

Qualité de l'air

PROVENCE - ALPES - CÔTE D'AZUR



Les micro-capteurs

www.airpaca.org

AirPACA
QUALITÉ DE L'AIR

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction / Contexte..... | 3 |
| Qu'est-ce qu'un micro-capteur ? | 4 |
| Principe général | 4 |
| Applications clés | 5 |
| Caractéristiques / Performance clés des capteurs de gaz..... | 6 |
| Pour être appelé micro-capteurs low-cost..... | 6 |
| Particularités..... | 7 |
| Capteurs de gaz ^[2-9] | 7 |
| Capteurs électrochimiques..... | 7 |
| Capteurs semi-conducteurs..... | 9 |
| Capteurs IR..... | 10 |
| Capteurs PID | 11 |
| Capteurs de particules..... | 12 |
| Conclusion | 14 |
| Annexes | 15 |
| Groupe de travail européen ^[9-10] | 15 |
| Groupe de travail national | 18 |
| Recensement des fournisseurs | 19 |

Introduction / Contexte

Dans un contexte de forte mobilisation des citoyens sur leur exposition aux nuisances environnementales, on observe que les micro-capteurs de pollution, en développement depuis plus de 50 ans, connaissent aujourd'hui un fort essor et développement industriel.

Ces dispositifs de détection offrent potentiellement des applications dans les principaux domaines qui sont le transport, l'environnement, la santé, l'industrie et l'agroalimentaire, mais aussi dans les nouvelles applications numériques comme l'internet (IoT) des objets pour les bâtiments intelligents ou les villes intelligentes « Smart City ».

Pour les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), l'intérêt semble évident : ces outils permettant d'obtenir des mesures indicatives de la qualité de l'air viendraient compléter les méthodes de référence, pour une surveillance continue et spatialisée à moindre coût.

Dans ce rapport, après avoir défini ce qu'est un micro-capteur, les technologies les plus répandues sur le marché seront abordées, avec leurs limites et avantages.

En annexe, plusieurs actions menées en France et à l'international pour caractériser ces capteurs sont décrites. Un protocole de qualification des micro-capteurs est également présenté.

Enfin, un listing (non exhaustif) des capteurs actuellement disponibles sur le marché sera exposé.

Qu'est-ce qu'un micro-capteur ?

Principe général

Un capteur est un composant dont le fonctionnement est basé sur un phénomène physique, chimique ou biologique permettant de transformer une grandeur physico-chimique en un signal, généralement électrique.

Un capteur de pollution transforme la concentration d'une espèce gazeuse ou particulaire dans une atmosphère en une variation de tension, de courant ou d'impédance électrique ^[1].

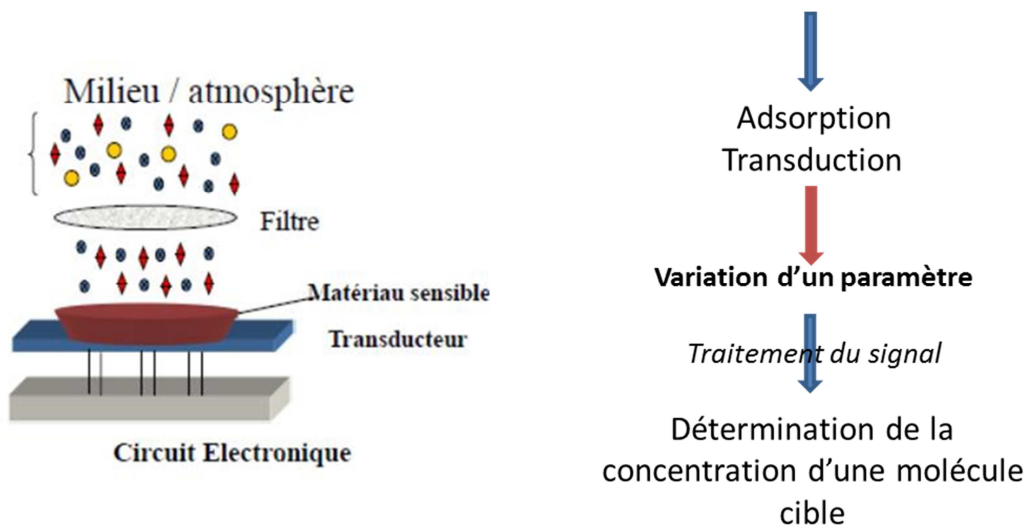


Figure 1 : Principe général d'un exemple de capteur de gaz

La couche sensible permet la reconnaissance d'un gaz cible avec lequel elle interagit. Le système transducteur transforme l'interaction chimique/physique en un signal électrique.

Un filtre peut être appliqué en amont du dispositif pour améliorer la spécificité de détection.

Dans un capteur de particules la mesure des particules se fait par lecture optique : la détection de particules se fait en fonction de l'obstruction de la diffusion de la lumière.

Les principaux capteurs physico-chimiques de gaz sont donnés dans le tableau ci-après.

| Technologies | Mesurande | Transducteur |
|--|--|--------------------------|
| Capteur à interférence réflectométrique | Epaisseur de la couche optique Δn | Lumière |
| Capteur calorimétrique, Pellistor | Température ΔT | Thermopiles, résistances |
| Capteur optique | Intensité ΔI Phase $\Delta \phi$ | Fibre optique |
| Cellule électrochimique | Courant ΔI Potentiel ΔV | Electrodes |
| Gaz FET | Travail de sortie $\Delta \Phi$ | Sonde Kelvin |
| Capteur humidité | Capacité ΔC | Condensateur |
| Microbalance | Masse Δm | Quartz oscillés |
| Oxydes semi-conducteurs | Conductance ΔG Potentiel ΔV | Electrodes |

Tableau 1 : Classes de capteurs

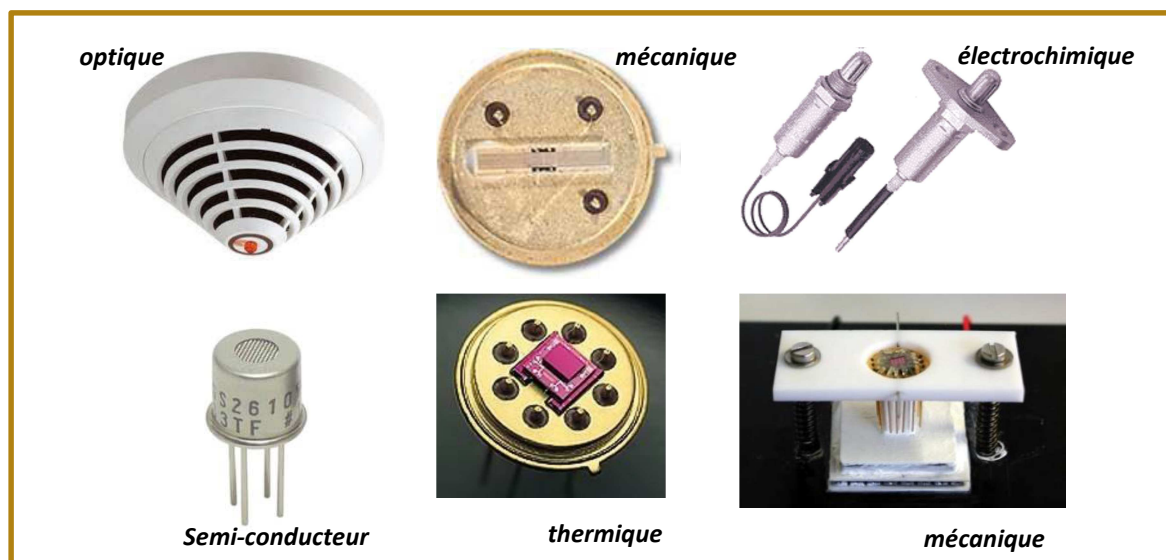


Figure 2 : Illustrations de différentes technologies de capteurs

Applications clés

Les applications pour les capteurs de gaz sont variées et toujours plus nombreuses.

On les retrouve en **air intérieur** (contrôle de fuite de gaz nocif ou la détection de CO), dans le monde de l'**automobile** (habitacle, pot d'échappement), dans l'**industrie** (sécurité, respect des normes antipollution), pour le **monitoring environnemental** (contrôle de la pollution, des gaz à effet de serre), dans l'**industrie agroalimentaire** (contrôle des aliments) et dans le domaine de la **santé** (monitoring des anesthésies).

Caractéristiques / Performance clés des capteurs de gaz

Le capteur a pour principales caractéristiques :

- La **sensibilité** : c'est le lien entre les variations de signal du capteur et la concentration en gaz cible. Le capteur donne un signal plus ou moins fort, et doit être utilisé au-delà de la limite de sensibilité (concentration minimale détectable en gaz cible)
- La **sélectivité** : dans une atmosphère à gaz multiples, aptitude à détecter le gaz cible à l'exclusion de tout autre gaz
- La **stabilité** : ce paramètre caractérise la dérive du signal dans le temps, même si les conditions d'utilisation sont constantes. Le capteur doit montrer une bonne reproductibilité de ses réponses dans le temps
- Le **temps de réponse** : temps requis pour atteindre 90% de la réponse en régime après mise en contact avec le gaz à détecter.
- Le **temps de récupération** : temps requis pour revenir à la valeur de base du signal après évacuation du gaz
- La **robustesse** : certains capteurs céramiques peuvent être fragiles, alors que d'autres matériaux (polymériques par exemples) peuvent impliquer une moindre fragilité
- La **consommation énergétique** (de fonctionnement)
- Le **coût**
- L'**intégrabilité** (pour un système portable)
- La **durée de vie**

Ces caractéristiques sont les performances clés à prendre en compte lors du choix du capteur.

Pour être appelé micro-capteurs low-cost...

Le Laboratoire Centrale de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), s'appuyant sur les travaux européens, a précisé la définition des instruments répondant au nom de micro-capteur de gaz low-cost^[4].

- **Low-cost** : le prix du capteur doit être significativement inférieur aux outils d'analyse préconisés par la méthode de référence pour chaque gaz ciblé. On peut estimer qu'un rapport d'un **dixième** entre le prix d'achat d'un capteur et l'instrumentation équivalente nécessaire à la mise en œuvre de la méthode de référence est un ratio raisonnable pour être rentable.
- **Micro** : le poids, les dimensions, et l'encombrement des capteurs doivent être suffisamment modestes pour envisager la portabilité sans gêne de l'instrument par un individu.
- **« de gaz »** : l'information délivrée par le capteur, considéré comme une boîte noire, doit être directement lisible, que ce soit via un afficheur positionné sur le boîtier du capteur ou via une interface logicielle fournie par le constructeur, sans autre forme de traitement de signal. La donnée délivrée est donc nécessairement une concentration en ppb, ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3 .

Particularités

Chacune des technologies décrites par la suite présente ses avantages et ses limites. Il existe désormais de nombreux fournisseurs de capteurs, utilisant parfois la même cellule technologique. Ce qui impacte sur le produit final sera alors :

- la connectique associée
- le traitement du signal
- la technologie utilisée pour la transmission de données (Carte SD, 4G, Zigbee, LoRa, etc)
- le mode d'alimentation (batterie, secteur, panneau solaire)
- la mise à disposition de l'information

Capteurs de gaz ^[2-9]

Pour le monitoring urbain de la qualité de l'air, la plupart des capteurs commerciaux fait appel à une des 4 technologies suivantes :

- Capteurs électrochimiques
- Capteurs semi-conducteurs (MOx)
- Capteurs à infrarouge (Absorption IR, NDIR)
- Capteurs PID (Photoionisation)

Le choix de la technologie sera également lié à l'application et au polluant mesuré :

| <i>Application</i> | <i>Technologie</i> |
|---|---|
| Capteurs de O ₂ , CO ₂ en air intérieur | Optique (NDIR, PID) ou électrochimique |
| Capteurs de pollution extérieure (NO _x , NH ₃ , composés soufrés) | Electrochimique et/ou semi-conducteur |
| Capteurs de pollution automobile | Semi-conducteur (excepté sonde Lambda électrochimique pour O ₂) |
| Capteurs de COV | Electrochimique, semi-conducteur ou PID |

Tableau 2 : Liens entre les applications et les technologies de capteurs adaptées

Capteurs électrochimiques

Principe

Ces capteurs, pour les applications de surveillance de la qualité de l'air, sont le plus souvent à électrolyte solide. Ils en existent plusieurs types, notamment les ampérométriques et potentiométriques.

Le principe de ce capteur se base sur une réaction d'oxydo-réduction (réaction électrochimique) qui advient lorsque le gaz s'adsorbe à la surface de l'électrode. C'est un transfert de charges électriques entre les espèces gazeuses dans l'air et les ions mobiles dans l'électrolyte solide séparé par une membrane conductrice qui en assure ainsi le transport.

Le transport de ces ions induit une différence de potentiel entre les deux électrodes plongées dans l'électrolyte, qui est fonction de la concentration des espèces gazeuses en contact avec les ions.

Le choix des matériaux utilisés pour les électrodes (par exemple Or ou Platine) et surtout de l'électrolyte permet d'améliorer la sélectivité à un gaz.

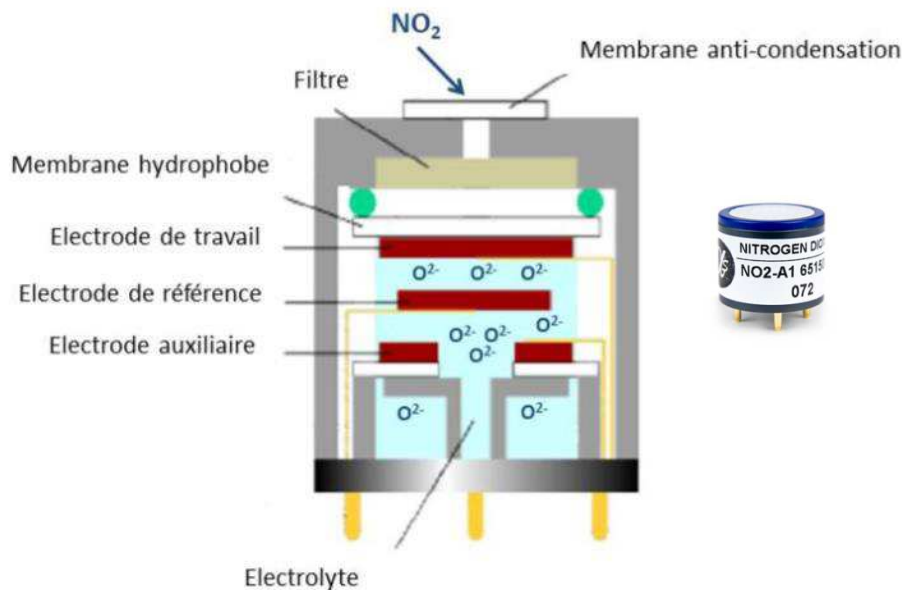


Figure 3 : Exemple de capteur électrochimique (ampérométrique)

Le gaz entre dans la cellule par une barrière de diffusion perméable au gaz mais pas au liquide.

Deux ou trois électrodes sont immergées dans un électrolyte. Dans le cas de 2 électrodes, une électrode de travail et une électrode auxiliaire permettent la mesure de la concentration.

Dans le cas de 3 électrodes (cf. figure 3), une électrode de référence est rajoutée pour éviter des dérives dans la mesure, dues à la création de barrières de charges d'espace (défaut de mobilité des ions). Cette électrode de référence oblige l'électrode de travail à garder un potentiel constant par rapport à elle.

Limites et points forts

En jouant sur le choix des matériaux, il est possible de descendre à des limites de détection de quelques ppm pour des mesures de O_3 ou de NO_2 .

La sélectivité est cependant un point faible de cette technologie. Pour l'améliorer, il est nécessaire de rajouter des filtres en amont, qui peuvent avoir une durée de vie limitée.

Ces capteurs sont assez stables dans le temps, mais une dérive des concentrations peut être très rapidement observée selon l'utilisation envisagée. Un suivi avec un appareil de mesure de référence et une maintenance régulière (changement de cellule) sont recommandés.

Capteurs semi-conducteurs

Principe

Ces capteurs contiennent une couche sensible semi-conductrice (oxyde métallique MO_x) qui possède une conductivité dépendante de la composition de l'air qui l'entoure. Le signal obtenu correspond donc à une résistance variable en fonction de l'évolution de la conductivité.

Le matériau support de la réaction d'oxydo-réduction n'est pas un métal, comme c'était le cas pour le détecteur catalytique, mais un oxyde métallique semi-conducteur (SnO_2 , $ZnO...$).

A savoir que des capteurs potentiométriques et ampérométriques peuvent également utiliser des couches de MO_x sur les électrodes, notamment pour améliorer la sélectivité.

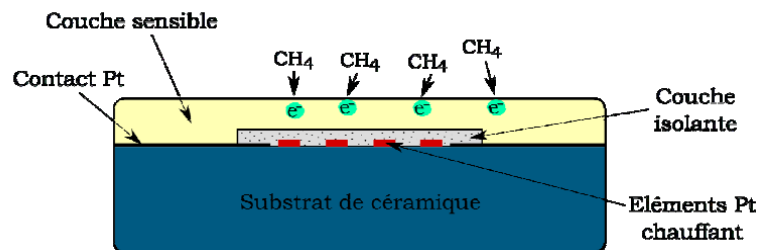


Figure 4 : Schéma d'un capteur semi-conducteur^[2]

Des défauts dans le réseau cristallin sont associés aux propriétés électriques des oxydes métalliques. En effet, ces composés métalliques sont souvent isolants à l'état de cristal parfait. Il existe deux types de semi-conducteurs :

- De type n : il possède des atomes de métal en excès qui peuvent s'ioniser facilement et libérer des électrons permettant le transport du courant
- De type p : certains nœuds du métal restent vacants, c'est pourquoi des ions perdent un électron de manière à conserver l'électroneutralité du composé. La conductivité électrique est permise par les trous ainsi formés.

Par ces défauts des oxydes métalliques, on introduit des porteurs de charge (électrons ou trous vacants) qui conditionnent les propriétés électriques et optiques du matériau. Le retrait ou le don par un gaz adsorbé d'un porteur de charge modifie le nombre de ceux-ci et donc la conductivité. C'est pourquoi la mesure de la conductivité d'un matériau semi-conducteur permet de détecter des gaz. De manière générale, les gaz oxydant diminuent la conductivité alors que les gaz réducteurs l'augmentent pour les semi-conducteurs de type n. L'effet inverse est observé avec des semi-conducteurs de type p.

Limites et points forts

Ce type de capteur démontre une forte sensibilité mais est peu sélectif à un gaz spécifique. Il est donc nécessaire d'utiliser des matériaux qui filtreront le gaz ciblé.

Pour qu'un changement de conductivité soit observé en présence de gaz, il est nécessaire de chauffer le matériau. Une thermo-résistance est donc nécessaire, et consommatrice d'énergie.

Le temps de réponse est de quelques minutes et le temps de désorption a tendance à être lent. Une dérive dans le temps (due à l'accumulation de gaz non désorbé) peut être observée après une trop forte exposition aux polluants. Il est donc important de prendre en compte une maintenance régulière, et il est conseillé d'utiliser ces capteurs en parallèle d'une méthode de référence.

La température et le taux d'humidité sont également des paramètres qui interfèrent.

Capteurs IR (capteurs à infrarouge)

Principe

De nombreux gaz inflammables possèdent des bandes d'absorption dans la zone infrarouge du spectre lumineux électromagnétique.

Le principe de détection repose sur l'interaction entre un rayonnement électromagnétique infrarouge et le gaz. Celui-ci absorbe de l'énergie à une longueur d'onde bien déterminée (liaisons C-H), qui dépend de l'énergie de vibration de ses molécules. L'atténuation d'énergie du rayonnement infrarouge est mesurée et est fonction de la concentration de gaz présente sur le trajet optique, suivant la loi de Lambert Beer.

Il existe différents types de capteur pour cette technologie : capteurs à spectroscopie IR, NDIR (Non-dispersive infrared), FTIR (Fourier Transform Infrared) et NIR (Near-Infrared).

La figure suivante présente de façon schématique un détecteur infrarouge.

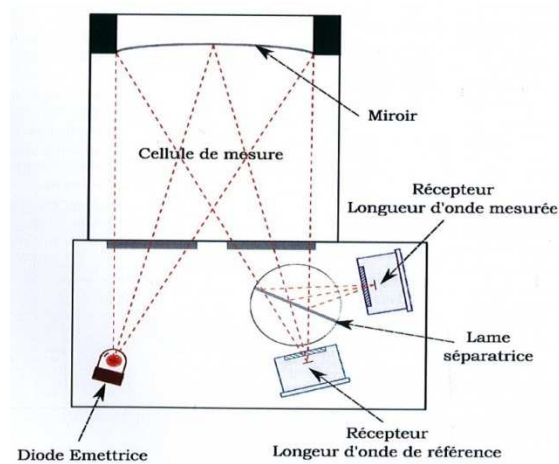


Figure 5 : schéma de principe d'un détecteur de gaz infrarouge ponctuel^[2]

Limites et points forts

L'usage de ce type de capteur est limité à quelques gaz spécifiques.

Pour un gaz comme le CO₂, il est très précis et fonctionne très bien. Pour d'autres gaz (par exemple hydrocarbures), la sélectivité reste un problème.

Il est peu sensible à la température et au taux d'humidité.

Capteurs PID (détecteur à photo-ionisation)

Principe

Une pompe prélève l'atmosphère à surveiller. Le flux d'air est amené dans une chambre d'ionisation équipée d'une lampe UV et de 2 électrodes soumises à une forte différence de potentiel (production d'un champ électrique (E)).

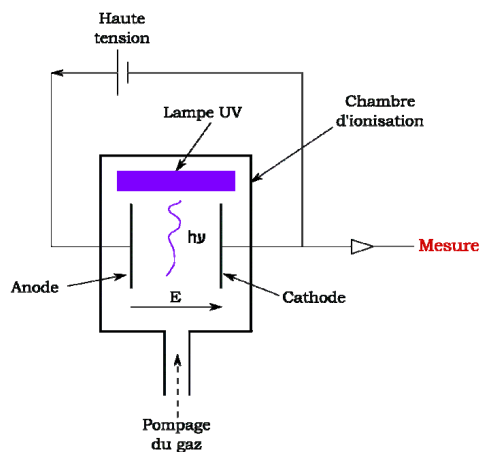


Figure 6 : schéma de principe d'un capteur PID^[2]

Sous l'effet du rayonnement, les molécules dont le potentiel d'ionisation (PI) est inférieur à l'énergie de la lampe sont ionisées. Les ions ainsi obtenus sont collectés sur la cathode et un courant est créé, directement proportionnel au nombre d'ions formés et donc aux molécules ionisées.

Les gammes de mesure de ces appareils sont en général 0-100 ppm et 0-1000 ppm.

Limites et points forts

La mesure par PID est le principe le plus utilisé pour la mesure des COV grâce entre autres à sa sensibilité (jusqu'à 1ppb), sa linéarité et son temps de réponse très rapide.

Cette technologie n'est cependant utilisable que pour un certain nombre de gaz.

Par ailleurs, ce type de capteur nécessite une calibration fréquente et une maintenance régulière (vieillesse rapide de certaine lampe).

Capteurs de particules ^[5,9,10]

Principe

Les particules sont détectées par des capteurs optiques. Ces capteurs optiques (Optical Particle Counter, OPC) se basent sur la diffraction de la lumière (IR).

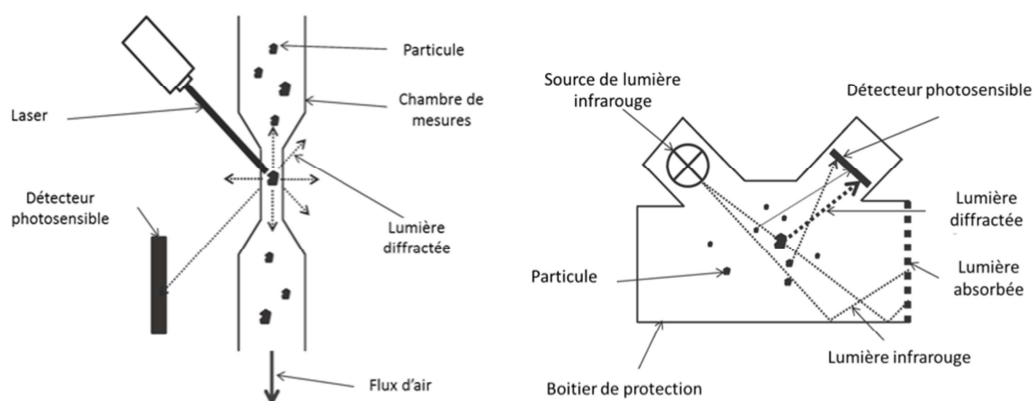


Figure 7 : Schéma d'un exemple de capteur OPC

Un flux forcé constant est appliqué pour introduire les particules dans le capteur.

Chaque particule qui passe devant le faisceau laser diffracte une partie de ce faisceau vers la photodiode (détecteur photosensible). La figure de diffraction ainsi captée est directement liée à la taille des particules captées, mais également leur nombre, c'est-à-dire leur densité dans l'espace qu'elles occupent.

En fonction du nombre de particules captées par catégorie de taille, on en déduit la masse des particules en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Limites et points forts

Le capteur détecte les particules comprises entre 1 et 10 μm .

Les données en moyenne journalière présentent de bonnes corrélations avec la méthode de référence, en site périurbain/urbain.

Certains phénomènes météorologiques peuvent influencer négativement sur le faisceau du capteur (brouillard, vent fort...).

Un trop fort empoussièrement peut causer la saturation du capteur. Ces capteurs sont actuellement peu adaptés pour effectuer des mesures à proximité de chantiers ou d'axes routiers importants.

Ce dernier peut également être induit en erreur lorsque de très grosses particules pénètrent dans l'appareil (une grosse particule est souvent identifiée comme plusieurs particules de tailles plus petites).

Ce capteur reste sensible à la condensation, à la nature des particules et à d'autres interférents.

Conclusion

Les capteurs de gaz et de particules suscitent aujourd'hui un véritable engouement lié à l'émergence des micro/nano-systèmes, permettant le développement de dispositifs miniatures, portables, smart, intégrant le (ou les) capteur(s), l'alimentation, l'électronique de traitement et délivrant un message rapide et séduisant pour l'utilisateur.

Les fournisseurs ont conscience que ces capteurs ne visent en aucun cas à remplacer les méthodes de référence pour la surveillance. Leur utilisation doit être ciblée suivant les besoins :

- capteurs dédiés au diagnostic
- capteurs utilisés pour faire de la surveillance d'atmosphères
- capteurs utilisés pour, à l'atteinte de certains seuils définis, lancer des actions
- les capteurs utilisés pour remonter de la donnée afin de préciser et d'améliorer une cartographie modélisée (maillage plus fin).

A ce jour, la plupart des capteurs transcrit de bonnes tendances, mais vus les nombreux interférents possibles (autre gaz, humidité, forte exposition, etc.), il est recommandé de les utiliser avec un appareil de référence sur la zone d'étude. Le choix du capteur dépendra donc de l'objectif à atteindre.

Enfin, indépendamment des performances métrologiques de ces appareils de mesure, d'autres paramètres sont à prendre en compte tels que l'autonomie, la simplicité de mise en œuvre, la portabilité, la fiabilité de communication (GSM, Wifi, Bluetooth, filaire, etc...), la convivialité des interfaces de récupération de données et le rapport qualité/prix.

Annexes

Groupe de travail européen

- GT Européen WG42 Air Quality Sensors et LCSQA[4,8]

Dans un contexte de montée en puissance des micro-capteurs en QA et une recrudescence de projets basés sur ce type d'analyseur, le WG42 « Air quality sensors » au CEN TC264 « Air Quality » a été créé pour répondre aux questionnements de la Commission Européenne et du CCEN notamment sur la validité de ces produits (vis-à-vis de la réglementation et de la science). A savoir :

- Les micro-capteurs respectent-ils les Objectifs de Qualité de données (OQD) des méthodes à moindre coût ?
- Comment distinguer les bons capteurs parmi la pléthore de dispositifs mis sur le marché
- Comment aider les constructeurs/distributeurs à mieux qualifier leur produit ?

Les missions du WG42 sont donc d'élaborer une spécification technique (TS) détaillant les exigences en termes de caractéristiques de performances ainsi que les méthodes d'essai associées (en laboratoire et sur le terrain).

NB : le plus souvent les TS sont des « avant-projets » de norme que l'on souhaite valider pendant un certain temps pour s'assurer de son bien-fondé avant de l'homologuer, éventuellement après modification.

Les dispositifs concernés par cette mission sont les capteurs à bas prix et les réseaux de capteurs, mesurant O₃, NO₂/NO_x ; CO, SO₂, C₆H₆, CO₂, PM₁₀ et PM_{2.5}.

Il y aura 3 catégories de capteurs selon qu'ils respectent : la méthode indicative, la méthode d'estimation objective et la méthode informative.

| Polluant | Méthode de « mesure » + OQD | | | |
|---|-----------------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| | Fixe (référence) | Indicative | Modélisation | Estimation objective |
| SO ₂ , NO ₂ /NO _x , CO | ± 15 % | ± 25 % | ± 50 % | ± 75 % |
| Benzène | ± 25 % | ± 30 % | ± 50 % | ± 100 % |
| PM ₁₀ /PM _{2.5} | ± 25 % | ± 50 % | ± 50 % | ± 100 % |
| O ₃ | ± 15 % | ± 30 % | ± 50 % | ± 100 % |
| À utiliser quand les concentrations en polluant sont | | | | |
| | > SES | SEI ≤ [] ≤ SES | < SEI | < SEI |

SES: Seuil d'Evaluation Supérieur

SEI: Seuil d'Evaluation Inférieur

Méthode indicative : mesure qui respecte des OQD moins stricts que ceux qui sont requis pour les mesures fixes
Estimation objective : toute méthode formalisée permettant d'obtenir l'ordre de grandeur en polluant en un point donnée ou sur une aire géographique sans nécessairement recourir à des outils mathématiques complexes ou aux équations de la physique

Le LCSQA a publié deux rapports sur les micro-capteurs :

Etablissement d'un protocole de détermination en laboratoire des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs pour la mesure indicative des polluants gazeux inorganique, mars 2016 (<https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2015/mines-douai/etablissement-protocole-determination-laboratoire-caracteristiques-performa>)

Validation du protocole de détermination des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs pour la mesure indicative des polluants gazeux réglementaires – Etude comparative des performances en laboratoire de micro-capteurs NO₂, mars 2017 (<https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/mines-douai/protocole-determination-caracteristiques-performance-metrologique-micro-cap>)

Le LCSQA réalise également un travail d'inter-comparaison de micro-capteurs dont l'objectif est de placer en conditions réelles un grand nombre de systèmes différents afin d'évaluer leur aptitude à suivre les principaux polluants d'intérêt pour l'air ambiant.

(<https://www.lcsqa.org/fr/actualite/micro-capteurs-gaz-particules-surveillance-qualite-air-premier-essai-national-aptitude>)

- **EuNetAir COST^[11]**



Un comité européen, réunissant scientifique, fabricant et fournisseurs de capteurs a été créé en 2012 (<http://www.eunetair.it/>)

Le but est de créer une plateforme d'échange scientifique et technologie, autant sur les micro-capteurs, la modélisation et la surveillance de la QA par ces micro-capteurs, afin de définir des méthodologies et favoriser les transferts technologiques entre les pays sur cette thématique.

De nombreuses études sont donc en cours de divers pays européens, dans le cadre de cette plateforme et financés par la CEE.

- **AirSenseEUR^[12]** (www.airsenseur.org)

AirSenseEUR est une plateforme multi-capteurs pour la surveillance de la QA. Les circuits électroniques associés sont assez sensibles pour détecter de très faibles concentrations de polluants, grâce à des capteurs électrochimiques. AirSenseEUR a été développé dans le but de créer une plateforme en utilisation libre (software and hardware), compatible avec la directive INSPIRE.

- **Autre projets**

D'autres projets sont en cours, impliquant des micro-capteurs, soit pour des mesures mobiles et affiner le maillage de la ville, soit en sensibilisant et mobilisant les citoyens sur la qualité de l'air.

Opensense www.opensense.ethz.ch

Everyaware www.everyaware.eu

Citi-sense www.citi-sense.eu

- **Meeting Internationale sur les capteurs QA – Février 2017**

Réunissant de nombreux pays européens, les retours d'expérience amènent aux conclusions principales suivantes :

- Les citoyens utilisent de plus en plus des micro-capteurs. Les professionnels devraient s'y préparer et une communication claire et transparente est la clé
- Il y a un besoin urgent de partager les informations sur les tests de micro-capteurs, les procédures de calibration et les algorithmes associés.
- La calibration des micro-capteurs est un vrai challenge. Des systèmes de calibration open data devraient être développés.
- Les micro-capteurs peuvent s'intégrer à la modélisation AQ, même si un travail important de développement est requis
- Une communauté européenne est souhaitable. Le concept de FAIRMODE pourrait servir d'exemple, tout comme AQUILA et CEN.

En mars 2017, M. Voogt (RIVM, NL) répond que le capteur NO₂ le plus prometteur est l'Alphasense (B4F3) et pour les PM, les capteurs Alphasense OPC et Shinyei PPD42, PPD60 vont être testés (en mode stationnaire).

Groupe de travail national

Un groupe de travail national a été mis en place début 2017 réunissant plusieurs membres des AASQA et du LCSQA travaillant sur le sujet. Plusieurs rencontres ont lieu chaque année dans le cadre de ce GT.

Les questions principales qui en ressortent sont :

- Quelles sont les meilleures technologies disponibles et comment justifier le choix pour une application précise
- Comment coupler les mesures micro-capteurs, ayant des incertitudes plus larges, avec la force des approches Big Data afin de faire de la cartographie
- La prise de connaissance des algorithmes permettant la validation des données, ceci étant actuellement peu divulgué.

L'idée qui émerge collectivement est de créer a minima une liste des études impliquant les micro-capteurs dans laquelle pourraient être présentés le contexte des études, une présentation succincte des systèmes testés et les grandes conclusions sur les expérimentations conduites.

Recensement des fournisseurs

- Fabricants de capteurs de gaz

Dans le tableau ci-après sont recensés les constructeurs de capteurs de gaz. Ces composés peuvent ensuite être retrouvés chez des fournisseurs (cf. paragraphe suivant) qui proposeront une station complète de micro-capteur (cellule, alimentation, connectique).

| Entreprise | Type de capteur | Produit | Composés détectés |
|---------------------------------|------------------------------------|------------|---|
| Alphasense | électrochimique | αsense | CO, H ₂ S, NO ₂ , NO, O ₃ , SO ₂ |
| | PID | PID | COV |
| | OPC | OPC-N2 | PM |
| E2v | semiconducteur | MICS | COV, NH ₃ , CO, NO ₂ , O ₃ |
| | électrochimique | EC | NO ₂ , NO, H ₂ S, CO, SO ₂ |
| | IR | IR | CO ₂ |
| | conductivité thermique (pellistor) | VQ | CH ₄ , H ₂ S |
| Figaro | semi-conducteur | TGS | CH ₄ , VOC |
| | électrochimique | CDM | O ₂ , CO ₂ , H ₂ |
| Fis | semi-conducteur | FIS | COV |
| Membrapor | Electrochimique | Membrapor | O ₂ , SO ₂ , O ₃ , NH ₃ , NO, NO ₂ , VOC |
| Microsense | semiconducteur | MSG5 | O ₂ , H ₂ , CO, Nox, CH ₄ |
| | catalytique | MCG5 | H ₂ , CH ₄ , COV |
| | conductivité thermique | MTCS | CH ₄ , CO ₂ |
| Environnement SA. | électrochimique | Cairsens | NO ₂ |
| GSS | optique | COZIR | CO ₂ |
| Shinyei (Japon) | optique | PPD42 | PM _{2.5} PM ₁₀ |
| | optique | PPD60 | PM _{2.5} PM ₁₀ |
| City Technologie | électrochimique | 3E1F /3E50 | O ₃ , NO ₂ |
| SpecSensors | électrochimique | | CO, O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , H ₂ S |

- Fournisseurs de station de capteurs de gaz

La liste ci-dessous (non-exhaustive) présente les fournisseurs de stations de micro-capteurs recensés à ce jour.

| <i>Fournisseur</i> | <i>Site Web</i> |
|--------------------|--|
| Addair | www.addair.fr |
| AirBoxLab | www.foobot.io |
| AirCasting | www.aircasting.org |
| Clarity | www.clarity.io |
| Ecomesure | www.ecomesure.com |
| EnviraSostenibile | www.envira.es |
| Hager | www.pro.hagerservices.fr |
| Libelium | www.libelium.com |
| Nanosense | www.nano-sense.com |
| Netatmo | www.netatmo.com |
| Groupe TERA | www.groupe-tera.com |

La différence entre ces fournisseurs vient principalement des services proposés (connectique, version du capteur, branchement batterie/secteur).



Bibliographie

1. A. Permy, *et al.*, Capteurs à semi-conducteurs, Technique de l'Ingénieur 420 (1994) 360
2. INERIS, Principes et techniques pour la détection des gaz, DRA-08-86244-13727B, janvier 2009
3. S. Duché *et al.*, Les capteurs Low Cost de pollution: un nouvel Eldorado pour l'évaluation de l'exposition individuelle aux particules? XXVIIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie (2015) 140-145
4. LCSQA, Validation du protocole de détermination des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs pour la mesure indicative des polluants gazeux réglementaires – Etude comparative des performances en laboratoire de micro-capteurs NO₂, mars 2017
5. M. Alexandre, *et al.*, Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas, Chem. Eng. Transactions, 30 (2012) 169-174
6. L. Spinelle *et al.*, Performance evaluation of amperometric sensors for the monitoring of O₃ and NO₂ in ambient air at ppb level, Procedia Engineering 120 (2015) 480-483
7. N. Castell *et al.*, Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates ?, Environment International 99 (2017) 293-302
8. LCSQA, Etablissement d'un protocole de détermination en laboratoire des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs pour la mesure indicative des polluants gazeux inorganique, mars 2016
9. C. Borrego, *et al.*, Assessment of air quality microsensors versus reference methods : the EuNetAir joint exercise, Atmospheric Environment 147 (2016) 246-263
10. <http://www.respire-asso.org/le-capteur-de-particules-fines-pour-les-nuls/>
11. EuNetAir Newsletter, COST Action TD1105 Iss. 8/ Sept 2016
12. JRC Technical Report AirSenseEUR : an open data/software/hardware multi-sensor platform for air quality monitoring *Part A : sensor shield/Part B: host, influx datapush, and assembling of AirSenseEUR/ Part C: Interoperable Data Management*

Les micro-capteurs

Du fait de la préoccupation grandissante des citoyens sur les sujets environnementaux, de nombreuses innovations technologiques sont apparues ces dernières années et ont permis l'émergence de micro-capteurs de pollution sur le marché.

Bien que moins performants que les analyseurs de référence, ces micro-capteurs sont moins coûteux, moins volumineux et peuvent être déployés plus facilement que ces derniers, offrant alors de nouvelles possibilités de surveillance.

L'objectif est ici de présenter l'état de l'art des différentes technologies de micro-capteurs disponibles sur le marché ainsi que les limites/avantages associés.

Il est également fait une description de plusieurs actions et travaux mené(e)s sur le sujet, en France et en Europe, ainsi qu'une liste (non exhaustive) de fabricants et fournisseurs de micro-capteurs.



AirPACA
QUALITÉ DE L'AIR
www.airpaca.org

Siège social

146, rue Paradis
« Le Noilly Paradis »
13294 Marseille Cedex 06
Tél. 04 91 32 38 00
Télécopie 04 91 32 38 29

Établissement de Martigues

Route de la Vierge
13500 Martigues
Tél. 04 42 13 01 20
Télécopie 04 42 13 01 29

Établissement de Nice

37 bis avenue Henri Matisse
06200 Nice
Tél. 04 93 18 88 00

