



Cercl'Air fiche d'information F1-2024, Version 27.08.2024

Les responsables de l'hygiène de l'air de Cercl'Air informent sur le sujet: Capteurs low-cost utilisés pour la mesure de la qualité de l'air

Resumé

Cette factsheet donne un aperçu des capteurs low-cost utilisés pour la mesure des immissions, des principes de mesure et des domaines d'application possibles.

En raison d'une précision, d'une répétabilité et d'une fiabilité limitées, l'utilisation de capteurs low-cost est tout au plus appropriée pour effectuer des mesures indicatives à court terme des polluants atmosphériques (p. ex. émis sur les chantiers) ou alors pour faire des mesures à caractère purement qualitatif. Par contre, les capteurs low-cost ne sont adaptés ni pour effectuer des mesures réglementaires ni à l'observation des tendances à long terme dans le contexte de l'hygiène de l'air.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, des systèmes de mesure bon marché sont disponibles pour mesurer les concentrations des polluants atmosphériques. Ces capteurs « low-cost » sont proposés par divers fabricants et pour différents polluants atmosphériques. Ils sont petits, pratiques et peuvent être achetés ou assemblés pour un budget modeste. Cela offre à une grande partie de la population la possibilité de collecter elle-même des données environnementales telles que la qualité de l'air. En outre, il existe de plus en plus de sociétés qui vendent des systèmes de mesure complets avec des capteurs low-cost, intégrant la transmission et la mise à disposition des données. La multiplicité des offres disponibles conduit à de grandes quantités de données de mesure dont la qualité varie considérablement.

Cette factsheet s'adresse aux services d'hygiène de l'air, aux exploitants de réseaux de mesure de la qualité de l'air et au public intéressé par les questions techniques. Elle a pour but de donner un bref aperçu de la manière dont les capteurs low-cost peuvent être utilisés et dans quelles conditions, ainsi que les appli-

cations pour lesquelles ils ne sont pas appropriés. Cela concerne les capteurs low-cost utilisés pour mesurer la concentration de polluants de l'air extérieur¹, pour lesquels il existe des valeurs limites d'immission dans l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair). Les capteurs mesurant les concentrations de polluants de l'air intérieur ainsi que les autres capteurs environnementaux ne sont pas traités dans ce document. Il est en outre expliqué pourquoi les appareils utilisés aujourd'hui pour les mesures d'immissions, qui se basent sur des méthodes de mesure de référence, ne peuvent pas être remplacés par des capteurs low-cost.

2. Technique

Les capteurs low-cost se composent généralement d'une unité dans laquelle a lieu le processus de mesure, d'un convertisseur de signaux de mesure, d'un système d'acquisition de données et d'une unité de communication pour la transmission des données. Les capteurs low-cost sont souvent fournis avec la possibilité de transférer les données dans une base de données en temps quasi réel et de les visualiser.

Les principes de mesure de ces capteurs low-cost pour les polluants gazeux (par exemple NO_2 , NO et O_3) sont généralement basés sur des méthodes électrochimiques mais, parfois, des semi-conducteurs à oxyde métallique sont utilisés. Les capteurs low-cost pour la mesure des poussières fines ($\text{PM}_{2.5}$ et PM_{10}) sont basés sur le principe de la diffusion de la lumière. On peut distinguer deux types de capteurs: ceux qui émettent de la lumière sur un ensemble de particules et qui détectent la lumière diffusée (photomètres à lumière diffusée), et ceux qui émettent de la lumière sur des particules individuelles et qui attribuent une taille de particule à l'intensité de la lumière diffusée détectée (compteurs optiques de particules). Les compteurs optiques de particules fournissent des valeurs de mesure plus fiables et plus précises que les photomètres à lumière diffusée^{2,3,4}.

3. Mesures d'accompagnement pour l'assurance qualité (correction/calibrage)

Les capteurs low-cost sont des instruments de mesure qui doivent être traités comme tout autre instrument analytique. Cela signifie que, pour chaque application prévue, il faut vérifier au préalable (par exemple après une longue période sans utilisation) si la qualité des données requise peut être atteinte avec le capteur low-cost destiné à être utilisé. De plus, pendant l'utilisation de ces capteurs, des mesures d'accompagnement doivent être effectuées pour garantir la qualité des données nécessaire à l'application spécifique.

L'adéquation des capteurs low-cost pour une application donnée peut être déterminée par des mesures comparatives de ces derniers avec un instrument de référence. Lors de l'utilisation de capteurs low-cost, il faut tenir compte du fait que différents facteurs peuvent influencer négativement la qualité des données. Par exemple, les variations de l'humidité de l'air et de la température peuvent influencer les valeurs mesurées ainsi que, dans le cas des capteurs de polluants atmosphériques gazeux, les sensibilités croisées à d'autres gaz à l'état de traces. C'est pourquoi les mesures comparatives (des capteurs low-cost versus des appareils de référence) doivent être d'une durée suffisamment longue pour couvrir autant que

possible toutes les conditions environnementales.

Les capteurs low-cost peuvent être étalonnés, ou validés pour une utilisation donnée, sur la base de mesures comparatives avec des appareils de référence. Il est alors possible de déterminer une fonction mathématique permettant de corriger le signal mesuré par le capteur ou de le convertir en concentration du polluant atmosphérique à mesurer. De plus, ces mesures comparatives permettent de déterminer les caractéristiques de performance des capteurs et, par voie de conséquence, de tirer des conclusions sur la possibilité d'utiliser ces capteurs pour les applications souhaitées.

Il est important de noter qu'effectuer des tests d'adéquation des capteurs à une application donnée est une condition préalable, mais qu'ils ne peuvent toutefois pas remplacer les mesures d'accompagnement pour l'assurance qualité à faire pendant l'utilisation. En effet, pendant l'utilisation des capteurs, des mesures appropriées doivent être prises pour détecter et corriger les possibles dérives du point zéro et modification de la sensibilité des capteurs au polluant atmosphérique à mesurer. Le type et l'étendue des mesures d'accompagnement pour l'assurance qualité dépendent de l'application et des exigences requises en matière de qualité des données. Sans mesures d'accompagnement appropriées, l'erreur de mesure des capteurs peut être beaucoup plus importante que celle qui peut être déduite des paramètres de performance des tests d'adéquation^{1,4,5,6}.

4. Évaluation d'adéquation

La sensibilité métrologique, la sélectivité pour la grandeur mesurée et la stabilité à long terme sont souvent des facteurs limitants à l'utilisation des capteurs low-cost. Ces limitations peuvent varier selon le type de capteur et de polluant (par exemple, les capteurs optiques utilisés pour la mesure des $\text{PM}_{2.5}$ sont plus fiables que les capteurs électrochimiques utilisés pour la mesure de l' O_3 ⁷). En raison de ces limitations et des différences entre capteurs, il faut évaluer individuellement, pour chaque produit et chaque application, si et

dans quelle mesure les capteurs low-cost peuvent être utilisés³ (voir tableau 1).

Tableau 1

Aperçu des exigences en matière de mesure (colonne de titre) en fonction de l'objectif de la mesure (ligne de titre) et évaluation générale de l'aptitude des capteurs low-cost selon l'état actuel des connaissances.

		[objectif]				
		Réglementaire, scientifique	Suivre l'évolution des concentrations à long terme	Comparer des variations spatiales ^{a)}	Suivre l'évolution des concentrations à court terme ^{b)}	Effectuer de la sensibilisation au thème de la qualité de l'air
[exigence]	Précision de la mesure	quantitative ^{c)}	quantitative ^{c)}	qualitative ^{d)}	qualitative ^{d)}	basse
	Sélectivité pour les grandeurs de mesure	haute	haute	moyenne	moyenne	basse
	Traçabilité par rapport à un standard d'étalonnage	Indispensable	Indispensable	pas Indispensable	pas Indispensable	pas Indispensable
	Comparabilité entre les appareils	haute	haute	moyenne	moyenne	basse
	Stabilité temporelle d'un appareil	haute	haute	moyenne	moyenne	basse
Adéquation des capteurs low-cost à l'objectif						

Legende

- a) Différences spatiales des concentrations sur de courtes durées (quelques heures à quelques jours).
- b) Changement des concentrations à court terme, dans le sens de suivre l'évolution des concentrations à différents moments de la journée (p. ex. le matin ou l'après-midi).
- c) Quantitatif dans le sens de valeurs mesurées qui peuvent être interprétées sur une échelle métrique (par exemple, la concentration est de 10 microgrammes par mètre cube d'air).
- d) Qualitatif dans le sens de valeurs mesurées qui peuvent être interprétées sur une échelle ordinale (p. ex. la concentration à l'endroit A est plus élevée qu'à l'endroit B).

En l'état actuel des connaissances, les capteurs low-cost disponibles dans le commerce ne conviennent pas pour vérifier le respect des valeurs limites d'immission dans le cadre de l'application de l'OPair, car les exigences métrologiques et réglementaires pour de telles mesures sont très élevées⁸. Pour les mêmes raisons, ils ne sont que peu adaptés pour répondre à des problématiques scientifiques orientées vers la connaissance. Pour les applications plus exigeantes, des mesures d'assurance-qualité plus poussées sont nécessaires, comme expliqué au chapitre 3. Sous certaines conditions, les capteurs low-cost peuvent partiellement détecter les différences spatiales et temporelles de concen-

trations en polluants atmosphériques. Les exigences de mesure les plus basses sont atteintes lors de l'utilisation de capteurs low-cost pour la sensibilisation au thème de la qualité de l'air, par exemple pour des projets scolaires.

5. Exemples d'application

En raison des limitations de précision et de fiabilité mentionnées précédemment, l'état actuel des connaissances ne permet d'identifier que peu de cas d'application pour lesquels des capteurs low-cost peuvent être utilisés.

Une application possible est la mesure de l'évolution des concentrations de polluants sur

une courte période. Les capteurs low-cost peuvent par exemple apporter une aide pour la surveillance qualitative des chantiers. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de mesurer précisément la charge polluante, mais il suffit de constater s'il y a ou non une pollution locale additionnelle significative. Grâce à la haute résolution temporelle des mesures il est possible, en tenant compte des conditions météorologiques (force et direction du vent, etc.), d'obtenir des indications sur les événements et leur origine (p. ex. émissions accrues de poussières)⁹.

Une autre possibilité d'application à caractère purement qualitatif est la mesure des différences spatiales de la pollution atmosphérique, par exemple lorsque des capteurs low-cost sont installés sur des véhicules, ou portés par des personnes, et enregistrent des données sur une période définie¹⁰.

6. Conclusion et recommandation

Les capteurs low-cost ne sont actuellement pas adaptés pour effectuer des mesures réglementaires et observer des tendances sur le long terme. L'utilisation de capteurs low-cost peut cependant être utile pour suivre des évolutions de polluants à court terme (par exemple sur les chantiers) ou des mesures à caractère purement qualitatif^{2,3}.

7. Littérature

¹ CEN/TS 17660-1: Technical Specification (2021), Air quality - Performance evaluation of air quality sensor systems - Part 1: Gaseous pollutants in ambient air

² EPA, 2022: The Enhanced Air Sensor Guidebook (EPA/600/R-22/213)

³ Umweltbundesamt (UBA), 2023: Sensoren zur Messung von Luftschadstoffen: Möglichkeiten und Grenzen sowie Hinweise zu deren Einsatz (Texte 77/2023)

⁴ WMO, 2020: [An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition](#).

⁵ Kim, H., Müller, M., Henne, S., Hüglin, C., 2022: Long-term behavior and stability of calibration models for NO and NO₂ low-cost sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(9), 2979-2992. <https://doi.org/10.5194/amt-15-2979-2022>

⁶ Bigi, A., Müller, M., Grange, S. K., Ghermandi, G., Hüglin, C. (2018). Performance of NO, NO₂ low cost sensors and three calibration approaches within a real world application. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 3717-3735. <https://doi.org/10.5194/amt-11-3717-2018>

⁷ OSTLUFT 2021: [Statuspapier Luftqualitätsüberwachung mittels low-cost-Sensoren](#)

⁸ BAFU, 2021: Immissionsmessung von Luftfremdstoffen. Messempfehlungen. Stand 2021. 2. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 1990. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2104

⁹ Lufthygieneamt beider Basel: Messung von PM2.5 mittels Low-Cost-Sensoren als Teil der Luftqualitäts-Überwachung während der Transformation des Chemie-Areals Rosental, Basel. Siehe Link: <https://data.bs.ch/pages/rosental-dashboard/> (Stand 28.05.2024)

¹⁰ Lufthygieneamt beider Basel: Feinstaubmessungen mit Mikrosensoren im Rahmen des Interreg 5-Projekts «Atmo-VISION». Link: https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutz-direktion/lufthygiene/lufthygiene/luftqualitat/atmovision-projekte/downloads-1/2020-06-05-abschlussbericht-probanden.pdf/@@download/file/2020-06-05_Abschlussbericht_Probanden.pdf (Stand 05.07.2024)