DEVELOPPEMENT DES CAPTEURS OEM NEXT-SENSOR DÉDIÉS A LA SURVEILLANCE EN TEMPS RÉEL DE PARTICULES

A. DUMAS*[1], L. DEBARD[1] et L. ALLOUL-MARMOR[2]

[1]TERA Sensor, 13790 Rousset, France
[2]Consultante indépendante, 75012 Paris, France
*Courriel de l'orateur : antoine.dumas@groupe-tera.com

TITLE

Development of OEM Next Sensor dedicated to real-time particle monitoring

RESUME

La société TERA Sensor a développé une gamme de capteurs à bas coût, les NextSensor (NextPM, NextOPC, NextPM Lt) à des fins de surveillance de la qualité de l'air (air extérieur et intérieur, salles propres et environnements maîtrisés…). Basés sur le principe de la diffusion de la lumière, ces capteurs se distinguent par leur technologie innovante associée à trois brevets, leurs performances et leurs dimensions. Cette présentation vise à décrire la technologie de ces capteurs et présenter différents résultats d'intercomparaison avec des appareils de référence en vue du développer de nouvelles technologies sur mesure.

ABSTRACT

TERA Sensor has developed a range of low-cost sensors, the NextSensor (NextPM, NextOPC, NextPM Lt) for air quality monitoring (outdoor and indoor air, cleanrooms and controlled environments, etc.). Based on the principle of light scattering, these sensors are distinguished by their innovative technology associated with three patents, their performance and their dimensions. This presentation aims to describe the technology of these sensors and present different intercomparison results with reference devices in order to develop new tailor-made technologies.

MOTS-CLÉS : micro-capteurs, qualité de l'air, précision, particules fines, surveillance / **KEYWORDS:** micro-sensors, air quality, accuracy, particulate matter, monitoring

1. INTRODUCTION

Fort de l'expertise de 20 ans de TERA Environnement dans la mesure et l'analyse de la qualité de l'air tant dans l'environnement extérieur que dans les milieux industriels de haute technologie nécessitant des salles propres, TERA Sensor a cherché à développer des capteurs afin de répondre aux performances attendues de ces différents secteurs d'activité.

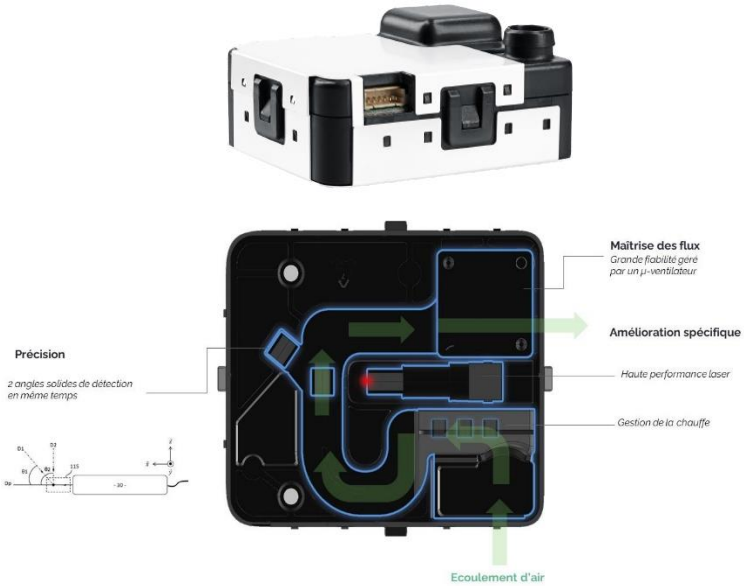
Inspirés de projets d'expérimentation et d'innovation autour de capteurs de la qualité de l'air miniaturisés, un premier capteur pour les mesures d'air extérieur et dans les bâtiments a été développé. Puis en partenariat avec l'équipementier automobile VALEO dont la volonté était de disposer d'un capteur qu'il maîtrise, TERA Sensor a développé le NextPM (pour Particulate Matter) basé sur la technologie de diffusion de la lumière (compteur optique de particules). Destiné à mesurer les particules fines de tailles PM10, PM2,5 et PM1, ce dispositif a fait l'objet de trois dépôts de brevet liés à son design, son aéraulique et sa précision. Il a ensuite été optimisé pour faire du comptage de particules de tailles submicroniques afin de répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs de salles propres : le NextOPC (pour Optical Particle Counter).

Cette gamme de capteurs se distingue par leurs performances et leurs spécificités techniques innovantes.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-28457 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

2. TECHNOLOGIE ET PERFORMANCES

Basés sur la méthode de diffusion de la lumière, les capteurs OEM (Original Equipment Manufacture) de la gamme NextSensor se présentent sous la forme d'un boîtier de 6,2 x 5,2 cm comme montré sur la Figure 1. Ses principales caractéristiques sont présentées ci-après :



Désignation	NextPM	NextOPC
Mesure en	µg/m3 & pcs/L	part/m3
Canaux		5
Tailles	PM1 PM2.5 PM10	≥ 0,3 µm ≥ 0,5 µm ≥ 1 µm ≥ 2,5 µm ≥ 5 µm
Débit	2,5 l/min	2,5 l/min
Température	-20 à 70 °C	-20 à 70 °C
Humidité relative	0 à 100 %	0 à 100 %
Mesure en continu	> 10 000 h	> 10 000 h
Fréquence de mesure	sec	sec
Dimensions	L 62*l 52*H 23 mm	L 62*l 52*H 23 mm
Entrée d'air	par ventilateur	par ventilateur

Figure 1. Photographie et schéma en coupe de la gamme de capteurs Next Sensor (NextPM et NextOPC) mettant en avant les 3 brevets obtenus, et spécifications techniques (NextPM Data Sheet,2020 et NextOPC Data Sheet, 2021)

On distingue principalement :

- Une conception et une réalisation technique portées par trois brevets (2017) obtenus sur NextPM concernant :
  - *Sa mécanique* avec un design ergonomique, une filtration aéraulique en entrée et un positionnement des éléments optiques optimal
  - *Son aéraulique* avec un débit d'air contrôlé, un flux d'air séché et une mesure de la température et de l'hygrométrie
  - *Sa précision* avec 2 angles de détection simultanés, un traitement de signal permettant de connaître la composition des particules et un algorithme de conversion nombre/masse
- Sa petite taille et son poids de 45 g permettant une intégration dans tout système (station de mesure, boîtier pour mesure en salle propre, centrale de traitement d'air…) proposé par un industriel intégrateur
- L'obtention de mesures en temps réel de la concentration de particules dans l'air pour des tailles de particules comprises entre 0,3 et 10 µm
- La possibilité de réaliser plus de 10 000 heures de mesures en continu (soit 416 j) en fonctionnement normal, sans encrassement, même en cas de forte concentration.

Les performances de ces capteurs NextSensor sont évaluées en interne sur un banc d'étalonnage selon un protocole dédié. Développé dans un premier temps pour les capteurs NextPM, ce banc a fait ensuite l'objet d'évolution spécifique pour les capteurs NextOPC (NPMCR_VM_200904_V22, 2021). Il permet ainsi à TERA Sensor de répondre au mieux aux exigences des normes dédiées aux salles propres et environnements maîtrisés (normes ISO 14644-1 et 2, 2016) et aux méthodes de test pratiquées dans ce domaine (norme ISO 21501-4, 2018).

3. RESULTATS D'INTERCOMPARAISON AVEC DES APPAREILS DE REFERENCE

AtmoSud en partenariat avec le Laboratoire Chimie Environnement (Aix-Marseille Université) a mis en place des essais avec les capteurs NextPM afin de s'assurer de leurs performances (Wortham *et al*, 2021). Ces essais ont été effectués dans une station de mesure de la qualité de l'air extérieur à Marseille, représentative du niveau moyen d'air respiré par ses habitants (cf Figure 2).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-28457 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

Figure 2. Photo de l'installation avec les NextPM et d'autres appareils de mesure (Wortham *et al*, 2021)

Dans un premier temps, les équipes ont cherché à comparer les résultats entre trois NextPM afin de vérifier la reproductibilité entre capteurs. Les corrélations obtenues à partir des résultats expérimentaux montrent que les NextPM ont une très bonne reproductibilité d'un capteur à l'autre, avec un coefficient de correlation $R^2 > 99$.

L'un des NextPM a été également comparé à un instrument de référence certifié sur site, sur une durée de deux semaines. Les moyennes horaires et moyennes quotidiennes des trois fractions de PM obtenues (PM1, PM2.5, PM10) ont été mesurées. Seuls, les résultats pour les PM2.5 sont présentés sur la Figure 3 :

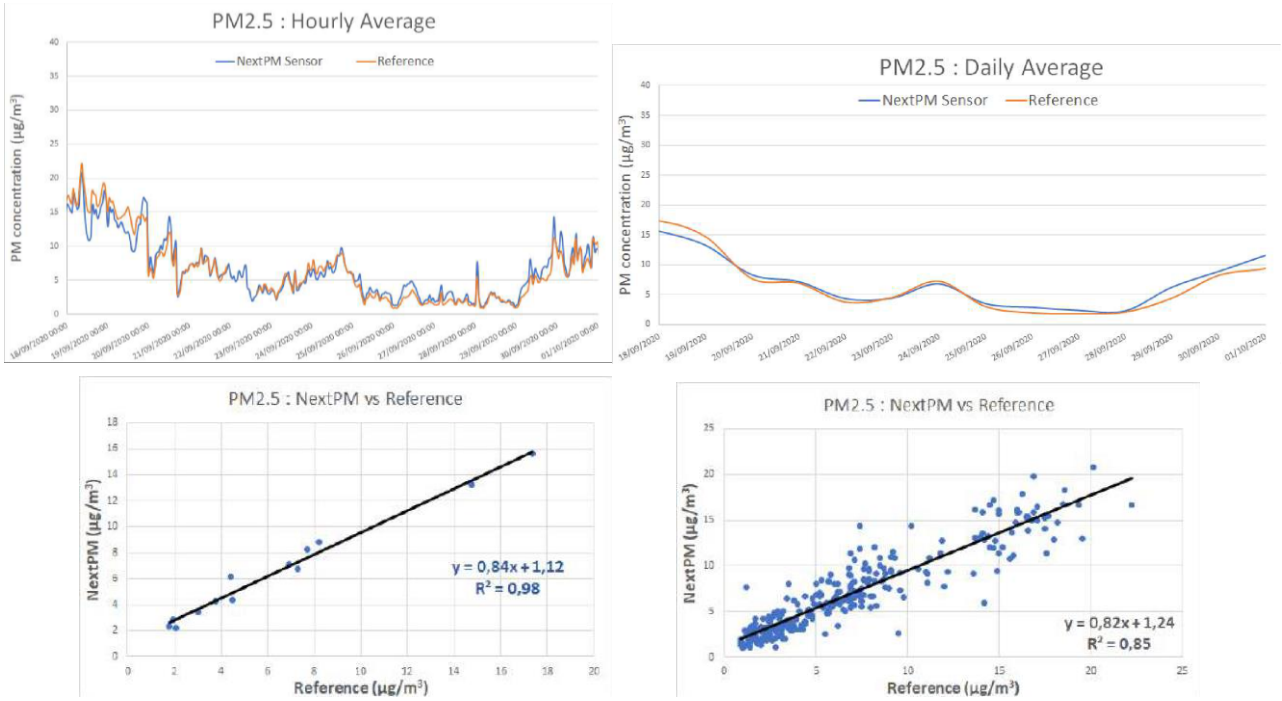


Figure 3 – Evolution de la concentration des PM2.5 en moyenne horaire (à gauche) et moyenne journalière (à droite) sur 2 semaines pour un NextPM (en bleu) et un appareil de référence (en orange) - Corrélations associées en dessous

Pour les PM2.5, on observe des concentrations en moyenne horaire très semblables entre le NextPM et l'appareil de référence, avec une corrélation présentant un R^2=98 (sur les 3 fractions, $R^2 > 95$), ce qui présage de mesures pratiquement aussi fiables qu'avec un instrument de référence, et ceci à moindre coût.
Les concentrations en moyenne journalière entre le NextPM et l'appareil de référence donnent un coefficient de corrélation R^2=0,85 pour PM2.5 (de 0,85 aussi pour PM1, et de 0,7 pour PM10). Celui-ci, même plus faible, reste très satisfaisant et montre que le NextPM peut également donner une valeur en temps réel proche d'une méthode gravimétrique. La pente moyenne autour de 0,8 montre que NextPM sous-estime légèrement la concentration de PM.

Dans la même démarche, des essais comparatifs entre le NextOPC et des compteurs de référence conformes à l'ISO14644 tels que le LightHouse de débit 2,8 l/min, ont été réalisés par des intégrateurs. Ces essais ont mis en évidence une bonne corrélation générale de ces capteurs avec le compteur de référence utilisé, en particulier pour les concentrations inférieures à 10^7 part/m^3, ce qui est bien au-delà des concentrations particulaires admissibles à ces tailles pour les classes de propreté visées (Alloul-Marmor, 2021).

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-28457 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La technologie avancée de ces capteurs, leur petite dimension, leur performance sur banc d'étalonnage et résultats d'intercomparaison obtenus avec des appareils de mesure de référence, rendent les capteurs de la gamme NextSensor très intéressants d'un point de vue technique. Associés à leur fabrication *made in France* selon une stratégie *fabless* qui permet une maîtrise des coûts de production, ils sont aussi très compétitifs financièrement.

Si déjà depuis 2019, des industriels intègrent dans leurs stations connectées des capteurs NextPM pour la mesure des PM1, PM2.5 et PM10 en air intérieur et extérieur, de nouvelles solutions de mesurage particulaire pour salles propres, dédiées à leur surveillance, ont vu le jour récemment. Ces compteurs qui intégrent le capteur NextOPC montrent toutes les performances requises pour être de très bons indicateurs fiables de suivi de tendance (Alloul-Marmor, 2021).

En perspectives, TERA Sensor projette un fort potentiel de développement et d'optimisation de ses capteurs selon la demande. Par exemple : évolution des canaux de mesure, modification de l'algorithme de conversion pour prendre en compte la nature ou la morphologie des particules.... Le développement de nouvelles technologies sur mesure pourrait également voir le jour selon les performances attendues par l'environnement étudié (QAI, QAE, salles propresenvironnements spécifiques…)

1. REFERENCES

NextPM Data Sheet (2020) Next generation particulate Matter OEM Sensor PM10, PM2.5, PM1. Tera Sensor, 20/06/2020.

NextOPC Data Sheet (2021) Next generation optical particle counter OEM sensor for cleanrooms.Tera Sensor, 27/04/2021

NPMCR_VM_200904_V22 (2021) NextOPC Verification Method & Performances, Version 2.3. Tera Sensor, 03/04/2021.

Brevets 22931, 22932 et 22910 (2017) Capteur pour la mesure de la concentration de particules dans l'air. 17/05/2017.

NF EN ISO 14644-1 et -2 (2016), Salles propres et environnements maîtrisés apparentés — Partie 1 : Classification de la propreté particulaire de l'air / Partie 2 : Surveillance du maintien des performances de la salle propre pour la propreté particulaire de l'air, février 2016, Afnor.

ISO 21501-4 (2018) Determination of particle size distribution – Single particle light interaction methods – Part 4 : Light scattering airborne particle counter for clean spaces, mai 2018.

Wortham H., Le Berre L., Berdouni R., Benadda C., Chikhi C., Mezzanotti M. (2021) In Field Study of NextPM Sensor, Reference : RR-20210112-01, Version : V 1.0, Last update : 2021/02/22.

Alloul-Marmor L. (2021) NextOPC, un capteur innovant à intégrer pour la surveillance des salles propres. Revue Salles propres, 130, 49-58.

DOI : 10.25576/ASFERA-CFA2022-28457 Cet article est publié sous la seule responsabilité de ses auteurs