé en données. Le boîtier de monitoring, quant à lui, comprend toute la chaîne de mesure du capteur à la sortie de la donnée.

■ LES PERSONNES CIBLES

Les informations fournies par les capteurs à bas coût sont destinées, en premier lieu, aux gestionnaires ou exploitants du bâtiment, comme les résultats obtenus par les campagnes de mesure définies par les règles d'application HQE Performance.

Dans un second temps, ces informations peuvent faire l'objet de communication - restitution à l'instance de représentation du personnel (Comité social et économique CSE) et/ou aux occupants du bâtiment. Dans les règles d'application HQE-GBC pour l'évaluation de la qualité de l'air intérieur, il n'est pas prévu que les résultats de mesure soient directement communiqués aux occupants sans mise en forme, voire interprétation, bien qu'un accès direct à l'information pourrait permettre de sensibiliser les occupants à la qualité de l'air intérieur et influencer sur la mise en œuvre de meilleures pratiques.

■ LES AVANTAGES

Les capteurs à bas coût de mesure en continu offrent une information sur la qualité de l'air intérieur du bâtiment, dans une finalité d'alerte et de récupération des données pour mieux comprendre et ajuster la gestion du bâtiment.

Les données peuvent être directement visualisées sur le boîtier de monitoring ou fournies par l'intermédiaire d'une plateforme technique d'enregistrement des résultats.

Le boîtier de monitoring peut aussi être intégré à l'écosystème d'un bâtiment intelligent et contrôler les moyens de remédiation afin d'optimiser la consommation énergétique

■ LES USAGES

Les capteurs à bas coût de mesure en continu sont utilisés de deux manières :

- le suivi de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment à réception, en complément des campagnes de mesure afin d'affiner les résultats obtenus,
- le suivi/pilotage de la qualité de l'air intérieur pour la gestion d'un bâtiment en exploitation, en complément des campagnes de mesure.
- l'information des usagers en vue d'améliorer leurs comportements

L'étude de la qualité de l'air après signalement fait l'objet de la norme NF X 43-406 décembre 2019 « Qualité de l'air. Stratégie d'enquête environnementale suite à signalement - Bâtiment à usage d'habitation, d'enseignement et de bureaux ».

Il est à noter également que la commission AFNOR X43D travaille actuellement à l'élaboration d'un fascicule documentaire (FD) qui propose, pour la qualité de l'air des atmosphères ambiantes (air extérieur et intérieur en mesure fixe et mobile), de présenter les concepts relatifs à l'utilisation de dispositifs de type "capteurs" en lien avec les usages.





■ L'INSTALLATION DES CAPTEURS

Compte tenu des modalités d'usage et d'utilisation de la mesure en continu, il est nécessaire que les capteurs par leurs éléments sensibles ou sondes ou sondes réagissent rapidement à la survenue d'un évènement. L'enjeu est aussi de trouver un équilibre entre la représentativité des locaux investigués, le nombre de capteurs nécessaires et la capacité d'interprétation des données.

Il est recommandé d'installer les capteurs en fonction de l'architecture aéraulique du bâtiment, en définissant des blocs homogènes.

Rappel : On entend par bloc homogène un bâtiment ou partie de bâtiment présentant des propriétés de construction similaires (revêtements, vitrages, circuit de ventilation ou de climatisation, perméabilité à l'air, exposition à la pollution extérieure, etc.).

On évitera de les installer dans des endroits trop exposés au soleil et aux courants d'air, dans les zones de soufflage d'air neuf, ou trop en hauteur, dans des recoins, derrière des rideaux, à proximité des portes et ouvrants ou encore trop proches des parois froides pour permettre la circulation de l'air et/ou limiter la proximité de sources de dégazage et de respiration.

De même les modes d'alimentation des boîtiers de monitoring peuvent varier et sont laissés au choix de l'exploitant. En fonction du type de bâtiment, neuf ou en exploitation, les possibilités existent de raccordement à l'alimentation électrique, ou d'autonomie via des batteries (panneaux solaires pour les points de mesures extérieures pour une inter-comparaison intérieur/extérieur).

LES PAS DE TEMPS DES MESURES

Le pas de temps de mesure des données dépend de l'usage défini pour le capteur : en pratique, 5 à 20 minutes sont suffisantes (en général 10 minutes, la donnée pouvant être obtenue soit d'après des mesures réalisées toutes les 10 secondes, ou autre pas de temps de mesure selon le paramétrage, puis moyennées sur 10 minutes, soit une donnée toutes les 10 minutes), avec cumul des données sur une semaine.

Nota Bene 1 : Le pas de temps de 10 minutes est classiquement choisi pour la mesure de la qualité de l'air intérieur en exploitation. En effet, ce pas de temps est exigé pour le calcul de l'indice de confinement ICONE (CSTB, mai 2012). Cet indice a d'abord été développé pour les écoles et a été validé pour les habitations et les bâtiments tertiaires. Il est certainement un des meilleurs moyens d'évaluer un renouvellement d'air suffisant. Ce critère du renouvellement de l'air étant l'un des plus impactant sur la QAI, il paraît important que les mesures soient réalisées de telle manière que son calcul soit possible.

Nota Bene 2 : Dans le cas d'un suivi de la qualité de l'air intérieur du bâtiment, la boucle de contrôle nécessite une cadence de mesure entre 1 et 3 minutes sachant qu'un registre ou une BDV (Boîte à Débit Variable) met de 30 à 60 secondes pour une course complète.

Il est important de signaler que le choix du pas de temps de mesure aura une incidence sur la précision de la mesure, sur l'exploitation et l'interprétation des données obtenues et, dans le cadre de sondes alimentées par batterie, sur l'autonomie de fonctionnement. Attention : une sonde sur batterie n'est pas énergétiquement capable de faire une mesure toutes les 10 secondes et fournir la moyenne sur 10 minutes comme le ferait une sonde alimentée. Elle est silencieuse pendant 10 minutes, fonctionne pour faire une seule mesure et l'envoyer. La précision obtenue n'est donc pas comparable.

■ LES DONNÉES

Les données fournies par les capteurs à bas coût doivent être facilement accessibles et exploitables, de manière directe et continue. Elles peuvent être présentées sous forme de chiffres sans interprétation ou interprétées et restituées sous forme qualitative (par exemple, code couleur, indice de pollution).

Le rendu des données est à l'appréciation du responsable des locaux qui choisit le ou les destinataires, en premier lieu le gestionnaire ou l'exploitant (personne physique ou informatique) et le mode de diffusion : par exemple, une interface applicative, comprenant les données, les indicateurs, les alertes avec seuils.

■ L'INTERPRÉTATION DES DONNÉES

Dans le cadre des protocoles HQE-GBC de mesure pour l'évaluation de la qualité de l'air intérieur, une information portant sur un événement lié à un paramètre donné peut parfois s'avérer plus intéressante à fournir qu'une interprétation globale. En effet, les causes et les actions à mener seront différentes en fonction du paramètre concerné, par exemple s'il s'agit d'interpréter un dépassement des valeurs pour les particules fines, les composés organiques volatils ou le CO₂ et la durée d'exposition.

Il est également important de prendre en compte la vulgarisation des données de qualité de l'air intérieur. En effet, il est nécessaire de transmettre aux utilisateurs (gestionnaires, exploitants ou occupants) des informations utiles et compréhensibles à chaque instant. Une donnée qualité de l'air « brute » ou « traitée » sans interprétation peut apporter à la fois un sentiment anxigène et frustrant avec le manque d'explications ou de conseils de remédiation. De plus, les unités d'échelles et de mesures chimiques (ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$...) ne sont pas encore accessibles pour les personnes non initiées.

Il est donc primordial que le suivi de la qualité de l'air intérieur par des capteurs soit associé à un service d'interprétation en continu, de la part du laboratoire, du fabricant ou d'une plateforme de supervision spécialisée. Pour permettre une réelle utilité, ce service d'interprétation doit comprendre une corrélation entre les données dynamiques des capteurs, celles issues du bâtiment voire des open data des ASSQA ou de capteurs extérieurs.

Les informations obtenues par les capteurs doivent permettre la détection d'un « événement » et/ou de suivre l'évolution des résultats de mesure des paramètres dans le temps (notion de tendance), en lien avec une activité émettrice polluante et/ou avec le renouvellement d'air des locaux (aération par ouverture des fenêtres et portes et/ou ventilation).

Important : On définit un « événement » par une variation significative de la valeur d'un paramètre, soit de manière prolongée (1 h ou 2 h), soit de manière répétitive chronique, mais transitoire (excluant de fait les pics brefs et isolés).

Aujourd'hui encore trop peu développée par les fabricants de capteurs, l'intelligence apportée en agrégeant ces données permet de contextualiser les événements de pollution en fonction du type de bâtiment, des équipements, des horaires et des récurrences rencontrées. Cette contextualisation des activités et sources émettrices de pollution est de ce fait beaucoup plus simple pour les gestionnaires et occupants. Avec, in fine, l'apport d'actions correctives en quasi-temps réel en fonction des événements rencontrés.



■ LA PROPRIÉTÉ DES DONNÉES

Dans le cas d'une campagne de mesure par un laboratoire missionné, le client reste le propriétaire des données, même si le laboratoire conserve ces données dans son serveur.

Par similitude, la même règle doit s'appliquer dans le cas des boîtiers de monitoring et stations connectées et ces données restent la propriété du client : l'information pouvant être reçue par exemple une fois par jour et selon les cas :

- transmise vers la GTB ou le BMS
- sur des serveurs du fabricant,
- sur un serveur en interne,
- etc.

puis restituée en brut ou après interprétation, au travers d'un accès accordé au client.

Il est important de rappeler que des protocoles de sécurité des données doivent être définis en amont de l'installation, bien qu'il ne soit pas simple d'exiger sur ce point un niveau de sécurité optimal.

Les conditions du prestataire doivent donc préciser la notion de propriété des données au client et qu'aucune utilisation ultérieure ne pourra en être faite sans accord du propriétaire des données. De même, il est conseillé de définir avec le prestataire une

durée de conservation des données : par exemple, en général, dans les laboratoires les données sont conservées pendant trois mois (voire 6 ou 12 mois en fonction des cas) avant leur suppression, en revanche pour le cas particulier de l'amiante la durée peut être relevée jusqu'à 40 ans.

Dans le cas de suivi en continu de la qualité de l'air en milieu résidentiel, il est important de préserver la vie privée des occupants. Ainsi, les données issues d'un logement en particulier ne seront accessibles que pour l'occupant de ce logement.

Le gestionnaire ou l'exploitant de bâtiment ne doit pas avoir accès aux données de l'occupant. En effet, avec des données de qualité de l'air, il est, par exemple, tout à fait possible de savoir si un occupant est présent ou non dans son logement. Il est à noter qu'à ce jour, une donnée « qualité de l'air » n'est pas considérée comme une donnée personnelle car elle ne permet pas de l'associer à un individu directement. Toutefois, il s'agit d'une donnée sensible qui doit être protégée.

■ SÉCURITÉ

Les conditions du prestataire doivent préciser le niveau de sécurité des sondes afin d'éviter tout piratage des données.



2

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

DES CAPTEURS À BAS COÛT





Cette partie propose d'expliciter les spécifications techniques attendues pour les capteurs à bas coût, sous forme de fiches pour les polluants suivants : dioxyde de carbone, particules fines (2,5 μm), composés organiques volatils (indice COV), composés organiques volatils dits légers (COV L), et le formaldéhyde.

Quelque soit le polluant considéré, le fournisseur peut préciser :

■ par capteur (équipé d'au moins un élément sensible ou sonde), les éléments suivants :

- le principe de mesure
- le temps de réponse (temps de mise en route, temps de montée, temps de recouvrement)
- la méthode de calibrage
- la sensibilité, la limite de détection, la limite de quantification, et l'incertitude de la mesure
- la méthode et la cadence d'auto calibrage si elle existe
- la fidélité de la mesure (répétabilité, reproductibilité)
- la dérive dans le temps
- les facteurs d'influence et les interférents potentiels
- les poisons éventuels et environnements destructeurs (vapeurs acides, HMDS...)
- le taux de saisies (nombre de valeurs récupérées par rapport au nombre de valeurs théoriques attendues)
- la périodicité des maintenances et la durée de vie
- ...

■ et s'agissant du boîtier de monitoring :

- la tension d'alimentation ou le type de pile ou de batteries
- la consommation (l'autonomie si à pile ou sur batteries)
- le temps de recharge si sur batteries
- la durée de vie de la batterie (nombre de cycles)
- les conditions de fonctionnement et de stockage
- les conditions de transport et de manutention
- le type de connectivité (Bluetooth, Wi-Fi, infrarouge, ...) et le niveau de sécurité
- le Profil Environnemental Produit (PEP)
- le type d'interface home machine
- le protocole de communication



■ DIOXYDE DE CARBONE

Les paramètres de confort que sont les variations du dioxyde de carbone, de la température et de l'hygrométrie apportent des informations intéressantes pour la connaissance de la situation ambiante du local investigué.

Le CO₂ est un bon indicateur de confinement de l'air intérieur en situation d'occupation puisqu'il est émis par la respiration des personnes présentes. Ainsi plus la concentration de CO₂ est élevée, plus l'air est confiné. Sa mesure est donc particulièrement importante dans une logique de vérification du bon renouvellement de l'air ou de pilotage des systèmes de ventilation s'il existe.

La mesure en continu du dioxyde de carbone pour l'évaluation du confinement de l'air (Indice ICONE) est réalisée avec un appareil fonctionnant sur le principe de la spectrométrie d'absorption infrarouge non dispersif (NDIR), tel que précisé dans le décret n°2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectués au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.

L'appareil de mesure doit répondre aux caractéristiques suivantes (Tableau II) :

Paramètres	Valeurs
Domaine de mesure minimum	0 à 5000 ppm
Incertitude	± (50 ppm + 3% de la valeur lue)
Résolution	1 ppm
Temps de réponse T63	200 secondes
Fréquence de mesurage	1 point toutes les 10 minutes
Capacité d'enregistrement des données	Un minimum de 8 jours (pas de temps de 10 minutes)

Tableau II : Critères de performance des capteurs de CO₂ pour mesure de l'indice ICONE

Les valeurs de dioxyde de carbone mesurées durant les périodes d'occupation normale sont ensuite séparées en trois classes en fonction du :

- nombre de valeurs inférieures ou égales à 1 000 ppm
- nombre de valeurs comprises entre 1 000 ppm et 1 300 ppm
- nombre de valeurs supérieures à 1 300 ppm

La courbe de concentration de dioxyde de carbone permet de suivre les variations en occupation normale des locaux et notamment les valeurs supérieures à 1 300 ppm. Elle indique également les décroissances des concentrations, qui témoignent de l'efficacité du renouvellement de l'air.

Un traitement des données permet d'indiquer les durées de dépassement des valeurs seuils.

A BIEN NOTER

- ❶ Le seuil haut dans l'indice ICONE de 1700 ppm, est destiné aux établissements recevant du public, mais nous nous référons ici (1300 ppm) aux normes encadrant les conditions de travail, à l'exemple du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) pour les locaux tertiaires.
- ❷ Dans le contexte de la pandémie de Covid-19, le Haut Conseil de la santé publique a recommandé le choix d'une valeur cible de 800 ppm (voire 600 ppm dans d'autres publications scientifiques en absence de port de masque) afin d'améliorer l'élimination des aérosols viraux par un renouvellement d'air plus élevé des locaux.



■ LES PARTICULES

Les particules fines ou PM2.5 (particules de diamètre médian inférieur à 2.5 μm) présentent un impact sanitaire majeur.

Présentes en intérieur comme en extérieur, elles sont souvent considérées comme un bon indice du transfert de la pollution de l'air extérieur dans les bâtiments. Sa mesure peut présenter un intérêt notamment pour connaître l'état d'encrassement des filtres dans le cas d'un bâtiment ou l'air est filtré.

Le comptage optique des particules est plus intéressant pour détecter les événements de pollution particulaire.

Le tableau III donne les critères de performance des capteurs de particules.

Paramètres	Valeurs
Gamme de mesure	0 - 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 0 - 10 000 pcs/mL
Limite de détection	<2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 0,3 μm
Cadence de mesure	10 Min
Incertitude de mesure (selon pression, température, hygrométrie)	<50 %
Dérive (selon environnement)	<1 % FS/an
Etalonnage	Arizona Dust A1 (PM10)
Maintenance	Pas de maintenance - 10 (contrôles) / an - 1 (audit) / an
Robustesse / Dispersion	< 5% lot N.Lot - Traçabilité du lot de calibrage
Durée de vie	10 (contrôles) / an - 5 (audit) / an
Ergonomie / bruit ventilateur	< 40 dB à 1 mètre

Tableau III : Critères de performance des capteurs optiques de particules

La granulométrie des particules donne des indications pour discriminer les origines de la pollution particulaire :

- les particules de 10 μm sont plutôt liées à la présence humaine
- tandis que les particules plus fines sont d'origine extérieure (hors tabac).

On privilégiera la granulométrie de 2,5 μm . La majorité des capteurs du marché propose ces granulométries. Certains accèdent à la granulométrie de 1 μm .

A BIEN NOTER

Les capteurs optiques de particules délivrent un signal électrique traduit en nombre de particules par unité de volume. Un abaque intégré permet la traduction en concentration massique, mais cet abaque est formulé uniquement sur la base de particules sphériques et ne correspond pas à la majorité des particules de l'aérosol naturel ou anthropogénique. Il faut donc être extrêmement vigilant quant à la comparaison des données avec les appareils de mesure normalisés.

En outre, ces capteurs optiques perçoivent à la fois les aérosols liquides et solides, ainsi la présence d'une forte humidité relative dans l'air et notamment du brouillard peut conduire pour certains capteurs à un signal élevé. Un suivi de ce paramètre en parallèle permet de mieux interpréter le signal. L'utilisation d'une ligne chauffée permet de réduire l'influence de l'humidité.



■ LES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

Les COV constituent une famille de composés chimiques très hétérogènes. Les COV totaux indiquent une charge chimique globale. Le capteur COV doit être en capacité de suivre les variations des composés organiques volatils impactant la qualité de l'air intérieur avec un temps de réponse court.

Les capteurs à bas coût de mesure en continu des COV sont en revanche très utiles pour la recherche d'émissions ponctuelles ou d'analyse d'efficacité de la ventilation car ils permettent d'observer en temps réel l'impact des modifications apportées.

Le fournisseur doit démontrer la fiabilité des mesures avec, a minima, un certificat de métrologie sur un échantillonnage représentatif de la production. Il pourrait être proposé un protocole de test intégrant un calibrage initial avec un gaz de référence suivi d'un étalonnage. Le fournisseur doit transmettre la méthode d'étalonnage avec les critères de validation, tels que spécificité, linéarité, exactitude, fidélité, intervalle d'application, limite de détection, limite de quantification (avec une information sur le niveau de maintenance requis). Dans ce document, il est important d'inclure un test de robustesse des capteurs entre eux ou une intercomparaison des mesures entre capteurs.

Le tableau IV donne les critères de performance des capteurs à bas coût de mesure en continu des COV.

Paramètres	Valeurs
Gamme de mesure	0-2000 ppb (selon la norme ISO 16000-29 : 2014)
Limite de détection	< 20-50 ppb
Temps de réponse T63 (réactivité)	< 1 min
Incertitude de mesure/ appareil (selon température, hygrométrie)	<50 %
Dérive	< 10 % FS/an
Sélectivité	COVt : Pour sensibilité aux différentes familles de COV analogue au capteur de référence de la norme ISO 16000-29
Étalonnage	Mélange de la norme ISO 16000-29 selon technologie
Maintenance	Régulation de la ventilation du capteur : 10 / an Audit : 1 fois par an
Robustesse	< 5% lot - Traçabilité du lot d'étalonnage
Durée de vie	Régulation ventilation > 10 ans - Audit > 5 ans

Tableau IV : Critères de performance des capteurs de mesure en continu des COV

Compte-tenu des incertitudes de mesure des différents COV (Cf. paragraphe « Pour bien comprendre » page 19) et les dérives existantes sur les mesures dynamiques des COV, il convient d'insister sur plusieurs points :

- les résultats obtenus dépendent du type de technologie et du traitement du signal ;
- la fréquence de changement des cellules est fonction de la technologie et doit être préconisée par le fabricant ;
- les fabricants doivent préciser les dérives et la robustesse du traitement de leurs données.

A BIEN NOTER

La mesure des COV par les capteurs à bas coût peut varier en fonction de la technologie du capteur utilisé (MOX, électrochimique, PID...) (cf annexe 1). Certains composés étant mesurés et d'autres non pour un même capteur, le résultat doit être exprimé plutôt sous la forme d'un indice COV conformément à la norme ISO 16000-29 (avant cette norme la référence était le toluène et l'iso butylène).

En effet, en fonction des technologies mis en œuvre, il existe une grande variation dans la réponse des différentes familles de COVs mesurés. Cela doit donc conduire l'utilisateur à une grande prudence pour l'interprétation des résultats obtenus. En conséquence, l'utilisation de ces capteurs ne peut pas donner lieu à une information sanitaire ; en effet il existe des COV ayant des effets sur la santé, d'autres non.

Il est nécessaire que le fabricant fournisse la sensibilité respective du capteur de COV à différents composés organiques volatils.



■ LES COV LÉGERS

Les composés organiques volatils légers correspondent à des composés dont la chaîne carbonée comprend moins de 3 atomes de carbone (il s'agit du formaldéhyde, l'acétaldéhyde, l'acroléine et de l'éthanol)

Certains capteurs dits « COV légers » sont sensibles à certaines substances fréquemment identifiées dans l'air intérieur (aldéhydes, alcools...), donnant ainsi une indication de l'évolution des concentrations de ces COV légers.

Comme les capteurs de mesure en continu des COV, ces capteurs « COV légers » permettent de suivre le niveau de fond de la pollution du bâti et l'impact de certaines activités humaines mais sur une famille resserrée de composés.

En comparaison des capteurs COV, les capteurs « COV légers » utilisent des technologies de mesure et d'intégration qui mènent, en pratique, à une meilleure homogénéité des résultats obtenus entre les diverses sondes ou stations connectées.

Le tableau V donne quelques critères et informations à vérifier pour choisir des capteurs dits « COV légers » qui utilisent la technologie de l'électrochimie.

Paramètres	Valeurs
Acquisition	Moyenne sur période (typiquement 10 minutes)
Substances mesurées	Concentration conjointe en formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, (exprimée en équivalent formaldéhyde)
Interférents	Méthanol, Ethanol
Plage de mesure	de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à plus de 1 mg/m^3 équivalent formaldéhyde minimum (une gamme plus large convient également)
Résolution	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude de la mesure	<50%
Maintenance	Audit 1/ an
Durée de vie	3 ans

Tableau V : Critères de performance et informations sur les capteurs dits « COV légers »

Afin de conserver une mesure stable dans le temps, il est conseillé de respecter les préconisations des fabricants de sondes ou stations connectées au sujet des vérifications/ajustages et des changements de capteurs nécessaires. Ceci à cause du vieillissement de ces derniers (généralement tous les 1 à 3 ans selon l'ambiance à laquelle ils sont soumis).

A BIEN NOTER

Attention, ces capteurs n'étant pas spécifiques d'un composé donné, il est important de ne pas associer leur usage, s'ils y sont sensibles, à la mesure du formaldéhyde, mais plutôt à celle d'un indice « **COV légers** ». Il sera important de vérifier que les niveaux de sensibilité sont pertinents (30 ppb minimum).



■ LE FORMALDÉHYDE

Le formaldéhyde est un des principaux polluants mesuré dans l'air intérieur. Il a fait l'objet de nombreuses études (ANSES, OQAI) et est classé n°1 de la liste des polluants d'intérêt pour l'air intérieur* et a également été choisi comme marqueur des sources intérieures dans la réglementation imposant une surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains Établissements Recevant du Public (décret 2011-1728, 2012-14, 2015-1000 et autres).

Cette substance est classée cancérigène catégorie 1B et sa grande volatilité favorise son homogénéité dans les locaux. Elle entre dans la composition de la majeure partie des produits manufacturés utilisés pour la construction de bâtiments ou dans les produits de décoration également présente dans les colles et solvants. C'est aussi un polluant secondaire qui peut être associé à certains usages, comme par exemple, les appareils de bureautique notamment photocopieurs ou certains produits ménagers utilisés pour le nettoyage des surfaces. Les contaminants chimiques des appareils de bureautique émis en quantité importante, entre autres par les imprimantes laser favorisant l'évaporation de COV, mélangés à ceux produits par certains produits ménagers sont potentiellement dangereux pour la santé.

Le monitoring en continu du formaldéhyde est relativement récent. À ce jour, les sondes ne sont pas adaptées à la démocratisation de la mesure compte tenu de leur coût. Nous pouvons supposer qu'elles le seront prochainement.

* Hiérarchisation sanitaire des paramètres d'intérêt pour l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur ; OQAI-CSTB, 2005

Le tableau VI donne quelques critères à vérifier pour choisir un capteur de mesure en continu du formaldéhyde.

Paramètres	Valeurs
Acquisition (à date de ce document)	Intégration sur période inférieure ou égale à 2h
Substances mesurées	Formaldéhyde (spécifiquement)
Interférents	Vérifier l'absence
Plage de mesure	De 5 µg/m ³ à 200 µg/m ³ minimum (une gamme plus large convient également)
Résolution	1 µg/m ³
Limite de quantification	< 5 µg/m ³
Incertitude de la mesure	< 30%
Maintenance (à date de ce document)	Changement de consommable : 1 mois - Audit : 1 an
Durée de vie (à date de ce document)	Consommable : 1 mois - Chaîne optique : > 5 an

Tableau VI : Exemple de critères de performance pour les capteurs de mesure en continu du formaldéhyde

L'avantage de suivre ce composé de façon spécifique plutôt qu'une famille de polluants réside dans le fait que les valeurs obtenues peuvent être directement comparées aux valeurs cibles de ce polluant (décret 2011-1727 ; rapport ANSES fév 2018, Haut Conseil de la santé publique, mai 2019).

L'interprétation des données est donc bien plus aisée et claire pour le formaldéhyde que pour des familles de polluants (COV légers ; COVT) pour lesquelles chaque composé à son propre niveau de dangerosité et la composition du mélange respirable inconnue.

A BIEN NOTER

Il est à noter qu'il existe d'autres moyens rapides et sûrs de détection utilisant la technique colorimétrique mais nécessitant une intervention humaine pour le changement des supports, nous ne pouvons donc les associer à du monitoring en continu.

De nombreuses recherches étant en cours sur ce polluant, il est possible que de nouveaux capteurs soient disponibles dans les années à venir. Il est néanmoins important de s'assurer, avant toute intégration de ces capteurs, que ceux-ci soient spécifiques au formaldéhyde (c'est-à-dire la sélectivité et l'absence d'interférents) et que leurs limites de quantification soient suffisamment basses (inférieures à 5 µg/m³).

POUR BIEN COMPRENDRE LES COV

La famille des composés organiques volatils (COV) regroupe toutes les molécules formées d'atomes d'hydrogène et de carbone (hydrocarbures), et celles dont les atomes d'hydrogène sont remplacés par d'autres atomes comme l'azote, le chlore, le soufre, ou l'oxygène. Ce sont des gaz et des vapeurs qui peuvent s'évaporer plus ou moins rapidement à température ambiante.

S'ils présentent la caractéristique de contenir l'élément Carbone, ils constituent une famille de produits très large avec des propriétés chimiques très hétérogènes.

Les composés organiques volatils regroupent une multitude de substances, qui peuvent être d'origine biogénique (naturelle) ou anthropique (humaine). Les plus connus sont **le butane**, **l'éthanol** (alcool à 90°), **l'acétone**, les plus fréquents dans l'air sont **l'acétaldéhyde**, **le benzène**, **le formaldéhyde**, **le toluène** ou **le limonène**.

Par définition, lorsque l'on parle de mesures de COVs totaux (COVT), on entend des COV compris entre C6 (n hexane) et C16 (n hexadecane) inclus ou C6_C12 sur un chromatogramme, selon la norme ISO 16000-29 : 2014 (Méthodes d'essai pour détecteurs de composés organiques volatils).

La directive européenne du 11 mars 1999, relative à la réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations, définit réglementairement les composés organiques et les composés organiques volatils :

- un composé organique concerne tout composé contenant au moins l'élément de carbone et un ou plusieurs des éléments suivants : hydrogène, halogène, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques ;
- un COV concerne tout composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 KPa ou plus à une température de 293,15 K, ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières.

Si tous les COV ne sont pas dangereux pour la santé, certains composés sont particulièrement nocifs, comme le benzène, le formaldéhyde, le trichloréthylène ou le tétrachloroéthylène, et nécessitent des mesures spécifiques s'ils doivent être mesurés.





ANNEXE

DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES DE MESURE DES COV PAR LES CAPTEURS À BAS COÛT

Pour mesurer les COV en air intérieur à l'aide de capteurs à bas coût, on rencontre trois principales technologies :

- les capteurs de gaz à base d'oxyde métallique semi-conducteurs Mox
- les capteurs à photoionisation PID (avec un coût élevé)
- les capteurs électrochimiques

Cette annexe vise à donner les éléments de compréhension des technologies utilisées dans les capteurs à bas coût et les clés de lecture pour pouvoir choisir en connaissance un capteur de mesure en continu des COV.

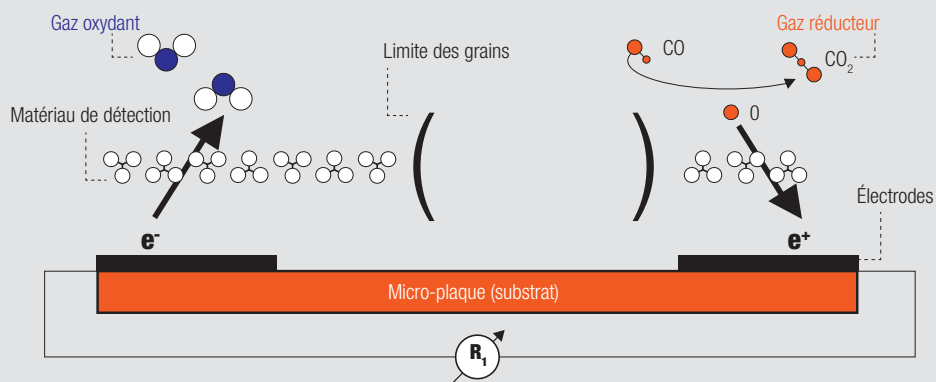
1. LES CAPTEURS DE GAZ À BASE D'OXYDE MÉTALLIQUE SEMI-CONDUCTEURS: MOX

Les gaz (polluants) présents dans l'atmosphère sont adsorbés à la surface du matériau sensible présent à la surface du capteur.

Cette adsorption engendre une variation de la densité des porteurs libres dans le matériau, ce qui entraîne une variation de la conductivité.

Les capteurs de gaz basés sur le principe d'une variation de la résistance selon l'adsorption de molécules gazeuses fonctionnent généralement à température élevée (entre 200 et 450°C, selon le gaz cible) afin de garantir une bonne réversibilité des phénomènes d'adsorption (désorption de l'espèce détectée lorsque la concentration de celle-ci diminue dans la phase gazeuse). Une structure typique de capteur de gaz à base d'oxyde métallique comporte un substrat (céramique ou silicium) sur lequel est déposé l'élément chauffant (platine oxyde de silicium..) superposé d'un isolant électrique et l'élément sensible (généralement du SnO₂ ou WO₃) dopé selon le gaz cible (ainsi que les électrodes). Ces capteurs nécessitent donc de l'énergie pour alimenter le substrat chauffant.

La valeur de l'humidité de l'air influence les capteurs semi-conducteurs en changeant le niveau de base de la résistance et la sensibilité. L'électronique de traitement du signal doit donc impérativement compenser ces variations soit contrôler l'élément chauffé en température. La vitesse de l'air influe également la température de l'élément sensible s'il est piloté en puissance, Il faut donc prendre en compte ce paramètre lors de l'intégration et l'utilisation de ces capteurs.



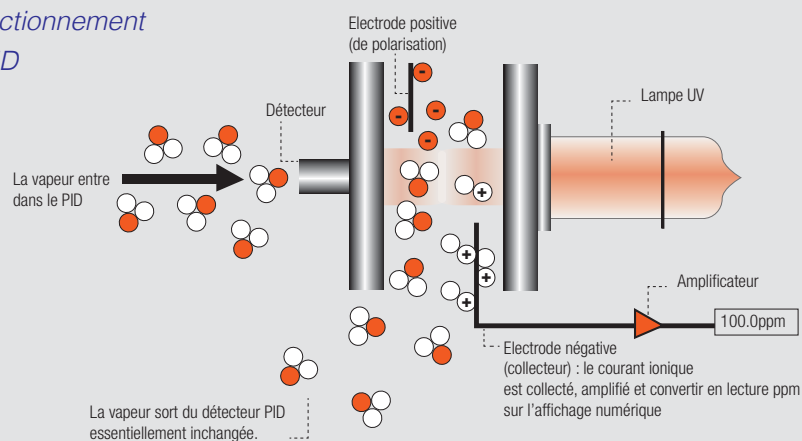
Principe de fonctionnement d'un capteur à base d'oxyde métallique

2. LES CAPTEURS À PHOTO IONISATION: PID

Le PID est un détecteur d'ions utilisant des photons énergétiques pour ioniser les molécules de gaz. Le gaz est bombardé par des photons, ce qui permet d'arracher des électrons aux molécules du gaz, les trans-

formant ainsi en cations. Le gaz est alors ionisé, ce qui permet l'établissement d'un courant électrique et la mesure. La mesure dépend de la lampe utilisée et de l'énergie d'ionisation spécifique des molécules.

Principe de fonctionnement d'un capteur PID



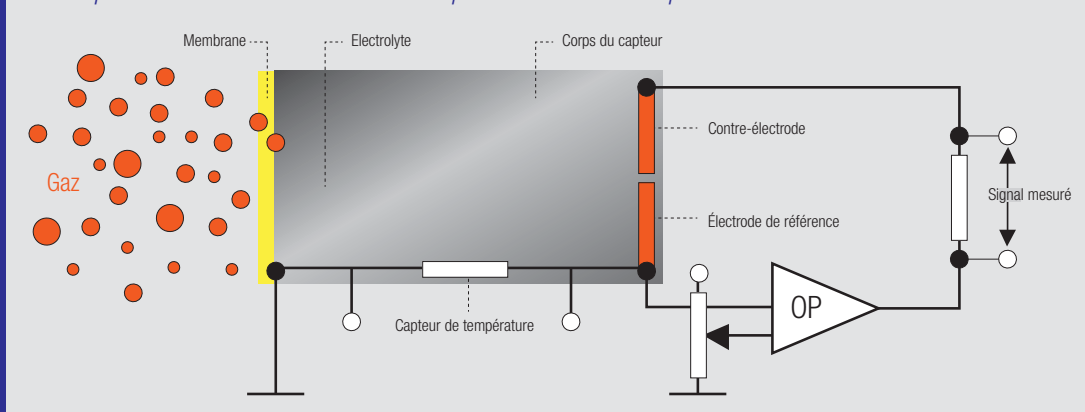
Ces capteurs sont sensibles et ne nécessitent pas d'être chauffés comme les capteurs MOS. Des dépôts peuvent se produire sur les parois du pellet (cellule de mesure) en présence de certains polluants induisant une baisse de sensibilité. Ces capteurs nécessitent un étalonnage régulier pour palier la dérive liée au vieillissement de la lampe et à la perte de sensibilité ainsi qu'un nettoyage de la cellule à minima annuel.

3. LES CAPTEURS ÉLECTROCHIMIQUES

Leur principe de fonctionnement est basé sur une cellule électrochimique. Lorsqu'une espèce gazeuse s'adsorbe à la surface de la cellule cela entraîne une variation de la

conductance. Ces dispositifs sont déjà utilisés pour le contrôle de la qualité de l'air intérieur, notamment le contrôle du monoxyde de carbone dans les habitations.

Principe de fonctionnement d'un capteur électrochimique



Ces capteurs qui fonctionnent comme une pile sont les plus simples à mettre en œuvre (réponse linéaire). Ils nécessitent peu d'énergie et sont relativement robustes entre eux.

Ils sont peu sélectifs et leur principal inconvénient est l'évaporation de l'électrolyte si le système est placé dans des espaces où la température peut être élevée. Leur maintenance est cependant moindre de celle des PID et la dérive est faible.

REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé par un sous-groupe de rédaction dans le cadre du GT QAI animé par le Docteur Fabien SQUINAZI, membre d'honneur de l'Alliance HQE-GBC, ancien Directeur du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris. Il a fait l'objet d'un appel à commentaires auprès de tous les membres de l'Alliance HQE-GBC.

L'Alliance HQE-GBC remercie tous les contributeurs à la rédaction de ce document

Coordination :

- Fabien SQUINAZI
- Nathalie SÉMENT, Alliance HQE-GBC

Groupe de rédaction :

- Charles CORNILLE, Cozy Air
- Valérie DELBART
- Frédéric HAMMEL, Ethera
- Romain FRANCOIS, Ethera
- Pascal KALUZNY, Groupe TERA
- Ludovic MARCHINI, Vinci Construction France
- Olivier MARTIMORT, NanoSense
- Lamia MIALET, Cozy Air
- Yann POISSON, NanoSense
- Jean-Charles PONELLE, OFIS - VEOLIA
- Vincent RICARD, TERA Environnement
- Rémy SAUDINO

Création :

- Studio Cirsé

AUTRES PUBLICATIONS DE L'ALLIANCE HQE-GBC DANS LA COLLECTION QAI

■ Protocole

« HQE PERFORMANCE : REGLES D'APPLICATION POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR D'UN BATIMENT NEUF OU RENOVE A RECEPTION »
Version de juin 2015, Mise à jour 2021.

■ Guide pratique

« MESURER LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR DES BÂTIMENTS NEUFS ET RENOVES :
5 étapes clés pour intégrer, réaliser et valoriser des mesures à réception »
Version de juin 2017.

■ Protocole

« HQE PERFORMANCE : REGLES D'APPLICATION POUR L'EVALUATION DE LA QUALITE
L'AIR INTERIEUR D'UN BATIMENT NEUF A RECEPTION EN EXPLOITATION »
Version de Mars 2018, Mise à jour 2021.

■ Recueil

« 15 TEMOIGNAGES SUR LA QAI. Dossier thématique réalisé avec CONSTRUCTION 21 »
Mai 2018



Dr Fabien SQUINAZI,
Membre d'honneur de l'Alliance HQE-GBC

“L'assurance d'une bonne qualité de l'air intérieur est un enjeu de santé publique. Les professionnels ont les outils pour faire. A nous usagers et maîtres d'ouvrages d'en faire une exigence.”

Une publication inscrite dans la campagne
Better places for people du World GBC

