



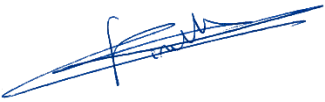
Résultats du 1^{er} Essai national d'Aptitude des micro-Capteurs (EAμC) pour la surveillance de la qualité de l'air

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

RESULTATS DU 1^{ER} ESSAI NATIONAL D’APTITUDE DES MICRO-CAPTEURS (EA_μC) POUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L’AIR

Laurent SPINELLE, Clothilde MANTELLE et Caroline MARCHAND (Ineris)
Benoît HERBIN, Sabine CRUNAIRE et Nathalie REDON (IMT Lille Douai)

Avril 2020

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Laurent SPINELLE	Caroline MARCHAND	Marc DURIF
Qualité	Ingénieur de l’Unité « Accompagnement à la SURveillance de la qualité de l’air et des eaux de surface (ASUR) » Direction des Risques Chroniques	Responsable de l’Unité « Accompagnement à la SURveillance de la qualité de l’air et des eaux de surface (ASUR) » Direction des Risques Chroniques	Responsable du Pôle « CARActérisation de l’environnement » Direction des Risques Chroniques
Visa			



LE LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de l'IMT Lille Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère chargé de l'Environnement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.

TABLE DES MATIERES

RESUME	7
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....	11
1. INTRODUCTION	13
2. DESCRIPTIF DU PROTOCOLE D'ESSAI	14
2.1 Conditions de l'essai.....	14
2.1.1 Lieu	14
2.1.2 Calendrier	15
2.1.3 Instrumentation de référence.....	15
2.1.4 Listes des dispositifs qualifiés.....	16
3. METHODOLOGIE D'EVALUATION.....	19
3.1 Traitement des données	19
3.2 Radar d'évaluation	19
3.3 Critères qualitatifs	20
3.3.1 Critère « énergie ».....	20
3.3.2 Critère « fiabilité ».....	20
3.3.3 Critère « versatilité ».....	21
3.3.4 Critère « mise en œuvre ».....	21
3.4 Critères quantitatifs	22
3.4.1 Critère « variabilité ».....	22
3.4.2 Critères « pente » et « R^2 »	22
3.4.3 Critère « MAPE »	24
3.5 Index IPI (Integrated Performance Index).....	24
4. RESULTATS	25
4.1 Résumé des conditions expérimentales	25
4.2 Résultats par système	25
4.2.1 Evaluation qualitative.....	25
4.2.2 Evaluation quantitative	26
5. CONCLUSION/PERSPECTIVES.....	30
6. LISTE DES ANNEXES.....	32
ANNEXE 1.....	33
ANNEXE 2.....	37
ANNEXE 3.....	39

RESUME

L'émergence sur le marché de micro-capteurs connectés a conduit le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air à s'intéresser à la fiabilité de ces nouveaux dispositifs. Il n'existe à l'heure actuelle aucun cadre normatif national ou européen permettant de comparer les performances de ces différents appareils commercialisés aux appareils de mesures de référence.

Le premier essai d'aptitude national sur le terrain de micro-capteurs de gaz et de particules installés en site fixe, coordonné par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), s'inscrit dans la continuité des travaux amorcés ces deux dernières années en laboratoire pour déterminer les caractéristiques de performance des micro-capteurs¹. Ces travaux ont notamment permis de comprendre les effets de différents paramètres de mesures sur les systèmes capteurs mais il est cependant difficile en laboratoire de reproduire l'ensemble des facteurs d'influences sur la mesure. C'est pourquoi, les essais sur le terrain utilisant une comparaison directe avec des mesures de référence permettent d'obtenir une meilleure représentativité de ces effets.

Cet essai, conduit de début janvier à mi-février 2018, avait pour objectif de placer en conditions réelles sur un site de typologie urbaine, un grand nombre de systèmes différents afin d'évaluer leur aptitude à suivre les principaux polluants d'intérêt pour l'air ambiant : le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃) et les particules (PM_{2,5} et PM₁₀).

Organisé par le LCSQA/IMT Lille Douai sur la station de mesure de la qualité de l'air de son Centre de Recherche, **cet essai a regroupé 16 participants qui ont mis en œuvre 44 dispositifs au total, répliques inclus. 17 systèmes étaient de conception et d'origines différentes** (France, Pays-Bas, Royaume-Uni, Espagne, Italie, Pologne, États-Unis). Les systèmes mis à disposition ont été fournis par des fabricants, des distributeurs ou des utilisateurs volontaires œuvrant dans le cadre du dispositif national de surveillance (Associations Agréées de surveillance de la qualité de l'air, AASQA, et membres du LCSQA). Les systèmes mis à disposition présentaient ainsi des historiques d'utilisation différents. Cet essai ayant été réalisé conformément aux pratiques en vigueur pour l'organisation des comparaisons inter-laboratoires ou des essais d'aptitude, chaque système testé est identifié à l'aide d'un code alphanumérique unique. Les résultats ainsi obtenus ont tout d'abord fait l'objet d'une synthèse² en 2018 se concentrant sur les données NO₂, O₃ et PM_{2,5}.

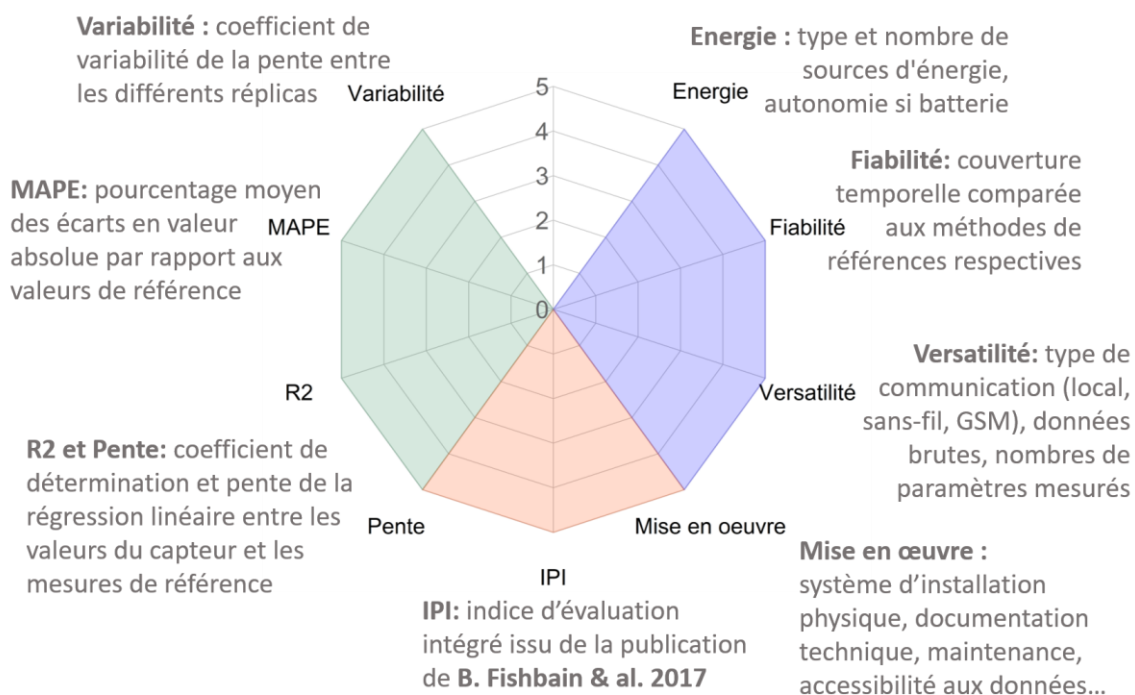
¹ N. REDON, F. DELCOURT, S. CRUNAIRE, N. LOCOGE, Protocole de détermination des caractéristiques de performance métrologique des micro-capteurs - étude comparative des performances en laboratoire de micro-capteurs de NO₂, Rapport LCSQA, mars 2017. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/mines-douai/protocole-determination-caracteristiques-performance-metrologique-micro-cap>

N. REDON, S. CRUNAIRE, B. HERBIN, E. MORELLE, F. GAIE-LEVREL, T. AMODEO, Faisabilité de la mise en œuvre d'un protocole pour l'évaluation en laboratoire de micro-capteurs pour la mesure des concentrations massiques particulières, Note technique LCSQA, juillet 2018. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/faisabilite-de-la-mise-en-oeuvre-dun-protocole-pour-levaluation-en-laboratoire-de-micro>

² S. CRUNAIRE, N. REDON et L. SPINELLE, 1er Essai national d'Aptitude des micro-Capteurs (EAμC) pour la surveillance de la qualité de l'air : synthèse des résultats, Rapport LCSQA DRC_18_174307_09689A, novembre 2018. https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/LCSQA2017-CILmicrocapteurs-synthese_resultats.pdf

Ce premier travail a ensuite été complété par l'exploitation des données PM₁ et PM₁₀ ainsi que la levée de confidentialité d'une partie des participants permettant de dresser une liste de correspondance entre code alphanumérique et participant. Ce document présente donc la méthodologie mise en œuvre avec un comparatif des notations qualitatives et les résultats pour l'ensemble des polluants étudiés. Il inclut également l'intégralité des fiches individuelles d'évaluation produites, avec l'ensemble des données chiffrées comme décrites ci-dessous.

Ainsi, les données ont été exploitées par le LCSQA/Ineris par comparaison aux mesures d'instruments de référence ou équivalents à la méthode de référence. Un volume de plus de **70 millions de données minutes a dû être traité par des méthodes élaborées spécifiquement**. Outre les performances métrologiques de ces instruments, une attention particulière a été portée à d'autres paramètres tels que la simplicité de mise en œuvre, l'autonomie, la portabilité, la fiabilité de communication (GSM, Wifi, Bluetooth, filaire, ...), la convivialité des applications de récupération des données en tenant compte de l'objectif recherché. Chaque système a fait l'objet d'une fiche d'évaluation par polluant mesuré. Cette fiche inclut un descriptif technique succinct, un tableau récapitulatif des performances métrologiques, un radar « papillon » affichant des notations de 0 à 5 pour 8 critères qualitatifs ou quantitatifs, les relevés des séries temporelles de chacun des réplicas testés comparés aux données de l'instrument pris en référence, les graphiques de corrélation, et enfin un avis général. La structure des radars d'évaluation ainsi qu'une courte description des différents paramètres est représentée ci-dessous :



En termes de polyvalence (systèmes multi-capteurs), seul **l'ECOMSMART (système C)** se démarque des autres systèmes testés durant la campagne. En effet, il présente des performances métrologiques avec les notes les plus élevées en considérant la combinaison de polluants réglementés **PM₁₀** et **NO₂**, avec les résultats suivants : MAPE inférieur à 100%, R^2 compris entre 0,5 et 0,75 pour le NO₂ et inférieur à 0,5 pour les PM₁₀. En complément pour les **PM₁** il présente des résultats du même ordre que ceux obtenus pour le NO₂. Néanmoins, ce système (C, ECOMSMART) présente des pentes de corrélation et des variabilités inter-systèmes variables selon le polluant mesuré (PM₁ : pente = 1,92 et variabilité = 31% ; PM₁₀ : pente = 1,55 et variabilité = 16% ; NO₂ : pente = 0,90 et variabilité = 41%). Il présente de surcroît de bonnes caractéristiques qualitatives avec une note de 5/5 pour la fiabilité et 4,7/5 pour sa facilité de mise en œuvre.

Le **Airmatrix (système B)**, quant à lui, a obtenu les meilleurs résultats pour **l'ensemble des 3 granulométries de particules** (PM₁, PM_{2,5} et PM₁₀) avec un MAPE inférieur à 100%, un R^2 supérieur à 0,75 et une pente de corrélation variant de 0,93 pour les PM₁₀ à 1,09 pour les PM_{2,5}. Il présente cependant des notes qualitatives faibles (<2/5) pour l'ensemble des critères, avec notamment **une couverture temporelle inférieure à 14%** de la période, due vraisemblablement à une perte récurrente de connexion Bluetooth. De plus, l'évaluation n'a pu être faite que sur un seul réplica, ne permettant pas de caractériser sa variabilité.

En ne considérant qu'un seul polluant, d'autres systèmes présentent des performances globales avec des notes de moyennes à très bonnes. En particulier, **l'Atmotrack (système I)** pour les **PM₁**, le **NPM 2 (système KA)** pour les **PM_{2,5}** et le **Watchtower 1 (système EB, version différente par rapport au système F)** et le **système MB** pour le **NO₂** présentent les meilleurs résultats avec un MAPE inférieur à 100%, un R^2 supérieur à 0,75, une pente de corrélation inférieure à 1,5 et une variabilité inter-systèmes inférieure à 9%. Seule la variabilité du système MB n'a pas pu être évaluée car un seul réplica était fonctionnel. Cependant, l'Atmotrack et le NPM 2 obtiennent des notes qualitatives plus faibles, notamment en raison de leur manque de polyvalence : notés 0,8 en énergie et respectivement 1,5 et 1,2 pour la versatilité.

Notons également qu'en plus de ses très bons résultats pour la mesure des PM₁, l'Atmotrack présente de bons résultats pour la mesure des PM_{2,5} et des PM₁₀ (MAPE < 100%, $0,5 < R^2 < 0,75$, pente de 1,51 et variabilité de 26% pour les PM_{2,5} et pente de 1,24 et variabilité de 27% pour les PM₁₀). D'autres systèmes, **l'AQMesh (système J) pour les PM_{2,5}** et **l'AQT 420 (système D) pour le NO₂**, présentent une dispersion plus importante que les systèmes précédents (respectivement $R^2 < 0,5$ et $0,5 < R^2 < 0,75$). Ils restent cependant de bons candidats potentiels en raison d'une faible variabilité inter-systèmes (<15%). Ces systèmes obtiennent quant à eux de bonnes notes qualitatives.

Enfin, même si aucun des systèmes évalués ne respecte les objectifs de qualité de données (OQD) des Directives Européennes 2008/50/CE et 2015/14/80 pour les mesures en sites fixes en NO₂, O₃ et PM₁₀ (OQD respectifs de 15%, 15% et 25%), certains pourraient prétendre satisfaire les critères des méthodes indicatives, notamment pour PM_{2,5} (OQD de 50%).

Il est important de rappeler que les systèmes micro-capteurs ont été testés en conditions fixes. Ainsi, les résultats obtenus ne peuvent pas être extrapolés à une mise en œuvre en mobilité. Par ailleurs, les radars d'évaluation construits pour cette évaluation donnent une vision de l'ensemble des critères de performance à prendre en compte qui ont un poids plus ou moins important selon l'usage auquel les micro-capteurs sont destinés.

En termes de perspectives de ces travaux et afin de compléter cette première évaluation, un second essai d'aptitude a été réalisé durant l'été 2018 afin de tenir compte d'un potentiel effet de saisonnalité, notamment dans la composition de la matrice d'air (concentrations plus élevées en O₃ et moins élevées en NO₂ et PM). Ces résultats seront disponibles courant 2020.

Néanmoins, la dépendance des conditions environnementales ne permet d'évaluer les systèmes capteurs que dans des situations très précises. Il semble donc nécessaire pour une évaluation complète des systèmes de mesures de pouvoir combiner la complexité d'une matrice réelle aux spécificités de concentrations contrôlées. Ainsi, une étude sur la faisabilité d'un dopage de matrice réelle par des mélanges gazeux et particulaires est en cours de réalisation par le LCSQA/Ineris.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Le LCSQA remercie vivement l'ensemble des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) qui ont contribué à cet essai, ainsi que les fabricants/distributeurs pour la mise à disposition de plusieurs de leurs systèmes capteurs.

- **Fabricants/Distributeurs participants :**

Participant	Référence du/des système(s) mis à disposition	Personne référente
ADDAIR http://www.addair.fr/	AQMesh (Environmental Instruments Ltd.)	Alexandre MARPILLAT a.marpillat@addair.fr
AtmoTrack by 42 Factory https://atmotrack.fr/fr/	Atmotrack	Pascal ERMEL pascal@atmotrack.fr
Cairpol - Environnement S.A http://cairpol.com/fr/	Cairnet	Brice BERTHELOT b.berthelot@environnement-sa.com
Clarity Movement https://clarity.io/	Clarity Node	Christelle ROHAUT christelle@clarity.io
ECOMESURE http://www.ecomesure.com/fr	ECOMSMART	Damien PELLETIER damien.pelletier@ecomesure.com
Envicontrol https://www.envicontrol.com/	- NPM 2 - ES-642 (Met One Instruments, Inc.)	Stéphane LOYEN s.loyen@envicontrol.com
Normandie Tech'Air https://fr-fr.facebook.com/AirmatrixFrance/	Airmatrix	Jérôme SPINELLI airmatrix.fr@gmail.com
Rubix Senses & Instrumentation https://www.rubixsi.com/fr/	Watchtower 1 (WT1)	Jean-Christophe MIFSUD jean.christophe.mifsud@rubixsi.com
Vaisala https://www.vaisala.com/fr	AQT420	Caroline CHARRON caroline.charron@vaisala.com

- **AASQA participantes :**

Participant	Référence du/des système(s) mis à disposition	Personne référente
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/	- OPC-N2 (Alphasense) - GreenBee (Azimut Monitoring)	Nicolas DALLEAU ndalleau@atmo-aura.fr
ATMO Grand Est http://www.atmo-grandest.eu/	- Waspnote Plug & Sense!/Smart Environment PRO (Libelium) - Watchtower 1 (Rubix Senses & Instrumentation) - AQT420 (Vaisala)	Damien DURANT damien.durant@atmo-grandest.eu
Atmo Hauts-de-France http://www.atmo-hdf.fr/	Cairnet (Cairpol - Environnement S.A)	Bruno DECHERF b.decherf@atmo-hdf.fr
Atmo Normandie http://www.atmonormandie.fr/	AirSensEUR	Benoît WASTINE benoit.wastine@atmonormandie.fr
Qualitair Corse http://www.qualitaircorse.org/	Airmatrix (Normandie Tech'Air)	Guillaume GRIGNION g.grignion@qualitaircorse.org

- **Membres du LCSQA :**

Participant	Référence du/des système(s) mis à disposition	Personne référente
IMT Lille Douai http://sage.imt-lille-douai.fr/	- OPC-N2 (Alphasense) - Series 500 - Portable Ozone Monitor (Aeroqual) - Cairclip (Cairpol - Environnement S.A) - Airbeam (AirCasting)	Nathalie REDON nathalie.redon@imt-lille-douai.fr
Ineris https://www.ineris.fr/fr	AirSensEUR	Clothilde MANTELLE clothilde.mantelle@ineris.fr

1. INTRODUCTION

Afin d'évaluer la fiabilité des capteurs de gaz et de particules, le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), a organisé le premier Essai national d'Aptitude de systèmes micro-capteurs (EA μ C). Celui-ci était ouvert aux fabricants/distributeurs volontaires ainsi qu'aux AASQA et aux membres du LCSQA souhaitant mettre à disposition leurs propres systèmes afin d'élargir au maximum le panel des dispositifs testés. En effet, l'objectif de cet essai était de rassembler un maximum de systèmes aboutis, mono ou multi-polluants, destinés à la mesure des PM_{2,5}, des PM₁₀, de l'ozone et du dioxyde d'azote. Par « systèmes aboutis », on entend tout dispositif commercialisé disposant d'une référence en tant que modèle dans un catalogue avec un prix de vente associé ou de systèmes dits « Do it Yourself » (DiY) disposant d'une liste d'éléments sensibles, de plan pour le système d'acquisition des données (schéma électronique par exemple) et d'une notice de montage. Ces systèmes ont été mis en œuvre simultanément sur un même site (station de typologie urbaine) durant une période significative de 6 semaines de début janvier à mi-février 2018.

En termes d'évaluation, cette étude a pour objectifs :

- de comparer, polluant par polluant, les mesures des systèmes micro-capteurs aux mesures des méthodes de référence ou équivalentes ;
- d'évaluer la reproductibilité de systèmes identiques (jusqu'à 4) ;

Les systèmes micro-capteurs ont été testés en conditions fixes. Les résultats obtenus par rapport aux méthodes de référence ne peuvent en aucun cas être extrapolés à une mise en œuvre en mobilité pour laquelle il convient d'évaluer par ailleurs la capacité des systèmes à suivre les changements d'environnement, l'effet de la vitesse, les questions d'isocinétisme au point prélèvement, etc.

2. DESCRIPTIF DU PROTOCOLE D'ESSAI

2.1 Conditions de l'essai

2.1.1 Lieu

L'essai a eu lieu à la station de mesure de le LCSQA/IMT Lille Douai, sur son site de Dornignies, et dont les caractéristiques sont les suivantes :

- coordonnées GPS : 50.384419, 3.085736 ;
- typologie : urbaine avec route à proximité ;
- surface du shelter : 6m x 2,5m

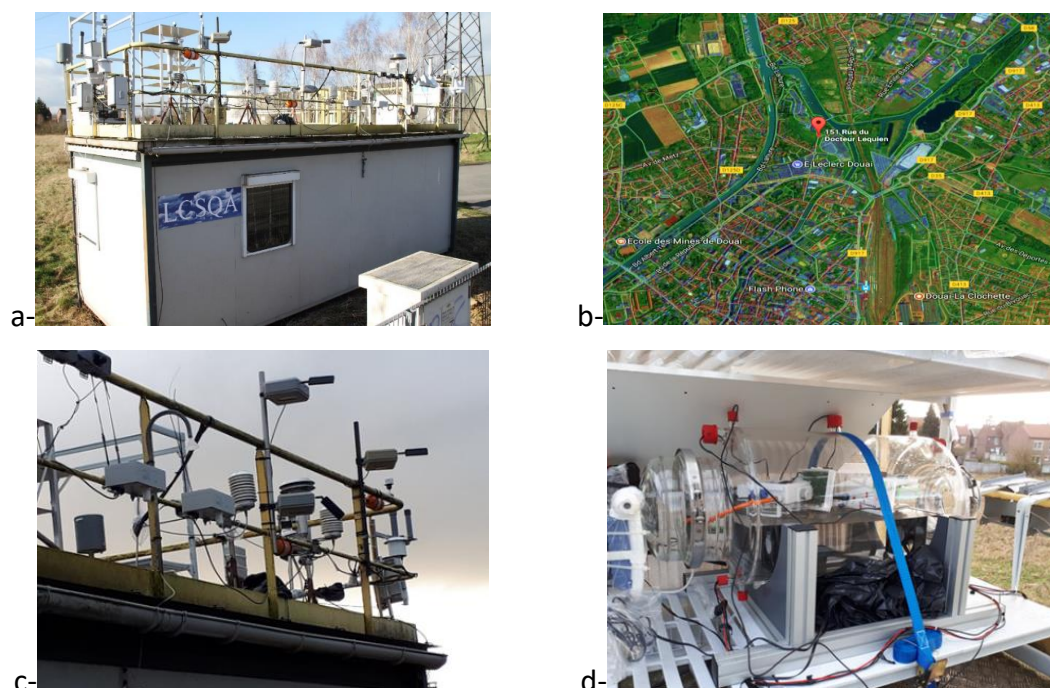


Figure 1 – Station urbaine site de Dornignies IMT Lille Douai. a-shelter avec vue de la plate-forme extérieure, b-positionnement géographique, c-installation des capteurs sur le pourtour de la plateforme, d-chambre d'exposition permettant l'accueil des capteurs non-adaptés en l'état aux conditions extérieures

La station, présentée sur la Figure 1, est de typologie urbaine. Située près d'une rue passante (rue du Dr Lequien à Douai), elle peut subir également une influence de type trafic. Les capteurs ont été placés sur le pourtour de la plateforme supérieure du shelter, à l'exception des systèmes non destinés initialement à un usage extérieur. Ces derniers ont été mis à l'abri dans une chambre d'exposition en verre de 50L, elle-même placée à l'extérieur sur le toit du shelter. Le balayage à l'intérieur de la chambre par l'air extérieur est assuré par une pompe permettant un débit constant de 13L/min.

2.1.2 Calendrier

L'EAμC a eu lieu du 12 janvier au 22 février 2018. Les données de référence des deux premières semaines de mesure ont été fournies postérieurement à l'essai aux participants pour application de corrections éventuelles à leurs données brutes. Cependant, les résultats présentés ici ne portent que sur les mesures effectuées sans application de ces éventuelles corrections.

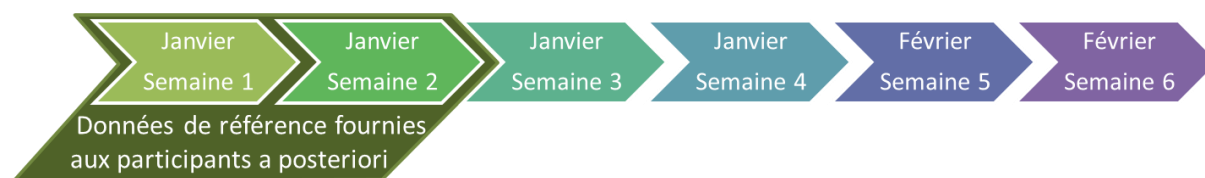


Figure 2 – Calendrier de l'EAμC n°1

2.1.3 Instrumentation de référence

Les instruments de référence installés dans la station climatisée de Dorignies durant l'EAμC sont listés ci-après.

Tableau 1 – Instrumentation de référence de l'EAμC n°1

Polluant	Matériel de référence ou équivalent	Résolution temporelle
Ozone	O342e (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO ₂	AS32M (Environnement SA)	minute + ¼ horaire
NO/NO _x /NO ₂	T200UP (Teledyne API)	minute + ¼ horaire
PM _{2,5}	BAM 1020 (Met One Instruments, Inc. - massique)	horaire
PM ₁₀	TEOM 1405-F (Thermo Scientific - massique)	horaire
PM ₁₀ et PM _{2,5}	FIDAS 200 S (PALAS - massique) FIDAS 200 S (PALAS - comptage et répartition granulométrique)	minute minute

Pour l'analyse des résultats présentés dans ce document, seules les données NO₂ issues de l'AS32M de chez Environnement SA ont été conservées. Pour faciliter le traitement des données, le pas de temps des instruments de référence a été uniformisé en données horaires. Concernant les capteurs, quel que soit leur pas de temps (de quelques secondes à une heure), il a été choisi de calculer la moyenne des mesures de l'heure précédente pour les comparer aux données de référence.

2.1.4 Listes des dispositifs qualifiés

Au final, 17 systèmes différents ont été testés, dont 9 capteurs mono-espèces et 8 systèmes multi-capteurs aptes à mesurer simultanément plusieurs espèces polluantes.

La Figure 3 présente les systèmes mono-capteurs testés durant l'essai. 7 de ces systèmes sont spécifiquement dédiés à la mesure des particules et sont tous basés sur la détection optique de la lumière (issue d'une LED ou d'une diode laser) diffusée par les particules, tandis que 3 systèmes sont dédiés à la mesure d'espèces gazeuses (NO₂ ou O₃) par cellules électrochimiques.

Micro-capteurs	
PM	Airmatrix (Normandie Tech'Air)
	Airbeam (AirCasting)
	OPC-N2 (Alphasense)
	Clarity Node (Clarity Movement)
	NPM 2 (Met One Instruments Inc.)
	ES-642 (Met One Instruments Inc.)
	Atmotrack (AtmoTrack by 42 Factory)
NO ₂	Cairclip (Cairpol-Environnement SA)
O ₃	Serie 500 Monitor (Aeroqual)



Figure 3 – Liste des capteurs mono-espèces présents sur l'EAμC n°1

Sans doute en raison d'une étanchéité défectueuse, le module d'acquisition électronique du système Aeroqual a dysfonctionné dès la première semaine de l'essai. De fait, ses résultats ont été écartés du bilan final.

La Figure 4 présente les 8 systèmes multi-capteurs testés durant l'essai. On note que sur les 17 systèmes qualifiés, ce sont les particules qui sont majoritairement ciblées avec notamment 13 systèmes annonçant la mesure des PM_{2,5}. C'est l'ozone qui est le moins représenté avec seulement 6 systèmes capables de le mesurer. Enfin 10 systèmes proposent la mesure du NO₂ (cf. Figure 5).

Mini-stations multi-capteurs		
Commercialisés	ECOMSMART (ECOMESURE)	O_3 , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$ et PM_1
	AQT420 (Vaisala)	SO_2 , CO , O_3 , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$
	Watchtower 1 (Rubix Senses & Instrumentation)	NO , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1
	Cairnet (Cairpol-Environnement SA)	NO_2 , O_3/NO_2 , PM_{10} et $PM_{2,5}$
	AQMesh (Environmental Instruments Ltd)	NO , NO_2 , O_3 , SO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1
	GreenBee (Azimut Monitoring)	O_3 , NO_2 , PM_{10} , $PM_{2,5}$ et PM_1
Do it yourself/ Opensource	Waspote Plug & Sense!/Smart Environnement PRO (Libelium)	NO , $NO_2(x3)$, PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1
	AirSensEUR	NO_2 , CO , O_3 , NO



Figure 4 – Liste des capteurs multi-espèces présents sur l'EAμC n°1

Sur ces 17 systèmes, plus de 77% renvoient leurs données par des technologies sans fil, dont plus de la moitié par GSM (cf. Figure 5). En fonction du mode de communication, plusieurs problèmes ont été rencontrés durant l'EAμC n°1 : pour la communication par Bluetooth, Wifi ou en USB, il y a eu beaucoup de pertes de données en raison de problème d'émission/réception ou encore parce que les logiciels d'acquisition subissaient régulièrement des interruptions anormales (i.e. plantage informatique). Pour la communication par GSM, il est apparu des périodes entières de données manquantes, souvent en raison de pannes des serveurs hôtes.

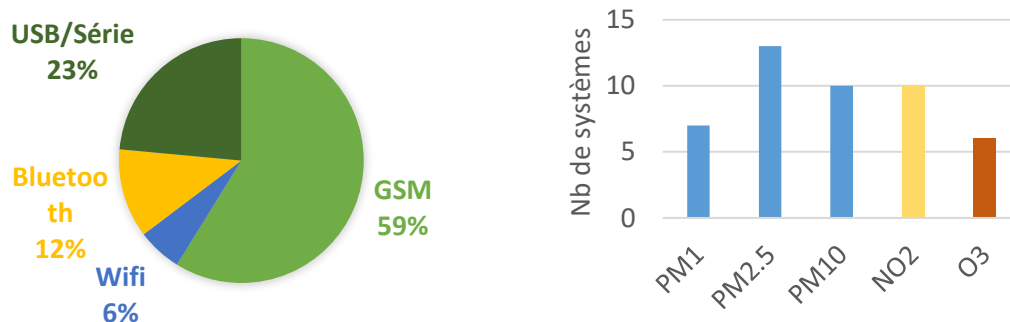


Figure 5 – Répartition des modes de communication et des espèces mesurées des systèmes testés

Les essais ont été d'abord réalisés sous couvert d'anonymat. Cependant, à la fin de cette campagne, l'accord de levée de confidentialité a été demandé à chaque participant. Les participants n'ayant pas souhaité lever leur anonymat restent cependant libres de dévoiler ou non le code alphanumérique correspondant aux systèmes qu'ils ont mis à disposition pour la campagne.

Le Tableau 2 ci-dessous regroupe la liste des différents systèmes, leur code alphanumérique associé allant de AA à O et le nombre de répliques présent durant la campagne pour chaque système. Il peut arriver qu'un même système, fournis par deux participants différents, bénéficie de deux codes différents. En fonction de sa provenance., le système pourra avoir eu un historique différent, de neuf à très usité, ce qui justifie la différenciation d'identification Ainsi 23 codes alphanumériques ont été définis pour 17 références différentes de systèmes. Dans le chapitre « 4-Résultats », les systèmes restent cependant identifiés par leur code alphanumérique.

Tableau 2 – Liste des codes alphanumériques référençant les systèmes ayant participé à l'EAμC n°1

Participant	Référence du système	Code alphanumérique	Nombre de répliques
IMT Lille Douai	Airbeam (AirCasting)	AA	2
	Cairclip (Cairpol - Environnement SA)	AB	3
	OPC-N2 (Alphasense)	AC	1
	Series 500 - Portable Ozone Monitor (Aeroqual)	AD	1
Normandie Tech'Air	Airmatrix	B	2
ECOMESURE	ECOMSMART	C	3
Vaisala	AQT420	D	3
ATMO Grand Est	Waspmote Plug & Sense!/Smart Environment PRO (Libelium)	EA	1
	Watchtower 1 (Rubix Senses & Instrumentation)	EB	1
	AQT420 (Vaisala)	EC	2
Rubix Senses & Instrumentation	Watchtower 1	F	1
/	/	G	3
/	/	HA	2
/	/	HB	1
AtmoTrack by 42 Factory	Atmotrack	I	3
ADDAIR	AQMesh (Environmental Instruments Ltd.)	J	3
Envicontrol	NPM 2 (Met One Instruments, Inc.)	KA	2
	ES-642 (Met One Instruments, Inc.)	KB	1
Atmo Normandie	AirSenseEUR	L	1
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	OPC-N2 (Alphasense)	MA	2
/	/	MB	2
Ineris	AirSenseEUR	N	1
Atmo Hauts-de-France	ePM (EcologicSense)	O	4

3. METHODOLOGIE D'EVALUATION

3.1 Traitement des données

Sur l'ensemble des 6 semaines de campagne, plus de 70 millions de données capteurs ont été enregistrées, avec des pas de temps très variables, mais toujours de l'ordre de la seconde à la minute. Cette quantité colossale de données rend la phase de traitement complexe et lourde à gérer. Par conséquent, pour faciliter le traitement, comme indiqué dans le §2.1.3, les pas de temps des capteurs ont été uniformisés pour être calés sur les pas de temps des instruments de référence. Quel que soit le « tempo initial » du système considéré (de quelques secondes à quelques minutes), il a été choisi de calculer la moyenne des mesures de l'heure précédente pour la comparer aux données de référence. Cela a permis de réduire la dimension de la base de données à « seulement » 290000 données horaires au total.

3.2 Radar d'évaluation

Les systèmes ont tous été notés selon 4 critères qualitatifs (représentés en mauve sur le radar « papillon » de la Figure 6) et 4 critères quantitatifs (représentés en vert sur le radar « papillon » de la Figure 6), dont les descriptions sont données ci-après. Au final, on obtient, système par système et polluant par polluant un radar d'évaluation dont la représentation est donnée Figure 6.

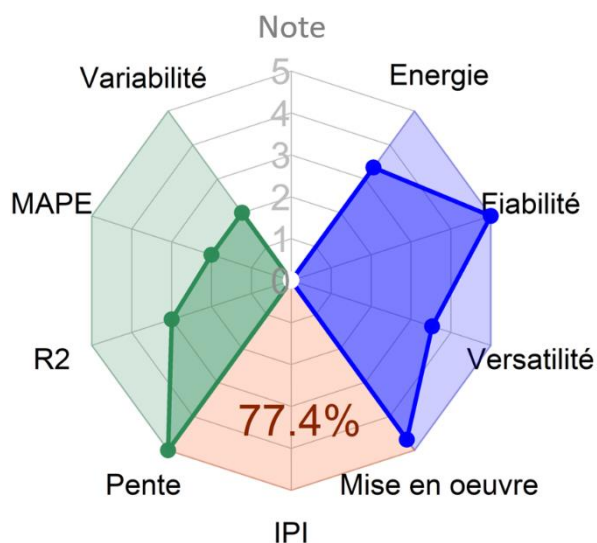


Figure 6 – Radar d'évaluation d'un système « capteurs » pour un polluant donné

Un système idéal, serait ainsi représenté par un radar « papillon » avec des « ailes » totalement déployées et avec une note maximale de 5 pour chacun des critères qualitatif et quantitatif, ainsi qu'une note de 100% au niveau de l'indice IPI (Integrated Performance Index, représenté en orange sur le radar « papillon » de la Figure 7).

3.3 Critères qualitatifs

Les critères qualitatifs, au nombre de 4, sont propres à un système, quel que soit le polluant mesuré, et en tenant compte de l'ensemble des options offertes par la version commercialement disponible. Ainsi, les paramètres « énergie », « fiabilité », « versatilité » et « mise en œuvre » ont été évalués.

3.3.1 Critère « énergie »

Il se décompose en trois volets :

- le nombre de sources d'énergie possibles pour alimenter le système : secteur, batterie ou les deux → 1 point attribué par type de source disponible, max 2 points ;
- dans le cas d'une alimentation par batterie, la possibilité d'un apport d'énergie renouvelable (ex. : panneaux solaires, éolien, etc.) pour la recharge en ligne de la batterie a été prise en compte → 1 point si oui ;
- autonomie annoncée par le constructeur :
 - non-connue ou <1 jour → 1 point
 - de 1 jour à 1 mois → 2 points
 - >1 mois → 3 points

$$note\ finale = \frac{Somme\ des\ points\ du\ système}{Total\ max\ possible\ (6)} \times 5$$

3.3.2 Critère « fiabilité »

Il correspond au taux de recouvrement des données « p » lors de la période d'essai.

$$p(\%) = \frac{nb\ de\ données\ capteur}{nb\ total\ de\ données\ durant\ la\ campagne} * 100$$

Période minimale de couverture mesure indicative Directive européenne 2008/50/CE	p ≤ 14%	1 point
Peu de données, représentativité de la dynamique faible	14% < p ≤ 45%	2 points
Pertes raisonnables Représentativité acceptable	45% < p ≤ 75%	3 points
Couverture dynamique équivalente site fixe Directive européenne 2008/50/CE – situation hivernale	75% < p ≤ 90%	4 points
Couverture dynamique équivalente site fixe Directive européenne 2008/50/CE	p > 90%	5 points

3.3.3 Critère « versatilité »

Ce critère rend compte de l'adaptabilité du système à toute sorte de contraintes extérieures autres que celles liées directement à la mesure du polluant ciblé.

Ce critère se décompose selon quatre volets :

- le nombre de types de communication des données possibles : locale, filaire (câble propriétaire, USB, Ethernet), sans fil local (Wifi, Bluetooth, ZigBee, LoRa), sans fil GSM → 1 point par type, max 5 points ;
- le type de visualisation, remontée et stockage des données (local, carte SD, logiciel tiers, serveur, API) → 1 point par type, max 4 points ;
- la nature et l'accès aux données brutes, traitées, étalonnées ou vérifiées, ajustables → 1 point par type, max 4 points ;
- le nombre de paramètres mesurés (autres polluants, localisation GPS, température, humidité relative, etc.) → 1 à 4 points.

La note attribuée au système correspond à :

$$note\ finale = \frac{Somme\ des\ points\ du\ système}{Total\ max\ possible\ (17)} \times 5$$

3.3.4 Critère « mise en œuvre »

Ce critère se décompose en 5 volets :

- l'installation physique du système : éléments de fixation et facilité de mise en place, étanchéité, tenue à la rouille, ... → 0 à 2 points ;
- la documentation associée au système : présence ou non d'une documentation technique (version papier/téléchargeable), manuel d'utilisation, fiche d'évaluation des performances, diagnostics préalables, QA/QC → 0 à 1 point ;
- la facilité de maintenance du système et la possibilité de contrôle de son bon fonctionnement sur site et/ou à distance → 0 à 1 point ;
- l'installation électrique : alimentation fournie ou non, compatibilité avec la prise secteur, longueur de câble, ... → 0 à 2 points ;
- l'accessibilité de la donnée (dématérialisée ou non), si locale, par câble ou action de démontage nécessaire, nécessité d'un logiciel tiers, etc. → 0 à 2 points

La note attribuée au système correspond à :

$$note\ finale = \frac{Somme\ des\ points\ du\ système}{Total\ max\ possible\ (8)} \times 5$$

3.4 Critères quantitatifs

Contrairement aux critères qualitatifs, les critères quantitatifs sont propres au couple {système/polluant mesuré}. Ils sont constitués de 4 paramètres, « variabilité », « pente », « R² », « MAPE » (Mean Absolute Percentage Error), calculés d'une part à partir de la régression linéaire déterminée sur les courbes de corrélation entre les mesures capteurs et les mesures de référence, d'autre part en comparant les différents réplicas d'un même système entre eux. Le détail de la note attribuée à chaque critère est donné ci-après.

3.4.1 Critère « variabilité »

La variabilité témoigne de l'écart de reproductibilité entre différents réplicas d'un même système. Elle est calculée à partir des valeurs de pente (cf §3.4.2 ci-dessous) en utilisant la formule suivante :

$$variabilité = \left| \frac{\text{écart} - \text{type}}{\text{moyenne}} \times 100 \right|$$

La note attribuée dépend du pourcentage ainsi calculé :

Variabilité inter-systèmes					
>75%	<75%	<50%	<25%	<10%	<5%
0	1	2	3	4	5

3.4.2 Critères « pente » et « R² »

Le graphique des concentrations mesurées par les capteurs en fonction des concentrations mesurées par les instruments de référence permet de tracer la courbe de corrélation³. Un exemple est donné Figure 7 pour les mesures d'ozone du système J.

³ Copyright 2018 EUROPEAN UNION Licensed under the EUPL, Version 1.2 or subsequent versions of the EUPL (the "License"); You may not use this work except in compliance with the License. A copy of the License is given here after. Unless required by applicable law or agreed to in writing, software distributed under the License is distributed on an "AS IS" basis, WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied. See the License for the specific language governing permissions and limitations under the License <https://eupl.eu/1.2/en/>. Authors: Michel Gerboles, michel.gerboles@ec.europa.eu; Laurent Spinelle, laurent.spinelle@ineris.fr; Alexander Kotsev, alexander.kotsev@ec.europa.eu; Federico Karagulian, federico.karagulian@ec.europa.eu; Marco Signorini, marco.signorini@liberaintentio.com.

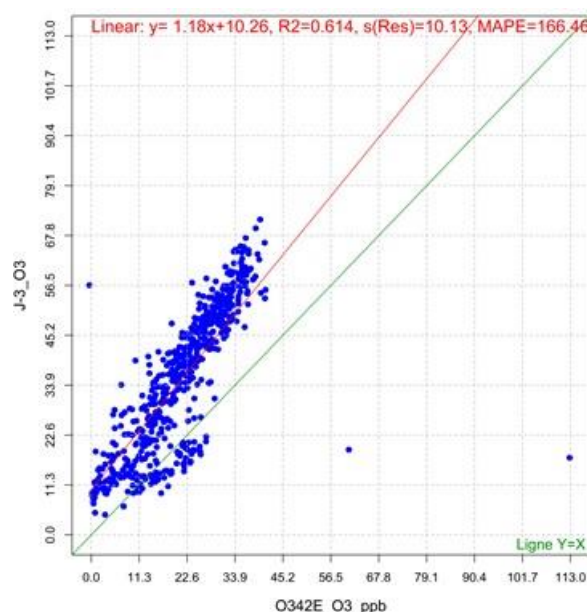


Figure 7 – Exemple de graphique de corrélation pour les mesures d'ozone du système J (AQMesh, ADDAIR).

Dans cet exercice, seule la régression linéaire a été retenue comme modèle commun à l'ensemble des capteurs. Ainsi, **la valeur de la pente** (Figure 7, ligne rouge) caractérise la capacité du capteur à produire des mesures justes par rapport à l'instrument de référence. Si les deux mesures sont identiques, la pente idéale sera égale à 1 (Figure 7, ligne verte). Le R^2 , appelé coefficient de détermination (Figure 7, R2) caractérise la capacité du capteur à produire des mesures fidèles au regard des mesures de référence. On appelle cette caractéristique "la dispersion des mesures" et sa valeur idéale de 1 signifie que le capteur et la méthode de référence sont parfaitement synchrones.

Ainsi, dans notre schéma de notation, plus on s'éloigne d'une pente de la valeur idéale de 1 pour R^2 et pour la pente, plus la note attribuée est basse, comme présenté dans les tableaux suivants :

Pente						
Valeur	$p > 5$ ou $p \leq 0,02$	$5 \geq p > 4$ ou $0,02 < p \leq 0,25$	$4 \geq p > 3$ ou $0,25 < p \leq 0,33$	$3 \geq p > 2$ ou $0,33 < p \leq 0,5$	$2 \geq p > 1,5$ ou $0,5 < p \leq 0,75$	$1,5 \geq p \geq 1$ ou $0,75 < p \leq 1$
Note	0	1	2	3	4	5

R^2						
Valeur	NC	$\leq 0,3$	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$	$\leq 0,9$	$> 0,9$
Note	0	1	2	3	4	5

3.4.3 Critère « MAPE »

Le critère MAPE (Mean Absolute Percentage Error) correspond à la moyenne des écarts en valeur absolue entre mesures corrigées et mesures de référence rapportées aux valeurs de référence :

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|référence_k - corrigée_k|}{référence_k} \times 100$$

Il traduit la dispersion des erreurs après application de la correction par le modèle de régression linéaire dans notre cas.

MAPE						
Valeur	>75%	<75%	<50%	<25%	<10%	<5%
Note	0	1	2	3	4	5

Cependant, ce coefficient surestime la valeur de l'erreur lorsque la valeur de référence est proche ou égale à 0, donnant une valeur de MAPE infinie. Pour éviter cela, et seulement pour les cas décrits précédemment, il a été choisi de dénombrer le nombre de données affectées et de les extraire du calcul si ce nombre est inférieur à 10%.

3.5 Index IPI (Integrated Performance Index)

Ce coefficient, issu de la publication de B. Fishbain et al.⁴ intitulée "An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units" est une combinaison de 8 paramètres :

- l'erreur moyenne quadratique (RMSE) ;
- le coefficient de détermination (R^2) ;
- les coefficients de corrélation de Kendall et de Spearman ;
- le taux de fiabilité ;
- la capacité à identifier une source (utilise des mesures de la vitesse et de la direction du vent) ;
- le taux de correspondance (correspondance entre les mesures capteurs et les mesures de référence par bloc et non individuelles) ;
- et enfin un paramètre permettant d'évaluer la capacité du capteur à mesurer la variabilité temporelle (Lower Frequencies Energy).

La valeur finale de ce coefficient est exprimée en pourcentage, 0% correspondant à un capteur peu « fiable » (sémantique de la publication) et 100% étant l'équivalent d'une méthode de référence.

⁴ Science of the Total Environment 575 (2017) 639-648

4. RESULTATS

4.1 Résumé des conditions expérimentales

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs minimales, maximales, moyennes et médianes pour chaque polluant pour cet exercice ainsi que les valeurs annuelles 2017. Ces valeurs sont représentatives des niveaux de concentration d'un site urbain à proximité trafic.

Tableau 3 – Résumé des conditions expérimentales durant l'EAμC n°1 et comparaison aux valeurs moyennes des sites urbains et trafic français

Polluants, données de référence durant l'exercice	Minimale	Maximale	Moyenne urbain/trafic		Médiane
	Essai	Essai	Essai	France, année 2017	Essai
PM ₁₀ (μg/m ³)	< LD	98	22	18/23	17
PM _{2,5} (μg/m ³)	< LD	74	15	13/11	10
O ₃ (ppb)	< LD	113	20	NC	21
NO ₂ (ppb)	2	46	13	9/20	11
T (°C)	-3	14	4		4
HR (%)	47	98	86		88

< LD : inférieur à la limite de détection de l'appareil de mesure

4.2 Résultats par système

L'ensemble des critères décrits précédemment a permis d'établir une notation pour chacun des systèmes participant à cet exercice. Les paragraphes suivants présentent une synthèse des résultats obtenus lors de l'évaluation. Les données ayant permis de calculer les différentes notations sont reprises en Annexe 1 et Annexe 2, avec respectivement un tableau reprenant les détails des critères de l'évaluation qualitative et un tableau reprenant les critères de l'évaluation quantitative. L'Annexe 3 regroupe les fiches individuelles d'évaluation détaillées par couple système/polluant. Celles-ci intègrent l'ensemble des données chiffrées, les radars d'évaluation, les séries temporelles de concentrations, les graphiques de corrélation et enfin les avantages et inconvénients à retenir pour chaque couple système/polluant.

4.2.1 Evaluation qualitative

Le tableau ci-après regroupe les notes moyennes attribuées pour chaque système. Le détail des notations est repris en Annexe 1. Un code couleur basé sur la note a été appliqué : rouge pour une note strictement inférieure à 2 et vert pour une note supérieure ou égale à 4.

Tableau 4 – Synthèse de l'évaluation qualitative

Système	Energie	Fiabilité	Versatilité	Mise en œuvre
AA	1,7	1,0	1,5	2,2
AB	2,5	4,0	1,8	3,8
AC	0,8	4,0	1,8	1,3
AD	2,5	1,0	2,4	2,8
B	1,7	1,0	1,3	1,6
C	3,3	5,0	3,5	4,7
D	0,8	3,0	2,8	3,1
EA	3,3	5,0	2,1	3,8
EB	4,2	5,0	2,9	4,4
EC	0,8	5,0	2,8	2,5
F	4,2	5,0	2,9	4,4
G	3,3	5,0	1,8	3,8
HA	4,2	3,5	2,2	4,7
HB	n/a			
I	0,8	3,0	1,5	3,1
J	5,0	4,0	3,2	4,4
KA	0,8	3,0	1,2	3,1
KB	0,8	1,0	1,8	3,1
L	3,3	3,0	3,4	3,1
MA	0,8	n/a	1,8	1,3
MB	3,3	n/a	2,1	3,8
N	3,3	1,0	3,4	3,1
O	3,3	5,0	2,5	4,7

n/a : non applicable, non disponible

Aucun système ne cumule des notes supérieures à 4 sur l'ensemble des 4 critères qualitatifs. La fiabilité est le critère présentant les meilleures notes tandis que le critère de versatilité semble le moins abouti avec des notes toutes inférieures à 3,5. Seuls les systèmes EB, F et J obtiennent des notes supérieures ou égales à 4 pour trois des quatre critères qualitatifs. A l'opposé, les systèmes AA, AC, B, KB et MA, obtiennent les notes minimales avec au moins trois notations sur quatre jugées faibles (< 2). Il est à noter que sur ces deux groupes, les systèmes EB et F proviennent du même fournisseur mais de participants différents, ainsi que les systèmes AC et MA. Les systèmes C, HA et O sont également à retenir car, même s'ils n'obtiennent que deux notes élevées sur quatre, celles-ci sont proches de la note maximum de 5.

4.2.2 Evaluation quantitative

Le Tableau 5 ci-après regroupe les valeurs de reproductibilité (pente **médiane** des courbes de corrélation des répliques et variabilité associée) pour chaque système présentant plusieurs répliques durant l'essai. L'Annexe 2 regroupe l'ensemble des critères d'évaluation métrologiques de chaque système comme décrit dans le paragraphe 3.4, ainsi que la valeur IPI obtenue à partir de la publication de Fishbain et al.

Contrairement au document de synthèse, dans le cas où plusieurs répliques d'un système étaient évalués, les valeurs présentées correspondent aux **valeurs médianes** des résultats obtenus pour chaque réplique et non pas aux valeurs moyennes.

Dans ce document, et de manière à hiérarchiser les résultats obtenus, le coefficient MAPE a été choisi comme coefficient d'élimination si sa valeur est supérieure à 100%. En effet, le MAPE caractérisant le pourcentage d'erreur restant après avoir appliqué le modèle linéaire obtenu, cela signifie que le modèle de régression n'est pas suffisant. De ce fait, il est inutile de considérer les valeurs de R^2 et de pente des droites de régression.

Dans le cas où le MAPE est inférieur à 100%, un code couleur basé sur la valeur de R^2 a été appliqué à la pente et à la variabilité : orange pour $R^2 < 0,5$, violet lorsque le R^2 est compris entre 0,5 et 0,75 et bleu pour $R^2 > 0,75$. Comme décrit dans le paragraphe 3.4.2, un faible R^2 traduit le fait que le capteur et l'instrument de référence ne sont pas synchrones. De ce fait, il est difficile de se fier aux résultats obtenus et la valeur de la pente devient donc secondaire. En revanche dans le cas d'un R^2 proche de 1, même si la valeur de la pente s'éloigne de l'idéal (trop élevée ou trop faible), le comportement du capteur est répétable dans le temps, il est donc possible de lui attribuer une fonction de correction linéaire.

Les systèmes AD et N n'apparaissent pas du tout dans ce tableau car le nombre de données étaient insuffisants pour effectuer une évaluation sur la période d'essai (dysfonctionnements). Par ailleurs, les cellules sont laissées vides lorsque le système référencé ne permet pas de mesurer le polluant de la colonne correspondante. Lorsqu'un seul réplique du système a été fourni par le participant, la pente de la corrélation est donnée, tandis que la cellule de la variabilité affiche « n/a ».

Tableau 5 – Synthèse de l'évaluation quantitative

Système	Nombre de répliques	O ₃ , ppb		NO ₂ , ppb		PM ₁ , µg.m ⁻³		PM _{2,5} , µg.m ⁻³		PM ₁₀ , µg.m ⁻³	
		Pente	Variabilité	Pente	Variabilité	Pente	Variabilité	Pente	Variabilité	Pente	Variabilité
AA	2							0,58	71%		
AB	3			MAPE>100%	MAPE>100%						
AC	1					MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%
B	2					1,03	n/a	1,09	n/a	0,93	n/a
C	3	MAPE>100%	MAPE>100%	0,90	41%	1,92	31%	MAPE>100%	MAPE>100%	1,55	16%
D	3	MAPE>100%	MAPE>100%	1,04	9%			0,01	150%	1,52	20%
EA	1			MAPE>100%	MAPE>100%	0,88	n/a	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%
EB*	1			1,47	3%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%
EC	2	MAPE>100%	MAPE>100%	1,20	6%			0,02	3%	0,57	22%
F	1	MAPE>100%	MAPE>100%	1,24	n/a	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%
G	3							MAPE>100%	MAPE>100%		
HA	2	0,14**	157**	0,21	108			0,40	31%	0,32	24%
HB	1							0,07	n/a	0,11	n/a
I	3					1,15	9%	1,51	26%	1,24	27%
J	3	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	0,45	35%	0,93	11%	1,63	18%
KA	2							1,12	2%		
KB	1							0,00	2%		
L	1	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%						
MA	2					MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%	MAPE>100%
MB	2			1,32	n/a					0,42	n/a
O	4							0,19	87%	0,27	49%

* Le système EB présente la particularité de posséder deux capteurs physiquement différents pour la mesure du NO₂, il a donc été possible de calculer une reproductibilité intra-système malgré le fait qu'un seul système participait à l'exercice.

** Le système HA ne propose pas de mesure de O₃, les valeurs correspondent à la mesure combinée O₃/NO₂.

Il est important de noter que, concernant **l’ozone et le dioxyde d’azote**, le fait que seulement 7 systèmes (1 seul pour l’ozone et 6 pour le NO₂) n’aient pas été écartés sur la base du MAPE est lié à la gamme de concentration durant l’essai. En effet, **les niveaux observés sont restés généralement faibles, inférieurs à 15ppb, gamme dans laquelle les capteurs de gaz présentent la plus grande incertitude et par conséquent la plus grande erreur de mesure.**

Ainsi, seuls les systèmes EB et MB obtiennent de très bons résultats pour la mesure de NO₂ avec un MAPE inférieur à 100%, un R² supérieur à 0,75 une pente de 1,47 et 1,32 respectivement et une variabilité de seulement 3% pour le système EB. La variabilité du système MB n’a pas pu être évaluée car un seul des deux répliques installés a fonctionné correctement. Cependant, le système D présente également un intérêt car, même si la dispersion des données est jugée intermédiaire (couleur violette), la pente de 1,04 et surtout la faible variabilité de 9% font de lui un bon candidat potentiel.

Concernant les PM_{2,5}, sur les 4 systèmes jugés bons (couleur bleue), seuls 2 présentent de l’intérêt. En effet, même si le R² des systèmes AA et KB sont supérieurs à 0,75, la valeur des pentes montre un manque de sensibilité important et la variabilité du système AA est trop grande. A l’opposé, les systèmes KA et B présentent de bonnes caractéristiques (R²>0,75, pente proche de 1 et faible variabilité pour KA), même si la variabilité du système B n’a pas pu être évaluée. Ensuite vient le système I qui présente un R² intermédiaire (0,5<R²<0,75, couleur violette) synonyme d’une dispersion plus importante. Il est également caractérisé par une variabilité plus importante de 26%. Cependant, parmi les systèmes en orange (R²<0,5), le système J présente une pente et une variabilité inter-système faisant ainsi de lui bon candidat potentiel. Enfin, les cinq autres systèmes en orange (D, EC, HA, HB et O) présentent une importante dispersion des données, un manque de sensibilité (faible valeur de pente) et une importante variabilité. Ils sont donc peu adaptés à une finalité d’usage en station fixe, y compris pour de la mesure indicative.

Des conclusions similaires peuvent être tenues pour les systèmes proposant la mesure des PM₁₀. La majorité d’entre eux présentent en effet une dispersion de données importante (R²<0,5 couleur orange), une pouvant être soit trop faible soit trop élevée ainsi qu’une variabilité moyenne. Seul le système B fait exception (MAPE<100%, R²>0,75, pente de 0,93) et peut être retenu sur la base de cette évaluation. Nous n’avons cependant pas pu évaluer sa variabilité. De plus, on observe que les caractéristiques métrologiques des systèmes offrant la mesure des deux granulométries (PM_{2,5} et PM₁₀) sont intimement liées. Ce qui n’est pas le cas pour les PM₁, pour lesquelles 2 systèmes (B et I) obtiennent de très bons résultats (MAPE<100%, R²>0,75, pente proche de 1 et faible variabilité). Même si le système J présente un excellent R², sa variabilité inter-système est importante (35%) et sa pente moyenne faible (0,45).

Dans le cas d’un système multi-polluants, aucun ne parvient à cumuler de bons résultats sur l’ensemble des polluants ciblés. Seul le système C obtient des notes intermédiaires qui, sous réserve d’un ré-étalonnage préalable, peuvent s’avérer intéressante pour la mesure du couple NO₂/PM_{2,5}. Si l’on considère uniquement les 3 granulométries de PM, le système B est celui qui obtient les meilleurs résultats. Il n’a cependant pas été possible d’estimer la variabilité inter-système de ce capteur de particule.

5. CONCLUSION/PERSPECTIVES

Même si aucun des systèmes évalués ne respecte les objectifs de qualité de données (OQD) des Directives Européennes 2008/50/CE et 2015/14/80 pour les mesures en sites fixes en NO_2 , O_3 et PM_{10} (OQD respectifs de 15%, 15% et 25%), certains pourraient prétendre satisfaire les critères des méthodes indicatives, notamment pour $\text{PM}_{2.5}$ (OQD de 50%).

En termes de polyvalence (systèmes multi-capteurs), seul le **système C** se démarque des autres systèmes testés durant la campagne. En effet, il présente des performances métrologiques avec les notes les plus élevées en considérant la combinaison **PM_1 , PM_{10} et NO_2** , avec les résultats suivants : MAPE inférieur à 100%, R^2 compris entre 0,5 et 0,75 pour le NO_2 et les PM_1 et inférieur à 0,5 pour les PM_{10} , mais pente de corrélation et variabilité inter-systèmes variables selon le polluant (PM_1 : pente = 1,92 et variabilité = 31% ; PM_{10} : pente = 1,55 et variabilité = 16% ; NO_2 : pente = 0,90 et variabilité = 41%). Il présente de surcroît de bonnes caractéristiques qualitatives avec une note de 5/5 pour la fiabilité et 4,7/5 pour sa facilité de mise en œuvre.

Le **système B**, quant à lui, a obtenu les meilleurs résultats sur l'**ensemble des granulométries de particules** (PM_1 , $\text{PM}_{2.5}$ et PM_{10}) avec un MAPE inférieur à 100%, un R^2 supérieur à 0,75 et une pente de corrélation variant de 0,93 pour les PM_{10} à 1,09 pour les $\text{PM}_{2.5}$. Il présente cependant des notes qualitatives faibles (<2/5) pour l'ensemble des critères, avec notamment **une couverture temporelle inférieure à 14%** de la période, due vraisemblablement à une perte de connexion Bluetooth. De plus, l'évaluation n'a pu être faite que sur un seul réplica, ne permettant pas de caractériser sa variabilité.

En ne considérant qu'un seul polluant, d'autres systèmes présentent des performances globales avec des notes de moyennes à très bonnes. En particulier, le **système I** pour les **PM_1** , le **système KA** pour les **$\text{PM}_{2.5}$** et les **systèmes EB et MB** pour le **NO_2** présentent les meilleurs résultats avec un MAPE inférieur à 100%, un R^2 supérieur à 0,75, une pente de corrélation inférieure à 1,5 et une variabilité inter-systèmes inférieure à 9%. Seule la variabilité du système MB n'a pas pu être évaluée car un seul réplica était fonctionnel. Cependant, les systèmes I et KA obtiennent des notes qualitatives plus faibles, notamment en raison de leur manque de polyvalence : notés 0,8 en énergie et respectivement 1,5 et 1,2 pour la versatilité.

Notons également qu'en plus de ses très bons résultats pour la mesure des PM_1 , le système I présente de bons résultats pour la mesure des $\text{PM}_{2.5}$ et des PM_{10} (MAPE < 100%, $0,5 < R^2 < 0,75$, pente de 1,51 et variabilité de 26% pour les $\text{PM}_{2.5}$ et pente de 1,24 et variabilité de 27% pour les PM_{10}). D'autres systèmes, **J pour les $\text{PM}_{2.5}$** et **D pour le NO_2** , présentent une dispersion plus importante que les systèmes précédents (respectivement $R^2 < 0,5$ et $0,5 < R^2 < 0,75$). Ils restent cependant de bons candidats potentiels en raison d'une faible variabilité inter-systèmes (<15%). Ces systèmes obtiennent quant à eux de bonnes notes qualitatives.

En termes de perspectives de ces travaux et afin de compléter cette première évaluation, un second essai d'aptitude a été réalisé durant l'été 2018 afin de tenir compte d'un potentiel effet de saisonnalité, notamment dans la composition de la matrice d'air (concentrations plus élevées en O₃ et moins élevées en NO₂ et PM). Ces résultats seront disponibles courant 2020.

Néanmoins, la dépendance des conditions environnementales ne permet d'évaluer les systèmes capteurs que dans des situations très précises. Il semble donc nécessaire pour une évaluation complète des systèmes de mesures de pouvoir combiner la complexité d'une matrice réelle aux spécificités de concentrations contrôlées. Ainsi, une étude sur la faisabilité d'un dopage de matrice réelle par des mélanges gazeux et particulaires est en cours de réalisation par le LCSQA/Ineris.

6. LISTE DES ANNEXES

Annexes	Titres
Annexe 1	Récapitulatif des critères qualitatifs par système
Annexe 2	Récapitulatif des critères quantitatifs par polluant
Annexe 3	Fiches individuelles d'évaluation

ANNEXE 1

Récapitulatif des critères qualitatifs par système

Système	Energie			
	Nombre de type de sources possibles (Secteur, Batterie)	+apport énergie recharge hors secteur (solaire/éolien)	Autonomie annoncée (<1 jour ou NC, 1jour/1mois, >1mois)	NOTE
	1 à 2	1	1 à 3 (si batterie sinon 0)	$\Sigma*(5/6)$
AA	1	0	1	1,67
AB	1	0	2	2,50
AC	1	0	0	0,83
AD	2	0	1	2,50
B	1	0	1	1,67
C	2	1	1	3,33
D	1	0	0	0,83
EA	2	1	1	3,33
EB	2	1	2	4,17
EC	1	0	0	0,83
F	2	1	2	4,17
G	2	1	1	3,33
HA	2	1	2	4,17
HB	n/a	n/a	n/a	n/a
I	1	0	0	0,83
J	2	1	3	5
KA	1	0	0	0,83
KB	1	0	0	0,83
L	2	0	2	3,33
MA	1	0	0	0,83
MB	2	1	1	3,33
N	2	0	2	3,33
O	2	0	2	3,33

Système	Fiabilité					NOTE
	Période minimale de couverture mesure indicative - Directive européenne 2008/50/CE	Peu de données, représentativité de la dynamique faible	Pertes raisonnables Représentativité acceptable	Couverture dynamique équivalente site fixe Directive européenne 2008/50/CE - situation hivernale	Couverture dynamique équivalente site fixe Directive européenne 2008/50/CE	
	$p \leq 0,14$	$0,14 < p \leq 0,45$	$0,45 < p \leq 0,75$	$0,75 < p \leq 0,9$	$p > 0,9$	de 1 à 5
AA	X					1,0
AB				X		4,0
AC				X		4,0
AD						1,0
B	X					1,0
C					X	5,0
D			X			3,0
EA					X	5,0
EB					X	5,0
EC					X	5,0
F					X	5,0
G					X	5,0
HA			X (PM)	X (gaz)		3,5
HB	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
I			X			3,0
J				X		4,0
KA			X			3,0
KB	X					1,0
L			X			3,0
MA						-
MB						-
N	X					1,0
O					X	5,0

Système	Versatilité				
	Communication locale, Filaire (propriétaire, USB, Ethernet), sans fil local (Wifi, Bluetooth, ZigBee, LoRa), sans fil GSM : 1 pt/type	Visualisation/Remontée/Stockage des données (local, SD, logiciel tiers, serveur, API) (1 pt/type)	Données brutes/ Données traitées/Données étalonnées ou vérifiées/Données étalonnables (1 pt/type)	Nb possible de paramètres mesurés (autres polluants, localisation, Température, Humidité relative, etc.) (1, ≤4, ≤10, >10)	NOTE
	Σ	Σ	Σ	de 1 à 4	Σ*(5/17)
AA	1	1	1	2	1,47
AB	1	2	1	2	1,76
AC	1	1	2	2	1,76
AD	2	2	2	2	2,35
B	1	0,5	1	2	1,32
C	4	3	2	3	3,53
D	3,5	2	1	3	2,79
EA	3	0	1	3	2,06
EB	2	3	1	4	2,94
EC	3,5	2	1	3	2,79
F	2	3	1	4	2,94
G	1	1	1	3	1,76
HA	1	2,5	1	3	2,21
HB	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
I	1	1	1	2	1,47
J	1	3	3	4	3,24
KA	1	1	1	1	1,18
KB	1	2	1	2	1,76
L	3	3,5	2	3	3,38
MA	1	1	2	2	1,76
MB	1	2	1	3	2,06
N	3	3,5	2	3	3,38
O	2	2,5	2	2	2,50

Système	Mise en œuvre					
	Installation physique (patte de fixation, étanchéité, IP, tenue à la rouille, etc.)	Documentation technique (absente, fournie avec le système, téléchargeable en ligne, manuel d'utilisation, performances, diagnostics QA/QC, ...)	Facilité de maintenance, contrôle du bon fonctionnement	Installation électrique (alimentation fournie ou pas, compatibilité avec prise secteur, longueur de câble)	Accessibilité à la donnée (dématérialisée ou pas, si local, par câble ou action de démontage, nécessité d'un logiciel tiers, etc.)	NOTE
	0 à 2	0 à 1	0 à 1	0 à 2	0 à 2	$\Sigma *(5/8)$
AA	1	0,5	0	1	1	2,19
AB	1	1	1	2	1	3,75
AC	0,5	0,5	0	0	1	1,25
AD	0,5	1	0	2	1	2,81
B	0,5	0	1	1	0	1,56
C	2	1	0,5	2	2	4,69
D	2	1	0	0	2	3,12
EA	2	1	1	2	0	3,75
EB	2	1	1	1	2	4,38
EC	2	1	0	0	1	2,50
F	2	1	1	1	2	4,38
G	2	0	0	2	2	3,75
HA	1,5	1	1	2	2	4,69
HB	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
I	1	0	0	2	2	3,13
J	2	1	0	2	2	4,38
KA	1	1	0	2	1	3,13
KB	1	1	1	1	1	3,13
L	0,5	1	0,5	1	2	3,13
MA	0,5	0,5	0	0	1	1,25
MB	2	1	0	2	1	3,75
N	0,5	1	0,5	1	2	3,13
O	2	1	0,5	2	2	4,69

ANNEXE 2

Récapitulatif des critères quantitatifs par polluant

Polluant	Système	MAPE	R2	Pente	Variabilité	IPI (%)
NO ₂ , ppb	AB	100,21	0,47	0,79	98,92	74,87
	AD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	C	23,24	0,66	0,90	40,54	77,40
	D	12,38	0,64	1,04	9,02	77,23
	EA	636,78	0,65	1,91	15,03	80,84
	EB	67,71	0,88	1,47	3,32	89,18
	EC	95,04	0,49	1,20	5,68	77,22
	F	91,10	0,72	1,24	n/a	68,58
	HA	64,28	0,35	0,21	108,46	69,35
	J	235,05	0,40	1,85	49,13	67,42
	L	695669,18	0,73	-7,11	n/a	30,75
	MB	46,48	0,88	1,32	n/a	80,13
O ₃ , ppb	C	142,49	0,24	0,59	33,48	63,15
	D	108,54	0,52	1,01	13,08	67,16
	EC	286,88	0,41	1,12	10,35	67,00
	F	486,34	0,04	0,15	n/a	36,00
	J	346,21	0,69	1,82	60,35	81,13
	L	3287093,33	0,23	-1,67	n/a	29,09
O ₃ et NO ₂ combinés, ppb	HA	93,03	0,28	0,14	156,62	73,43
PM ₁ , µg.m ⁻³	AC	154,63	0,31	2,88	n/a	74,09
	B	7,06	0,95	1,03	n/a	73,19
	C	78,22	0,63	1,92	30,94	86,35
	EA	8,09	0,30	0,88	n/a	77,64
	EB	153,12	0,50	3,23	n/a	82,28
	F	112,19	0,57	2,77	n/a	65,08
	I	9,46	0,91	1,15	8,48	89,05
	J	62,09	0,79	0,45	35,10	84,51
	MA	101,72	0,26	1,32	44,25	70,36

Polluant	Système	MAPE	R2	Pente	Variabilité	IPI (%)
PM _{2,5} , µg.m ⁻³	AA	68,52	0,77	0,58	-70,87	19,70
	AC	263,36	0,09	2,60	n/a	64,39
	B	24,62	0,84	1,09	n/a	63,25
	C	102,07	0,41	2,00	36,88	76,44
	D	69,26	0,00	0,01	-149,48	44,71
	EA	143,80	0,10	1,41	n/a	66,75
	EB	168,54	0,38	3,76	n/a	75,52
	EC	76,69	0,01	0,02	-2,82	47,25
	F	135,28	0,16	3,25	n/a	54,35
	G	153,65	0,63	1,87	5,40	82,76
	HA	49,47	0,10	0,40	31,26	59,39
	HB	78,83	0,38	0,07	n/a	70,34
	I	96,70	0,60	1,51	25,55	78,46
	J	13,10	0,34	0,93	11,17	79,93
	KA	28,35	0,86	1,12	1,62	82,01
	KB	99,92	0,84	0,00	2,11	69,04
	MA	108,54	0,15	1,24	44,49	63,29
	O	64,15	0,08	0,19	87,29	46,34
PM ₁₀ , µg.m ⁻³	AC	547,33	0,02	7,47	n/a	51,55
	B	64,86	0,81	0,93	n/a	67,88
	C	81,38	0,02	1,55	15,50	62,10
	D	35,52	0,01	1,52	19,77	54,87
	EA	210,14	0,04	2,49	n/a	60,80
	EB	350,52	0,03	6,00	n/a	59,84
	EC	33,61	0,01	0,57	21,84	55,15
	F	1114,16	0,04	19,53	n/a	34,86
	HA	57,42	0,08	0,32	23,63	57,42
	HB	80,14	0,25	0,11	n/a	70,55
	I	69,69	0,56	1,24	27,17	76,39
	J	93,17	0,06	1,63	17,98	69,98
	MA	118,64	0,07	0,88	35,17	58,67
	MB	95,07	0,54	0,03	n/a	67,86
	MB	41,72	0,54	0,42	n/a	68,45
	MB	68,39	0,54	0,22	123,07	68,16
	O	39,84	0,12	0,27	49,38	50,87

ANNEXE 3

Fiches individuelles d'évaluation.

Rappel du Tableau 2 regroupant la liste des participants, des systèmes mis à disposition, ainsi que le code alpha-numérique attribué à chacun d'entre eux.

Tableau 2 – Liste des codes alphanumériques référençant les systèmes ayant participé à l'EAµC n°1

Participant	Référence du système	Code alpha-numérique	Nombre de répliques
IMT Lille Douai	Airbeam (AirCasting)	AA	2
	Cairclip (Cairpol - Environnement SA)	AB	3
	OPC-N2 (Alphasense)	AC	1
	Series 500 - Portable Ozone Monitor (Aeroqual)	AD	1
Normandie Tech'Air	Airmatrix	B	2
ECOMESURE	ECOMSMART	C	3
Vaisala	AQT420	D	3
ATMO Grand Est	Waspmote Plug & Sense!/Smart Environment PRO (Libelium)	EA	1
	Watchtower 1 (Rubix Senses & Instrumentation)	EB	1
	AQT420 (Vaisala)	EC	2
Rubix Senses & Instrumentation	Watchtower 1	F	1
/	/	G	3
/	/	HA	2
/	/	HB	1
AtmoTrack by 42 Factory	Atmotrack	I	3
ADDAIR	AQMesh (Environmental Instruments Ltd.)	J	3
Envicontrol	NPM 2 (Met One Instruments, Inc.)	KA	2
	ES-642 (Met One Instruments, Inc.)	KB	1
Atmo Normandie	AirSensEUR	L	1
Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	OPC-N2 (Alphasense)	MA	2
/	/	MB	2
Ineris	AirSensEUR	N	1
Atmo Hauts-de-France	ePM (EcologicSense)	O	4

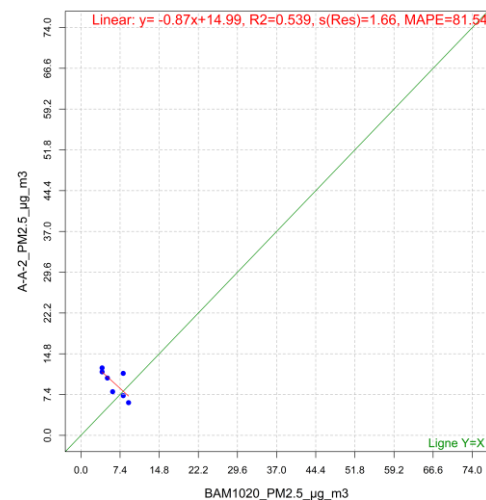
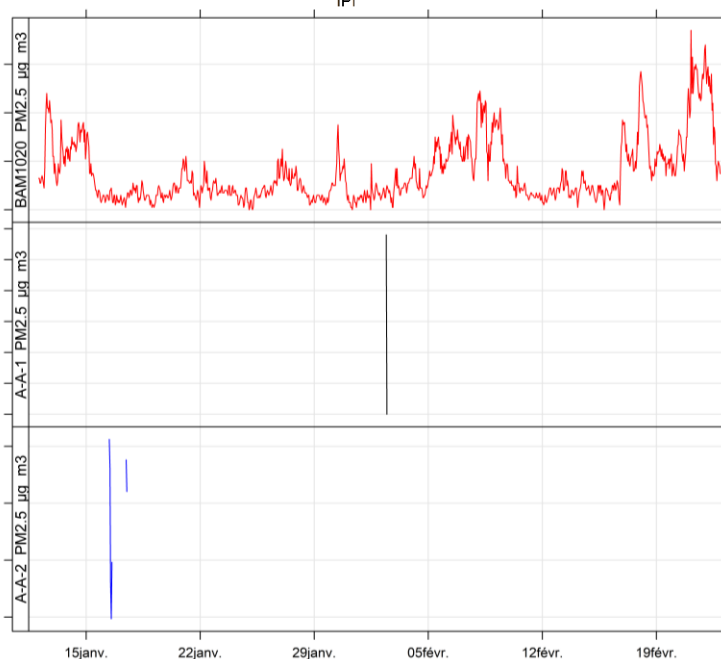
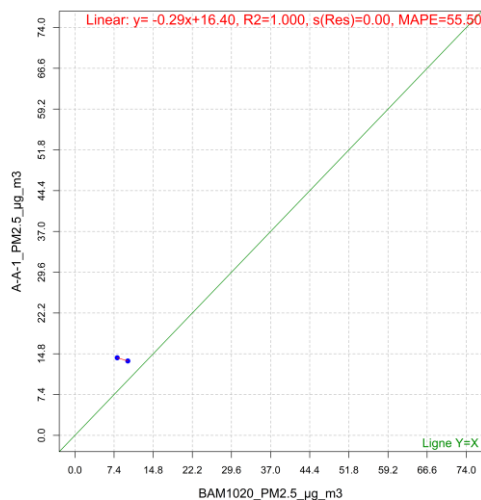
AA Airbeam	Version 3	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
105x95x43mm	200g	Bluetooth (USB-micro B programmable)
Principe physique	LED Rouge (ShinyeiPPD60PV)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} (par défaut : concentration massique, comptage programmable) T, HR,
Usage	Mobile, Exposition individuelle
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 8h)
Résolution temporelle	1 min (programmable), Pas d'horodatage interne
Stockage des données	API mobile + site web aircasting

Paramètres métrologiques mesurés

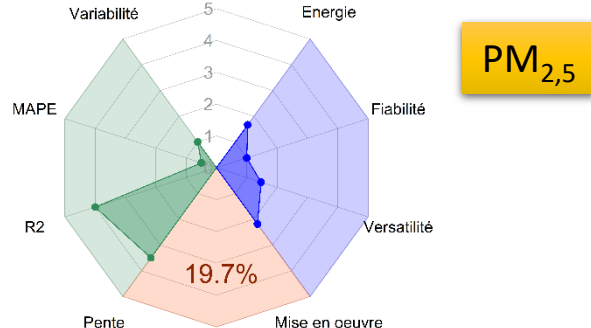
Capteur	AA1	AA2	AA3
Pente	-0,29	-0,87	n/a
Offset	16,40	14,99	n/a
R²	1,00	0,54	n/a
Variabilité	70,87		n/a
MAPE	55,50	81,54	n/a



Avis général :

Les + : outil ergonomique, léger, autonome et portable, destiné notamment à des actions de sensibilisation participatives citoyennes. Son utilisation est relativement pédagogique, la géolocalisation par l'API installée sur smartphone permet la réalisation de cartographies avec un code couleur d'identification de « hot spots ».

Les - : cet outil présente plusieurs inconvénients majeurs qui ne permettent pas d'envisager une application en site fixe extérieur. Compte-tenu du faible nombre de points exploitables, la qualité des données est assez médiocre. Les pertes de données sont liées à la communication Bluetooth peu fiable, même à faible distance. Par ailleurs, la transmission des données nécessite un équipement de type smartphone de génération récente. Enfin, le système est sensible aux intempéries.



NO₂

AB

Cairclip

Version

O₃&NO₂
A40-0021-B

>1 an

Dimensions

Poids

Transmission

Ø32x62mm

55g

USB-mini B

Principe physique

Electrochimique (Membrapor)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésNO₂, oxydants
T,HR

Usage

Mobile, Fixe, Expo. individuelle

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 36h)

Résolution temporelle

1 min/15min/1h
Horodatage interne

Stockage des données

Local, logiciel Cairsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

AB1

AB2

AB3

Pente

2,37

0,79

0,22

Offset

355,99

-3,32

-1,87

R²

0,01

0,87

0,47

Variabilité

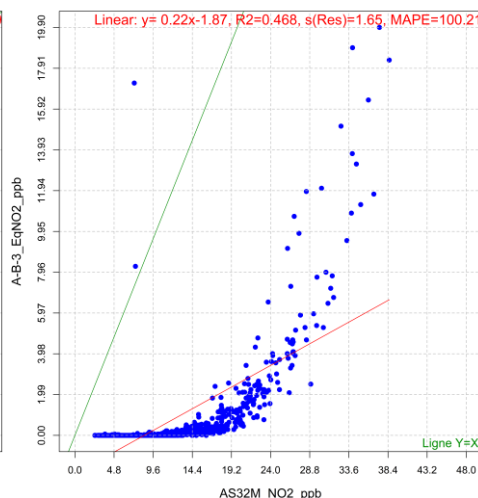
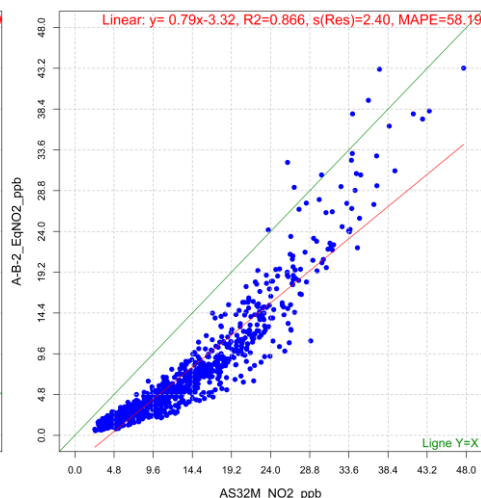
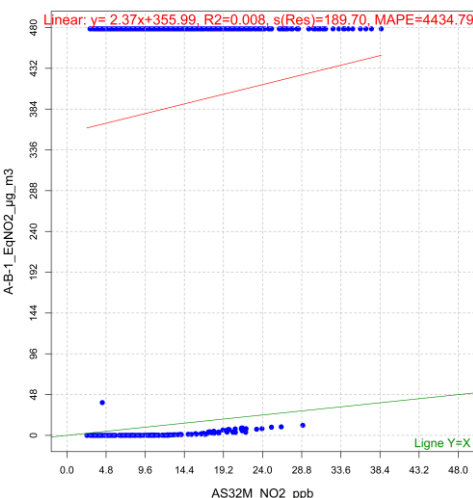
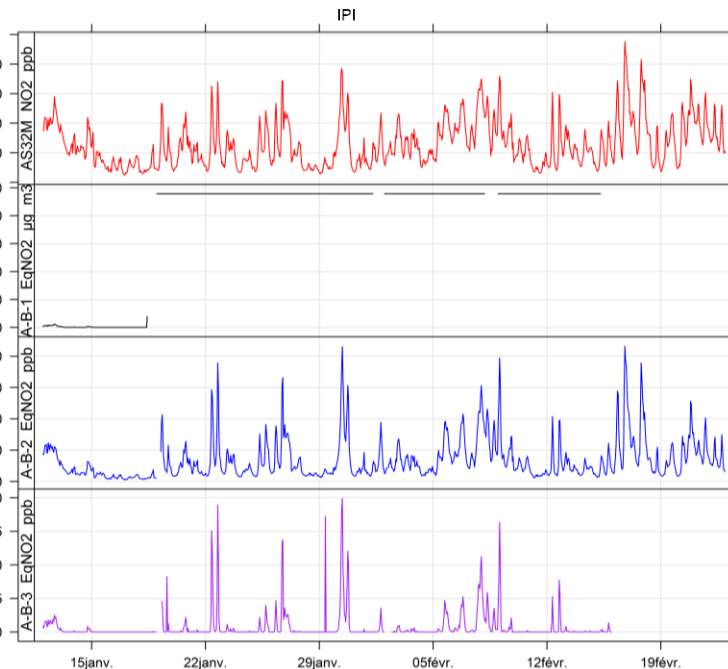
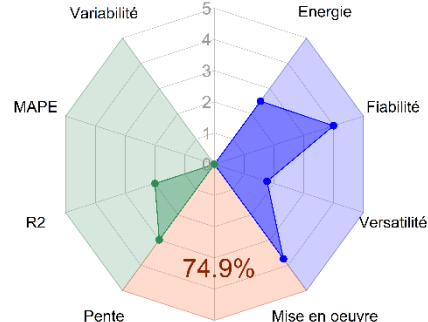
98,92

MAPE

4434,79

58,19

100,21



Avis général :

Les + : outil ergonomique, léger, autonome (>quelques jours) et portable, permet un maillage spatial et temporel fin pour de la cartographie en site fixe. Les éléments neufs présente de bonnes corrélations aux mesures de référence (cas AB2).

Les - : de manière générale, la corrélation n'est pas linéaire. La qualité des données est directement liée à l'âge de l'élément sensible. Au-delà d'un an (cas AB3), la sensibilité et la limite de détection se détériorent, ce qui nécessite soit la correction des mesures soit le remplacement de l'élément sensible. Au-delà de 3 ans (cas AB1), on est en limite d'utilisation. Par ailleurs, l'outil ne dispose pas de géolocalisation pour faciliter la cartographie. Il existe un risque d'interférence chimique liée aux oxydants (O₃). Enfin, en utilisation extérieure continue la connectique USB est sujette à corrosion.

LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

EAµC Hiver 2018

INERIS

LNE

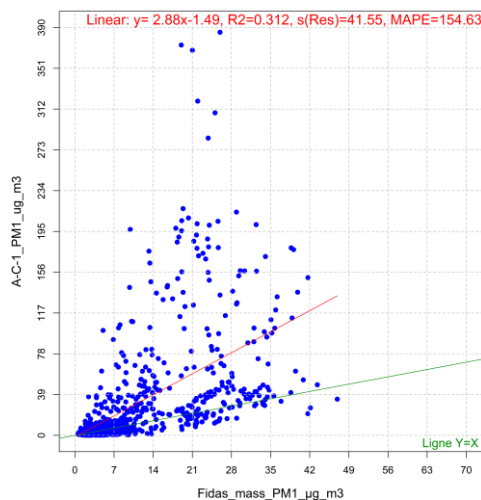
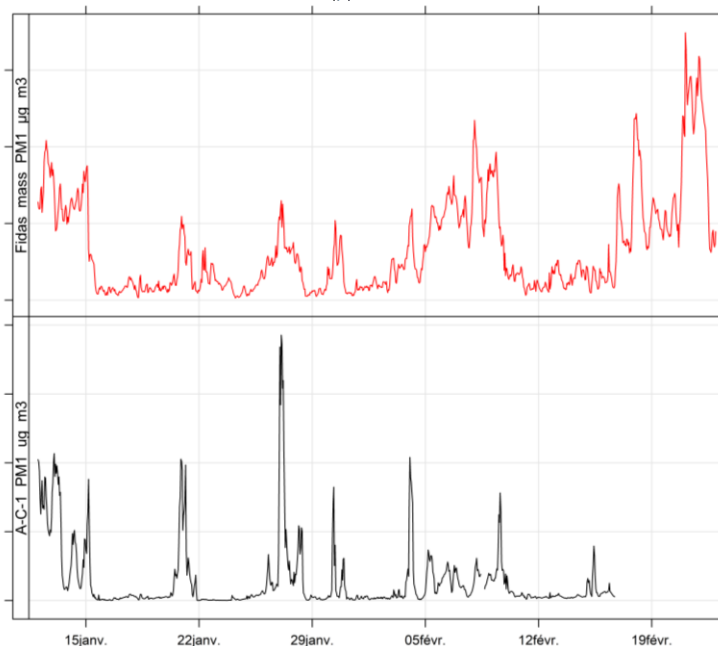
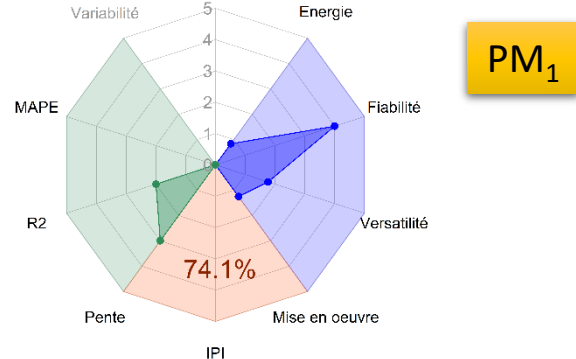
MTE L'Air

"L'expertise au service de la qualité de l'air"

AC OPC-N2	Version 1	 >1 an
Dimensions	Poids	Transmission
75x64x60mm	<105g	USB-A
Principe physique	Laser Rouge (Alphasense)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (concentration massique, comptage par fraction + sur 16 canaux de 0,38 à 17µm)
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur
Résolution temporelle	réglable (à partir de 1s) Pas d'horodatage interne
Stockage des données	Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés	
Capteur	AC1
Pente	2,88
Offset	-1,49
R²	0,31
Variabilité	n/a
MAPE	154,63



Avis général :

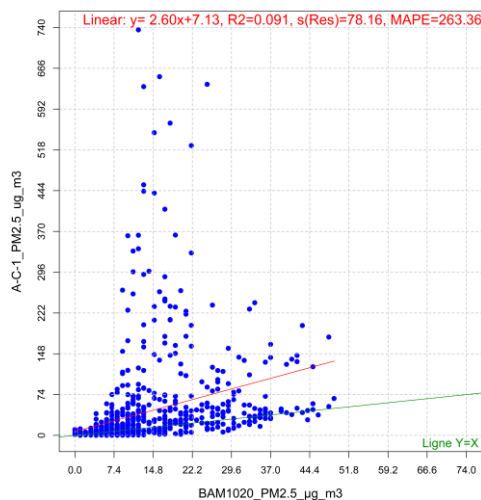
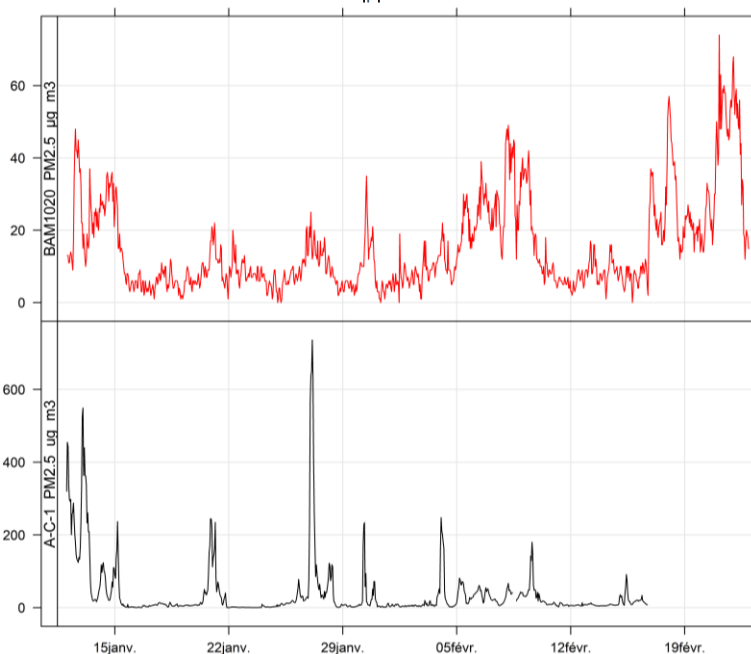
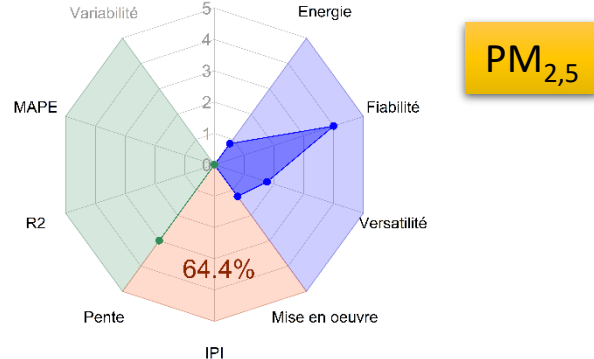
Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données (connecteur SPI). Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

AC OPC-N2	Version 1	 >1 an
Dimensions	Poids	Transmission
75x64x60mm	<105g	USB-A
Principe physique	Laser Rouge (Alphasense)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (concentration massique, comptage par fraction + sur 16 canaux de 0,38 à 17µm)
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur
Résolution temporelle	réglable (à partir de 1s) Pas d'horodatage interne
Stockage des données	Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés	
Capteur	AC1
Pente	2,60
Offset	7,13
R²	0,09
Variabilité	n/a
MAPE	263,36



Avis général :

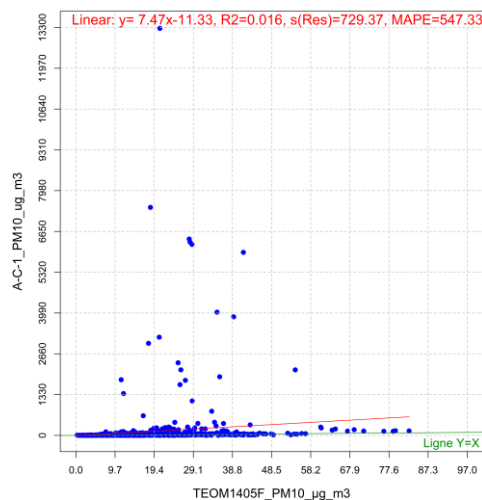
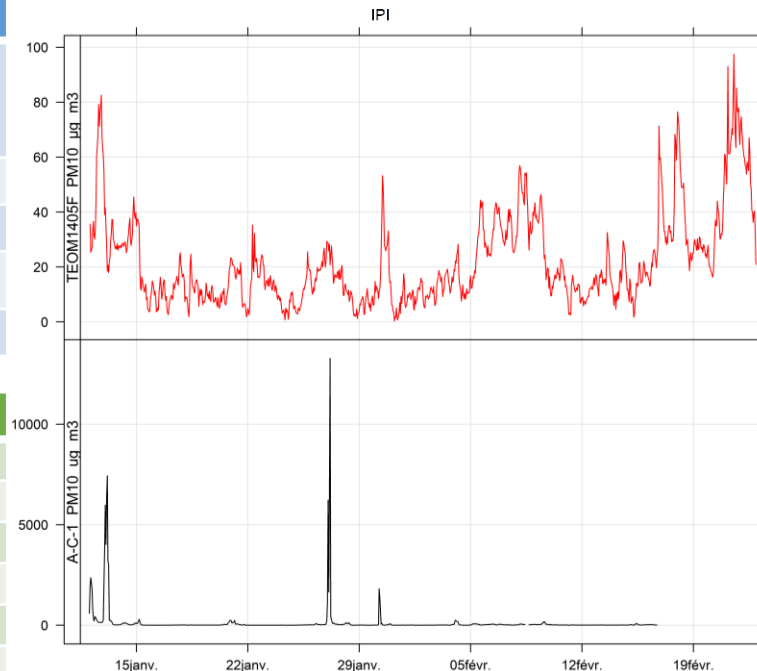
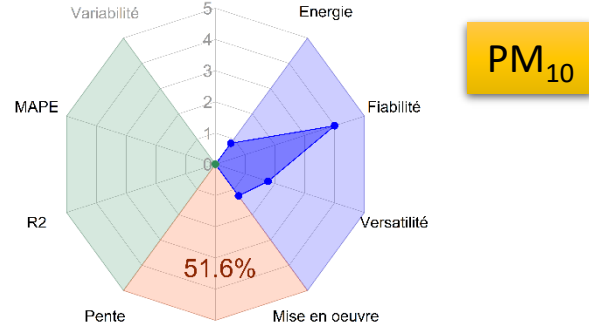
Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données (connecteur SPI). Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

AC OPC-N2	Version 1	 >1 an
Dimensions	Poids	Transmission
75x64x60mm	<105g	USB-A
Principe physique	Laser Rouge (Alphasense)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (concentration massique, comptage par fraction + sur 16 canaux de 0,38 à 17µm)
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur
Résolution temporelle	réglable (à partir de 1s) Pas d'horodatage interne
Stockage des données	Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés	
Capteur	AC1
Pente	7,47
Offset	-11,33
R²	0,02
Variabilité	n/a
MAPE	547,33



Avis général :

Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données (connecteur SPI). Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

B

Airmatrix

Version 2

BT-2.5



neuf

Dimensions

80x50x30mm

Poids

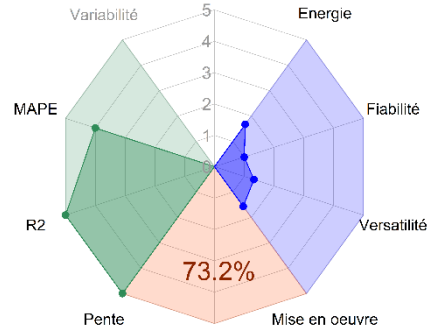
<100g

Transmission

Bluetooth
(USB-micro B)

Principe physique

LED Rouge



Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration massique)

Usage

Mobile, Exposition individuelle

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 10h)

Résolution temporelle

~1min, non réglable, dépend de la qualité de la connexion Bluetooth

Stockage des données

API mobile v. 1.0.32

Pas de stockage API, visionnage seul

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

B1

B2

Pente

1,03

n/a

Offset

-0,29

n/a

R²

0,95

n/a

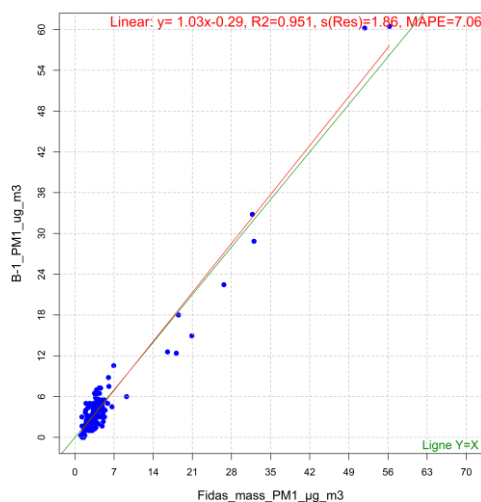
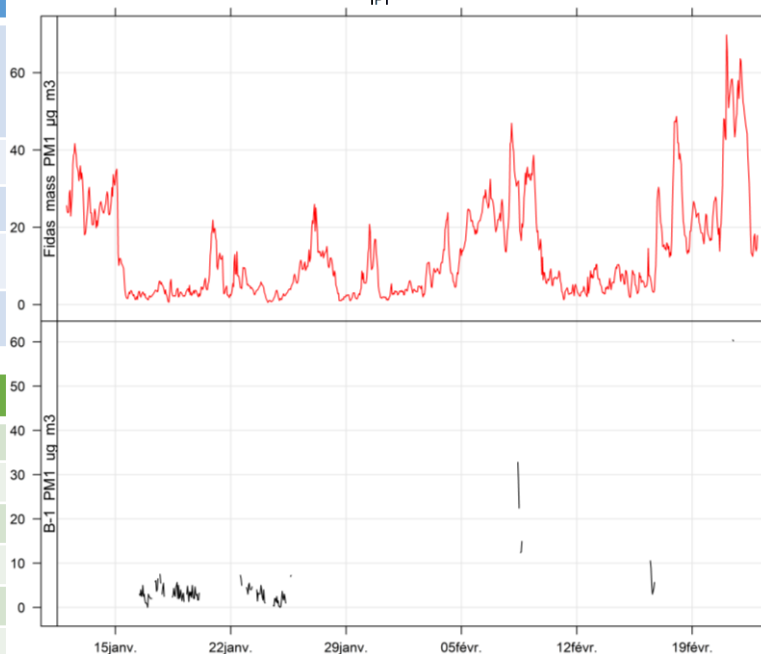
Variabilité

n/a

MAPE

7,07

n/a



Avis général :

Les + : outil ergonomique, léger, autonome (~quelques heures) et portable, plutôt destiné à des actions de sensibilisation participatives citoyennes. Son utilisation est relativement pédagogique, la géolocalisation par l'API installée sur smartphone permet la réalisation de cartographies avec un code couleur d'identification de « hot spots ». Les corrélations sont très bonnes quelle que soit la fraction.

Les - : cet outil présente plusieurs inconvénients qui ne permettent pas d'envisager une application en site fixe extérieur (sensibilité aux intempéries, connectivité peu fiable). La couverture des mesures est médiocre. Malgré une bonne corrélation, comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

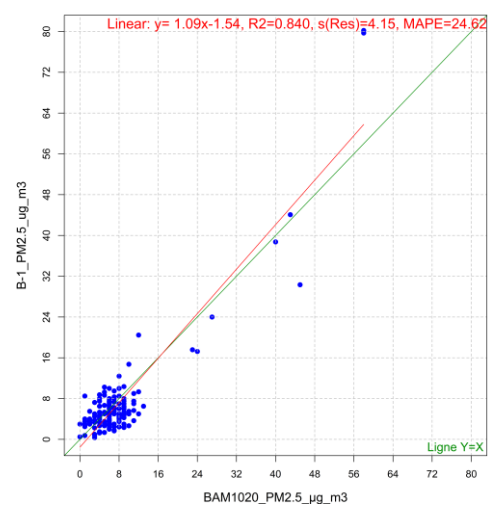
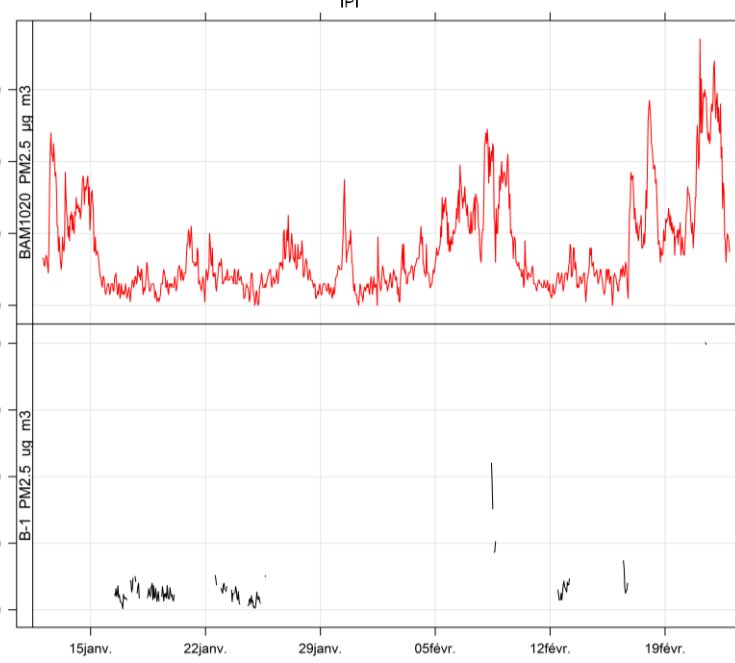
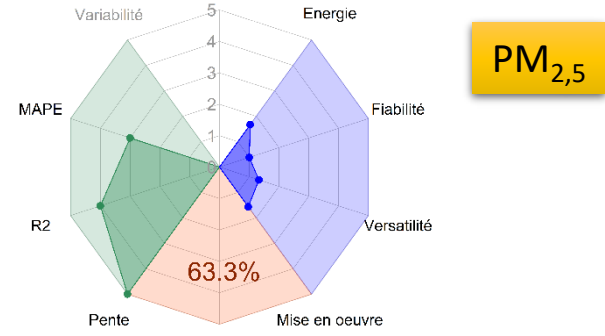
B Airmatrix	Version 2 BT-2.5	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
80x50x30mm	<100g	Bluetooth (USB-micro B)
Principe physique	LED Rouge	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (concentration massique)
Usage	Mobile, Exposition individuelle
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 10h)
Résolution temporelle	~1min, non réglable, dépend de la qualité de la connexion Bluetooth
Stockage des données	API mobile v. 1.0.32 Pas de stockage API, visionnage seul

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	B1	B2
Pente	1,09	n/a
Offset	-1,54	n/a
R²	0,84	n/a
Variabilité	n/a	
MAPE	24,62	n/a



Avis général :

Les + : outil ergonomique, léger, autonome (~quelques heures) et portable, plutôt destiné à des actions de sensibilisation participatives citoyennes. Son utilisation est relativement pédagogique, la géolocalisation par l'API installée sur smartphone permet la réalisation de cartographies avec un code couleur d'identification de « hot spots ». Les corrélations sont très bonnes quelle que soit la fraction.

Les - : cet outil présente plusieurs inconvénients qui ne permettent pas d'envisager une application en site fixe extérieur (sensibilité aux intempéries, connectivité peu fiable). La couverture des mesures est médiocre. Malgré une bonne corrélation, comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

B

Airmatrix

Version 2

BT-2.5



neuf

Dimensions

80x50x30mm

Poids

<100g

Transmission

Bluetooth
(USB-micro B)

Principe physique

LED Rouge

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésPM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration
massique)

Usage

Mobile, Exposition individuelle

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 10h)

Résolution temporelle

~1min, non réglable, dépend de la
qualité de la connexion Bluetooth

Stockage des données

API mobile v. 1.0.32

Pas de stockage API, visionnage seul

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

B1

B2

Pente

0,93

n/a

Offset

-5,77

n/a

R²

0,81

n/a

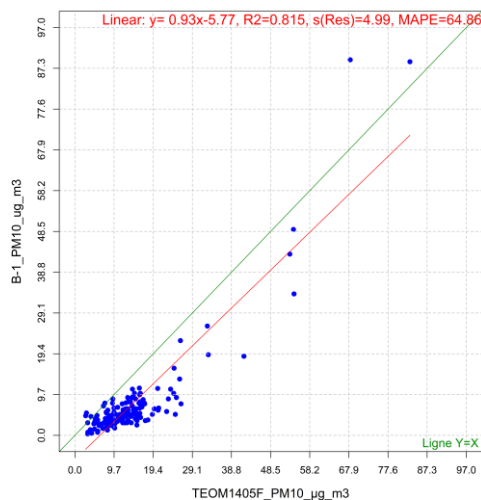
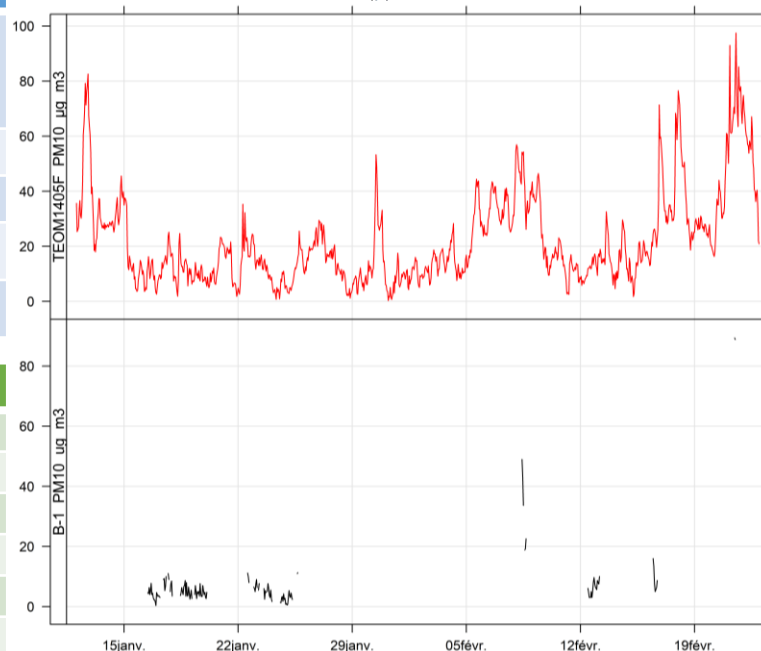
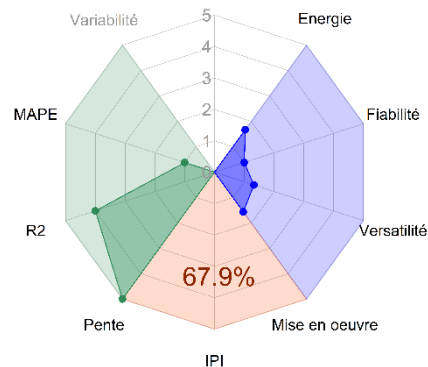
Variabilité

n/a

MAPE

64,86

n/a

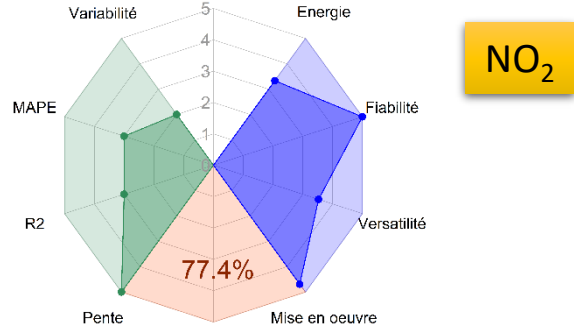


Avis général :

Les + : outil ergonomique, léger, autonome (~quelques heures) et portable, plutôt destiné à des actions de sensibilisation participatives citoyennes. Son utilisation est relativement pédagogique, la géolocalisation par l'API installée sur smartphone permet la réalisation de cartographies avec un code couleur d'identification de « hot spots ». Les corrélations sont très bonnes quelle que soit la fraction.

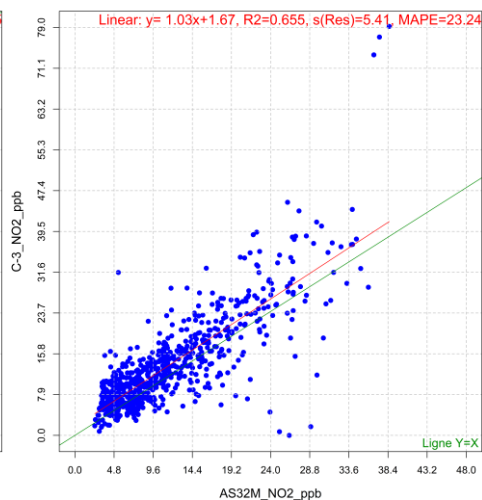
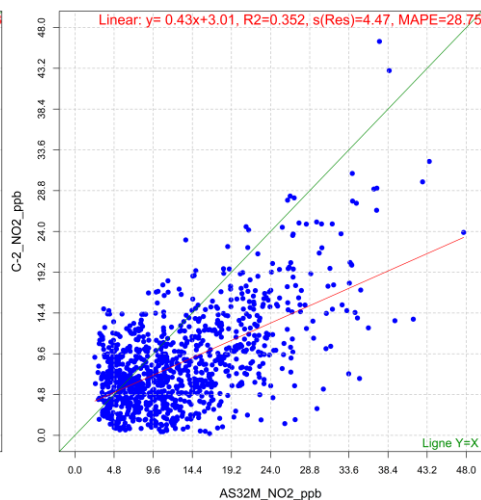
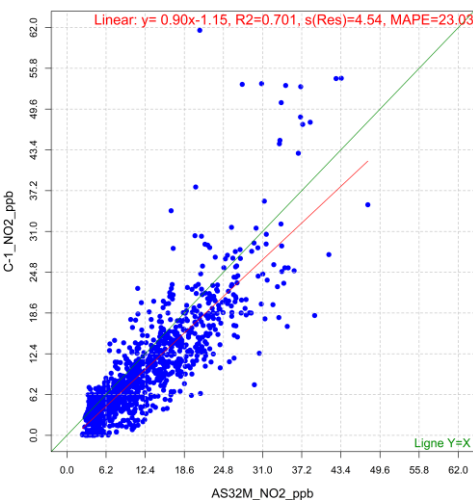
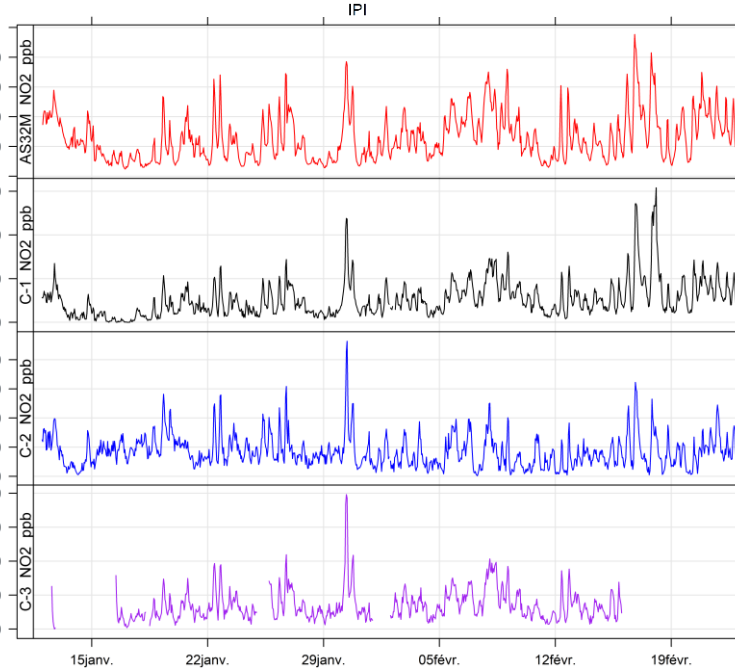
Les - : cet outil présente plusieurs inconvénients qui ne permettent pas d'envisager une application en site fixe extérieur (sensibilité aux intempéries, connectivité peu fiable). La couverture des mesures est médiocre. Malgré une bonne corrélation, comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

C Ecomsmart	Version 1.23 ECS-N-GX	 location
Dimensions	Poids	Transmission
200x210x90mm (hors antennes)	1,2kg	Ethernet, 3G, Wifi, LoRA, SigFox
Principe physique	Electrochimique (N.C.)	



Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) De base : NO ₂ , O ₃ En option : SO ₂ , CO, CO ₂ , COV, H ₂ S T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 24h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne
Stockage des données	Site web ecomSaaS

Paramètres métrologiques mesurés			
Capteur	C1	C2	C3
Pente	0,90	0,43	1,03
Offset	-1,15	3,01	1,67
R²	0,70	0,35	0,66
Variabilité	40,54		
MAPE	23,03	28,75	23,24



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Le module gaz étant séparé du module PM, la maintenance s'en trouve facilitée. A l'exception du module C2, la corrélation à NO₂ est bonne avec une dispersion acceptable pour une mesure indicative.

Les - : quelques problèmes de communication GSM ont été rencontrés sur l'un des modules durant la campagne (C3). La récupération des fichiers via le site en ligne peut s'avérer un peu longue (plusieurs minutes d'attente).

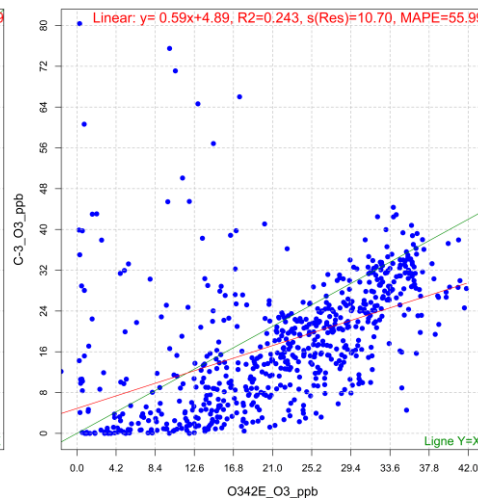
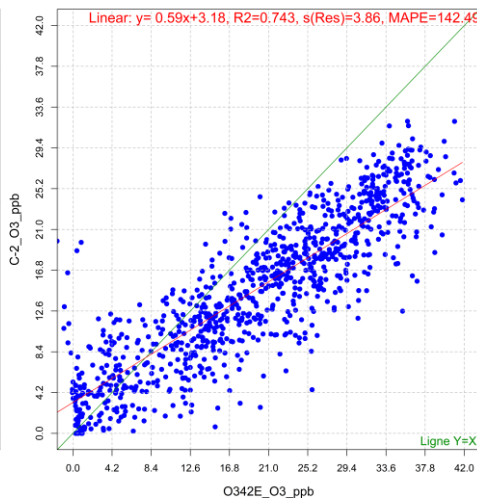
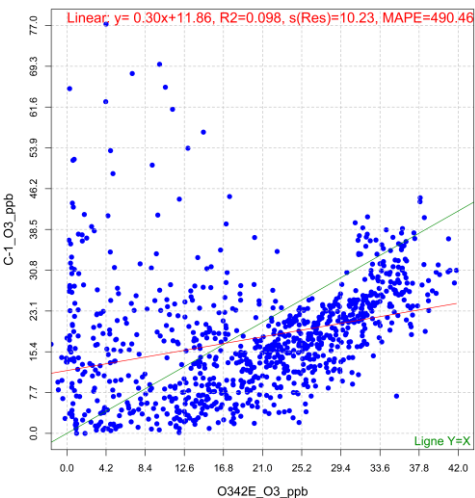
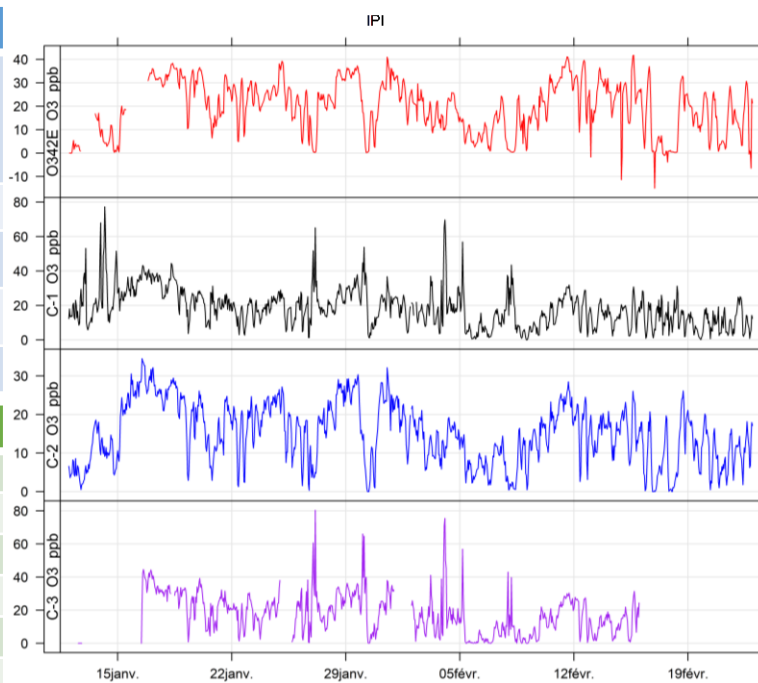
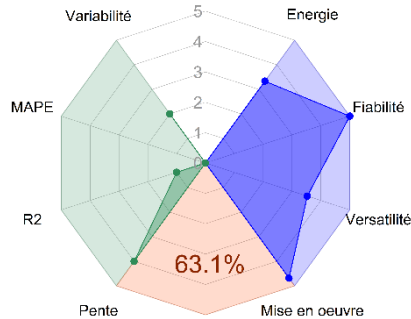
C Ecomsmart	Version 1.23 ECS-N-GX	 location
Dimensions	Poids	Transmission
200x210x90mm (hors antennes)	1,2kg	Ethernet, 3G, Wifi, LoRA, SigFox
Principe physique	Electrochimique (N.C.)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) De base : NO ₂ , O ₃ En option : SO ₂ , CO, CO ₂ , COV, H ₂ S T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 24h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne
Stockage des données	Site web ecomSaaS

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	C1	C2	C3
Pente	0,30	0,59	0,59
Offset	11,86	3,18	4,89
R²	0,10	0,74	0,24
Variabilité	33,48		
MAPE	490,46	142,49	55,99

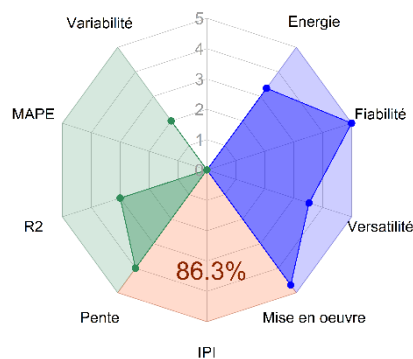


Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Le module gaz étant séparé du module PM, la maintenance s'en trouve facilitée.

Les - : quelques problèmes de communication GSM ont été rencontrés sur l'un des modules durant la campagne (C3). La récupération des fichiers en ligne peut s'avérer un peu longue (plusieurs minutes d'attente). Quels que soient les modules, la majorité des mesures sont sous-estimées. On note également une dispersion plus large pour les modules C1 et C3, notamment en dessous de 20ppb. Or les niveaux d'ozone rencontrés sur cette campagne sont faibles au regard de la technologie (LD>10ppb).

C Ecomsmart	Version 1.23 ECS-N-GX	 location
Dimensions	Poids	Transmission
200x210x90mm (hors antennes)	1,2kg	Ethernet, 3G, Wifi, LoRA, SigFox
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	



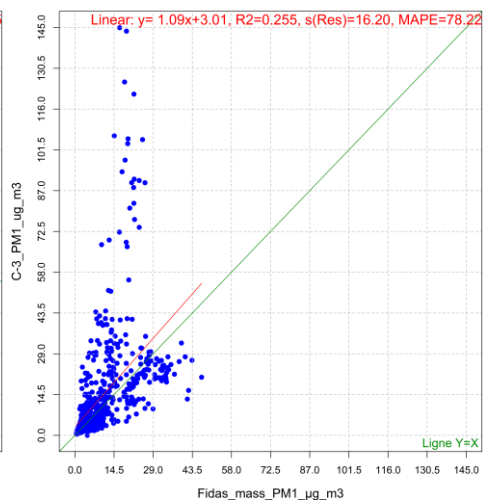
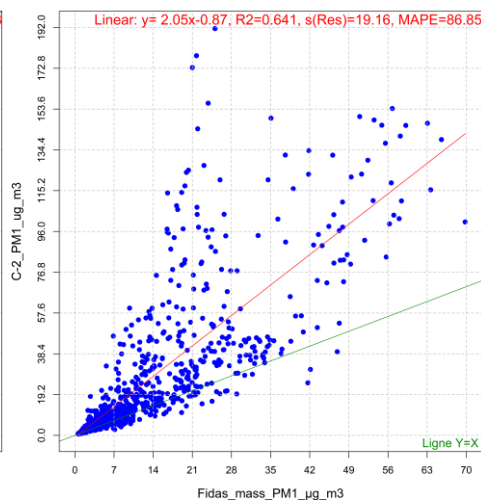
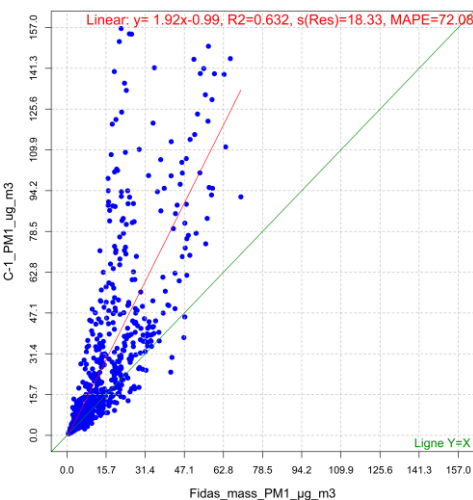
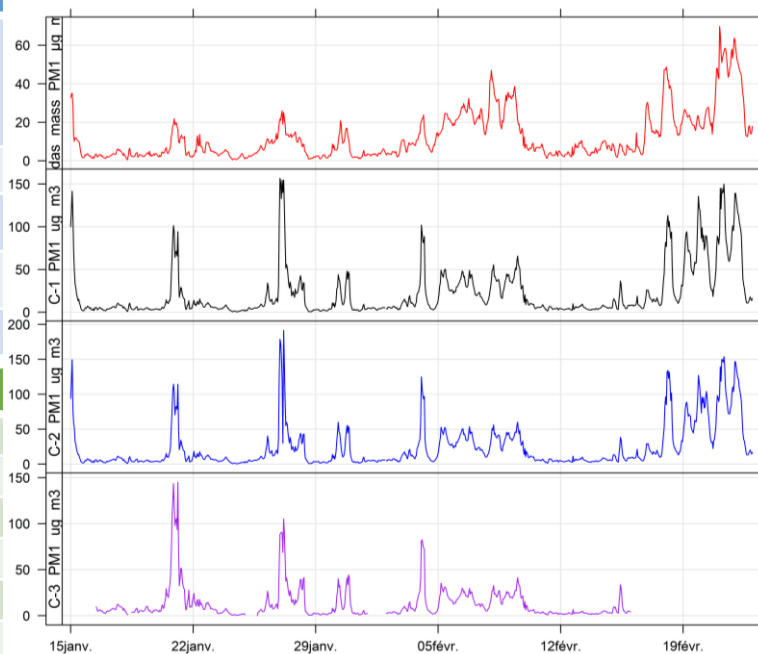
PM₁

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) De base : NO ₂ , O ₃ En option : SO ₂ , CO, CO ₂ , COV, H ₂ S T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 24h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne
Stockage des données	Site web ecomSaaS

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	C1	C2	C3
Pente	1,92	2,05	1,09
Offset	-0,99	-0,87	3,01
R²	0,63	0,64	0,26
Variabilité	30,94		
MAPE	72,08	86,85	78,22



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Le module gaz étant séparé du module PM, la maintenance s'en trouve facilitée. La corrélation aux PM est plutôt bonne bien que parfois dispersée (module C3), avec une bonne reproductibilité des trois systèmes.

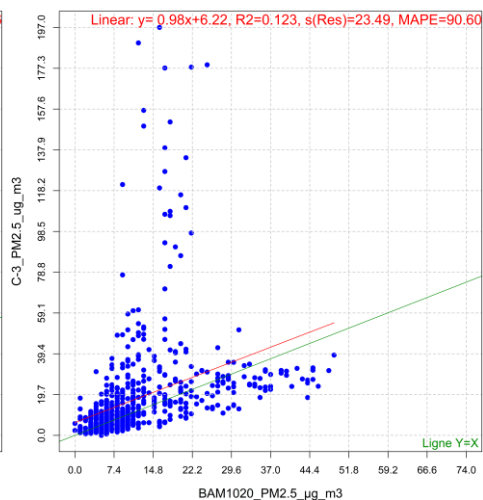
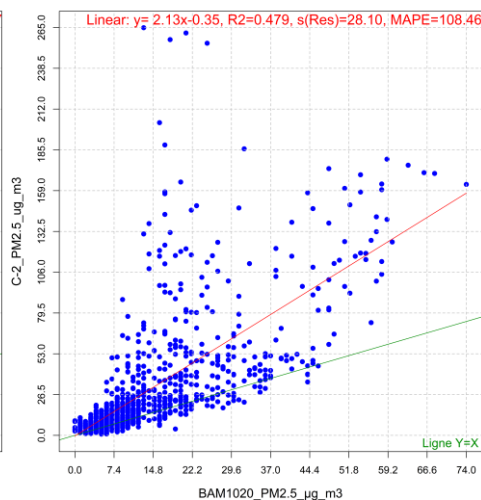
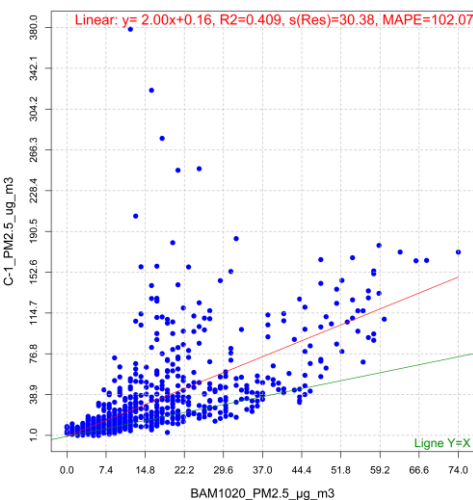
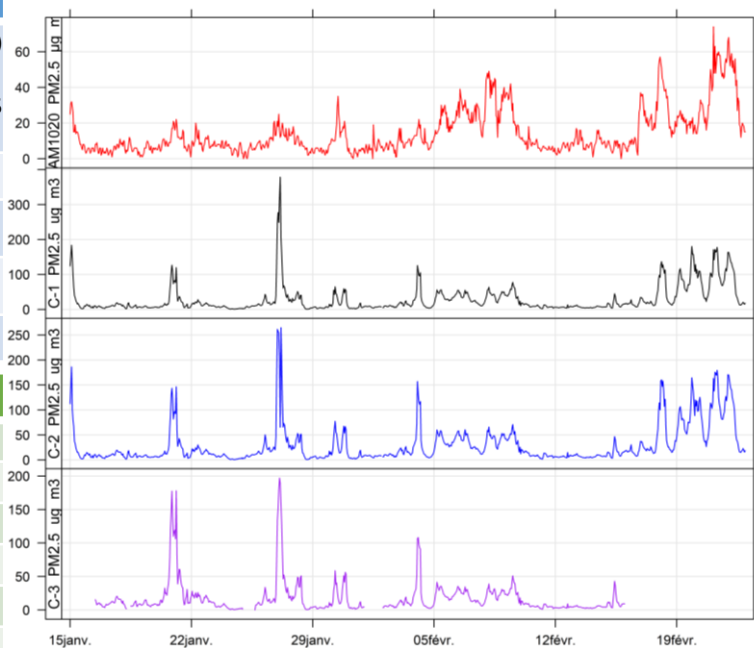
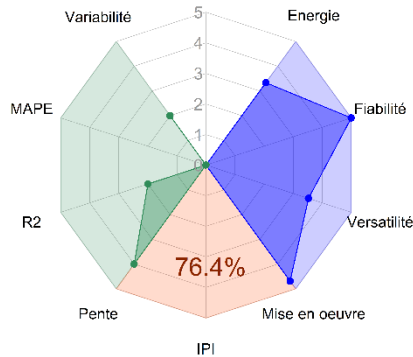
Les - : quelques problèmes de communication GSM ont été rencontrés sur l'un des modules durant la campagne (C3). La récupération des fichiers en ligne peut s'avérer un peu longue (plusieurs minutes d'attente). La sur-estimation pour toutes les fractions et tous les modules peut-être liée à la correction du comptage sans connaissance de la nature de la particule.

C Ecomsmart	Version 1.23 ECS-N-GX	 location
Dimensions	Poids	Transmission
200x210x90mm (hors antennes)	1,2kg	Ethernet, 3G , Wifi, LoRA, SigFox
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique) De base : NO ₂ , O ₃ En option : SO ₂ , CO, CO ₂ , COV, H ₂ S T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 24h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne
Stockage des données	Site web ecomSaaS

Paramètres métrologiques mesurés			
Capteur	C1	C2	C3
Pente	2,00	2,13	0,98
Offset	0,16	-0,35	6,22
R²	0,41	0,48	0,12
Variabilité	36,88		
MAPE	102,07	108,46	90,60



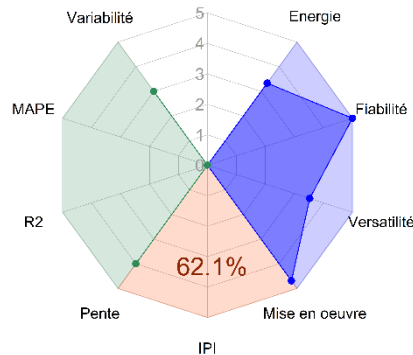
Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Le module gaz étant séparé du module PM, la maintenance s'en trouve facilitée. La corrélation aux PM est plutôt bonne bien que parfois dispersée (module C3), avec une bonne reproductibilité des trois systèmes.

Les - : quelques problèmes de communication GSM ont été rencontrés sur l'un des modules durant la campagne (C3). La récupération des fichiers en ligne peut s'avérer un peu longue (plusieurs minutes d'attente). La sur-estimation pour toutes les fractions et tous les modules peut-être liée à la correction du comptage sans connaissance de la nature de la particule.

C Ecomsmart	Version 1.23 ECS-N-GX	 location
Dimensions	Poids	Transmission
200x210x90mm (hors antennes)	1,2kg	Ethernet, 3G , Wifi, LoRA, SigFox
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

PM₁₀

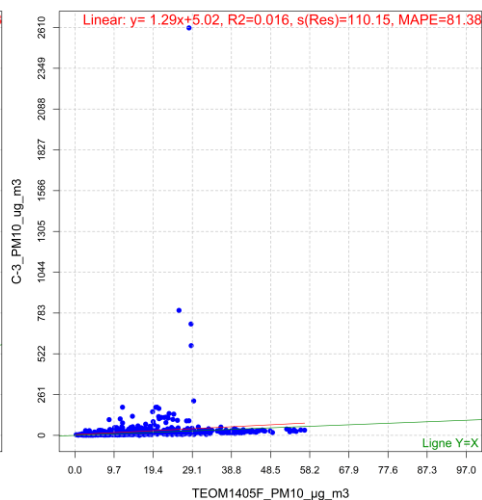
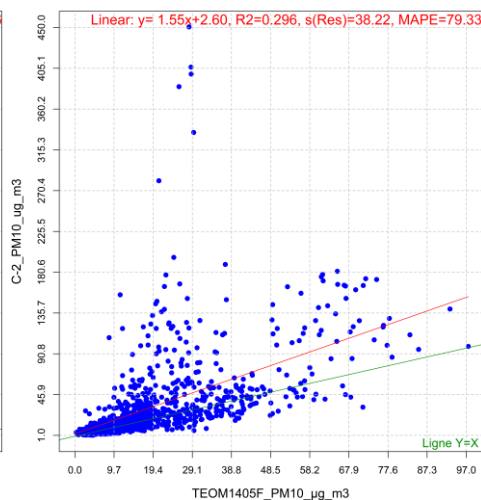
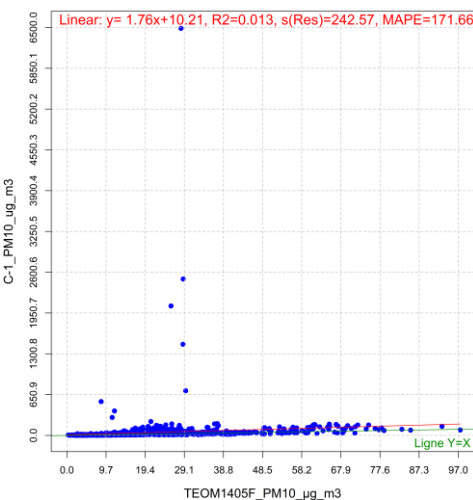
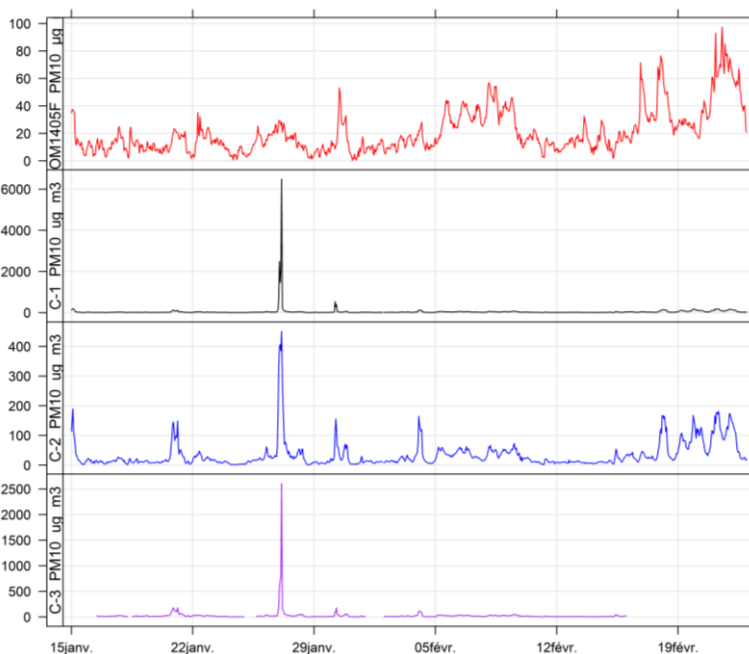


Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) De base : NO ₂ , O ₃ En option : SO ₂ , CO, CO ₂ , COV, H ₂ S T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 24h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne
Stockage des données	Site web ecomSaaS

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	C1	C2	C3
Pente	1,76	1,55	1,29
Offset	10,21	2,60	5,02
R²	0,01	0,30	0,02
Variabilité	15,50		
MAPE	171,66	79,33	81,38



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Le module gaz étant séparé du module PM, la maintenance s'en trouve facilitée. La corrélation aux PM est plutôt bonne bien que parfois dispersée (module C3), avec une bonne reproductibilité des trois systèmes.

Les - : quelques problèmes de communication GSM ont été rencontrés sur l'un des modules durant la campagne (C3). La récupération des fichiers en ligne peut s'avérer un peu longue (plusieurs minutes d'attente). La sur-estimation pour toutes les fractions et tous les modules peut-être liée à la correction du comptage sans connaissance de la nature de la particule.

NO₂

D

AQT-420

Version N.C.



neuf

Dimensions

Ø128x185mm

Poids

1,25kg

Transmission

De base : RS232
En option : 4G

Principe physique

Electrochimique

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
NO₂, SO₂, CO, O₃
T, HR, P

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur (non fournie, fils nus)

Résolution temporelle

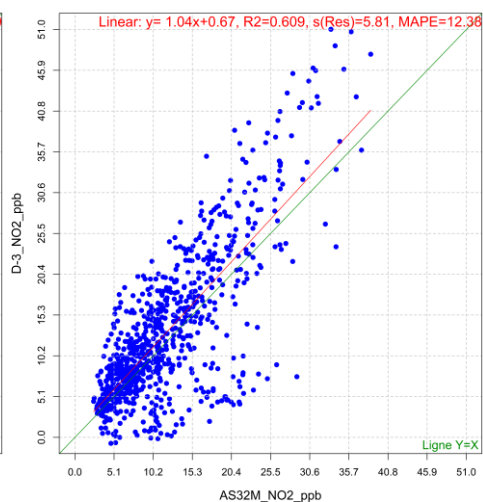
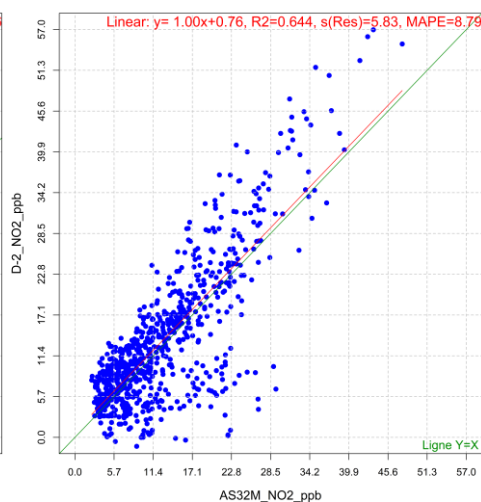
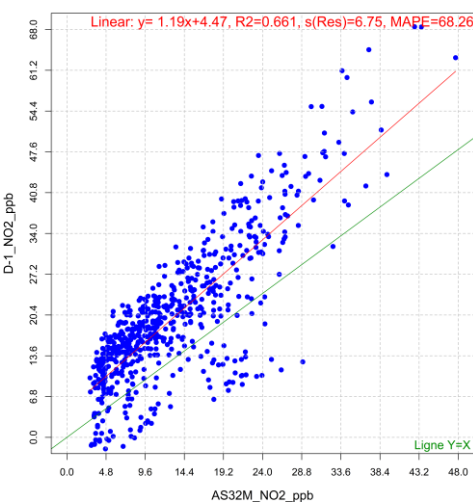
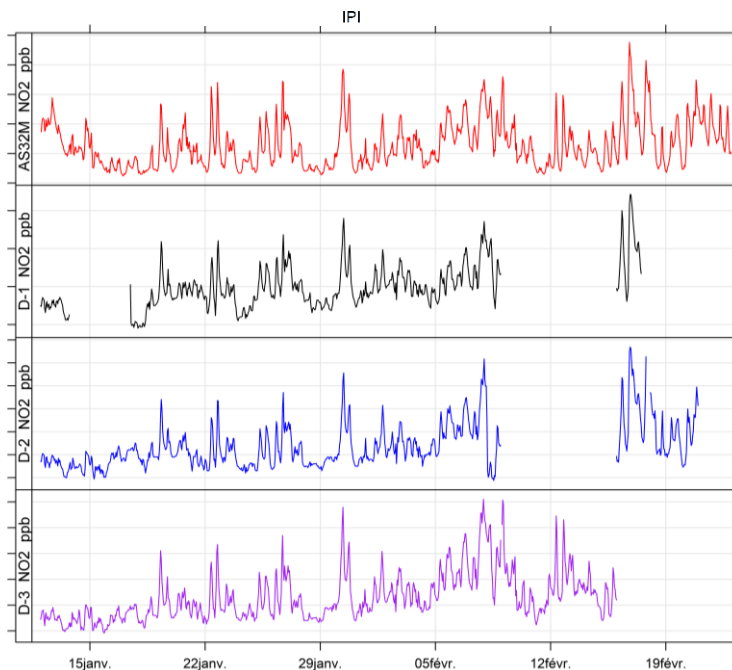
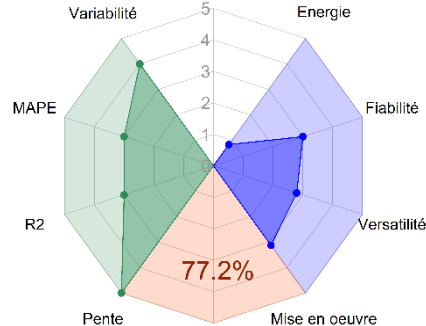
1 min (paramétrable à la demande),
Horodatage interne si option 4G

Stockage des données

Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	D1	D2	D3
Pente	1,19	1,00	1,04
Offset	4,47	0,76	0,67
R ²	0,66	0,64	0,61
Variabilité	9,02		
MAPE	68,26	8,79	12,38



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Les résultats en NO₂ sont très satisfaisants avec une linéarité proche de 1 et une dispersion suffisamment limitée pour envisager une utilisation pour de la mesure indicative. La reproductibilité des 3 systèmes est également très bonne.

Les - : alimentation électrique non fournie et connectique à nue. Le téléchargement des données sur des périodes de plus d'une semaine n'aboutit pas. Le format des données gaz en ppm n'est pas adapté aux mesures en air ambiant.

LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

EAµC Hiver 2018

INERIS

LNE

MTE Ligne Qualité

"L'expertise au service de la qualité de l'air"

D

AQT-420

Version N.C.



neuf

Dimensions

Poids

Transmission

Ø128x185mm

1,25kg

De base : RS232
En option : 4G

Principe physique

Electrochimique

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
NO₂, SO₂, CO, O₃
T, HR, P

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur (non fournie, fils nus)

Résolution temporelle

1 min (paramétrable à la demande),
Horodatage interne si option 4G

Stockage des données

Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

D1

D2

D3

Pente

0,84

1,01

1,10

Offset

3,48

0,11

-2,65

R²

0,28

0,52

0,57

Variabilité

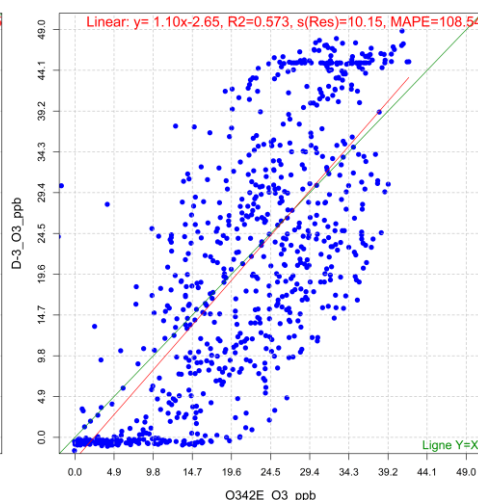
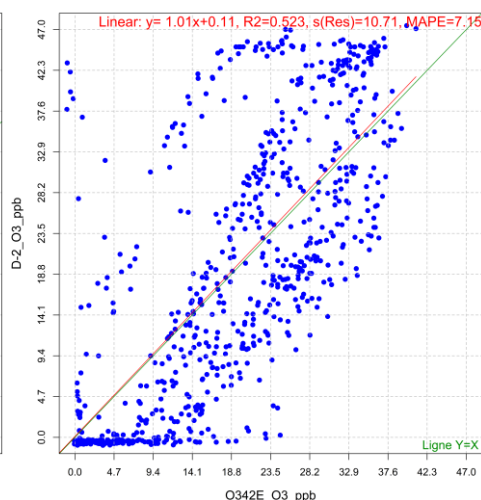
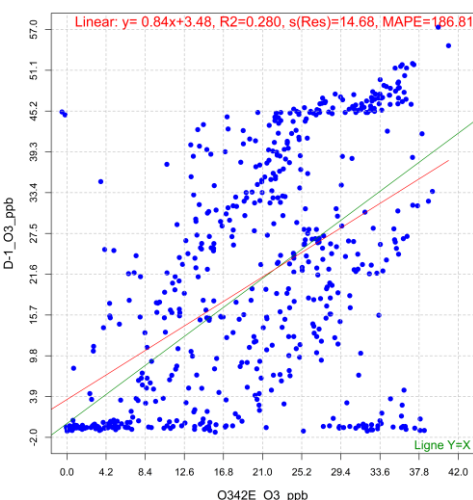
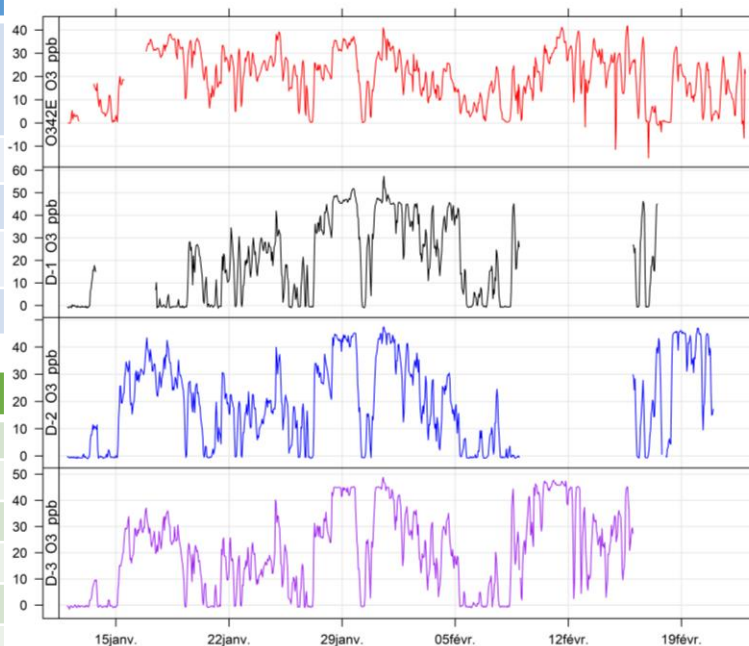
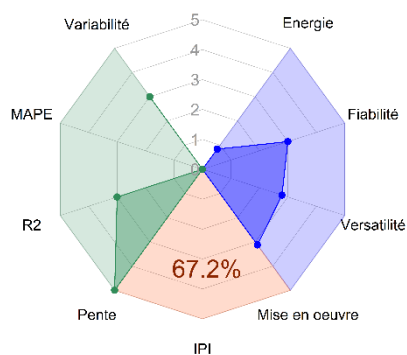
13,08

MAPE

186,81

7,15

108,54



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Les résultats en O₃ sont assez satisfaisants avec une linéarité proche de 1. La reproductibilité des 3 systèmes est également bonne.

Les - : alimentation électrique non fournie. Le téléchargement des données sur des périodes de plus d'une semaine n'aboutit pas. Le format des données gaz en ppm n'est pas adapté aux mesures en air ambiant. La dispersion des mesures est assez large et présente un hystérésis. Cependant ces mesures ont été relevées dans une situation de faible teneur en O₃.

D

AQT-420

Version N.C.



neuf

Dimensions

Ø128x185mm

Poids

1,25kg

Transmission

De base : RS232
En option : 4G

Principe physique

Optique (Propriétaire Vaisala)

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
NO₂, SO₂, CO, O₃
T, HR, P

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur (non fournie, fils nus)

Résolution temporelle

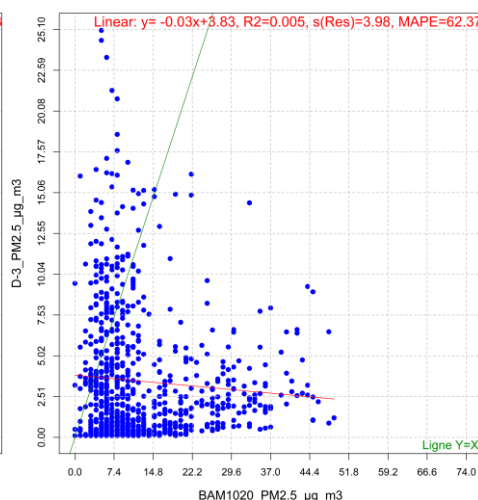
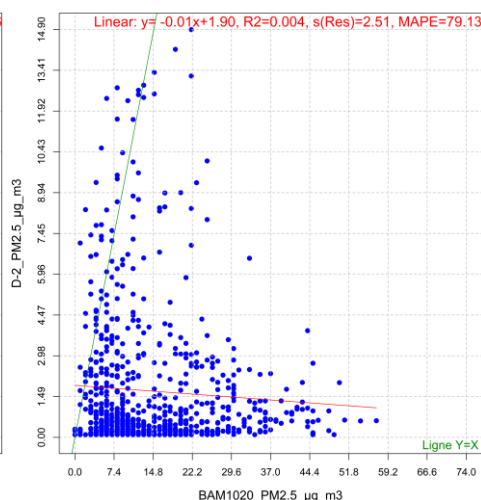
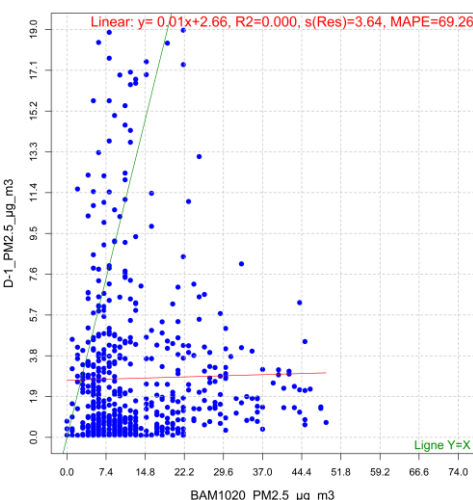
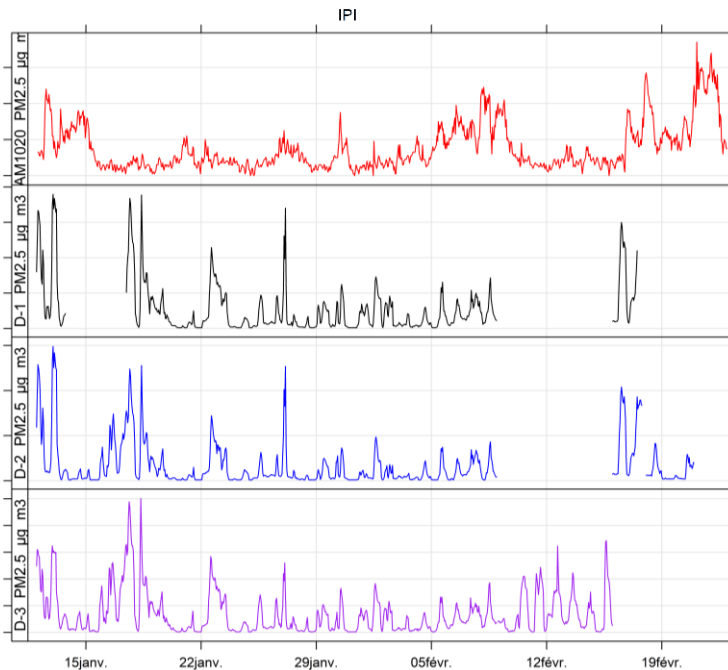
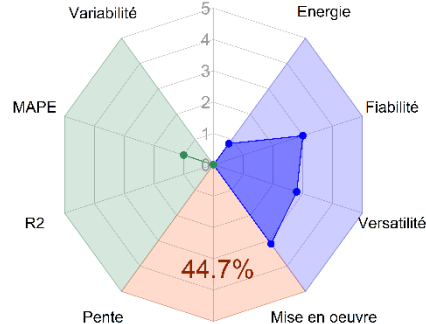
1 min (paramétrable à la demande),
Horodatage interne si option 4G

Stockage des données

Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	D1	D2	D3
Pente	0,01	-0,01	-0,03
Offset	2,66	1,90	3,83
R ²	<0,01	<0,01	0,01
Variabilité	149,48		
MAPE	69,26	79,13	62,37



Avis général :

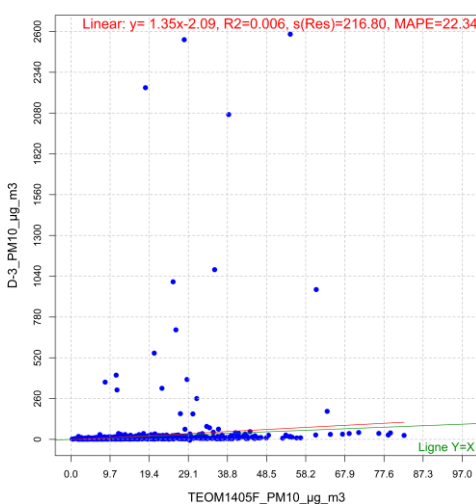
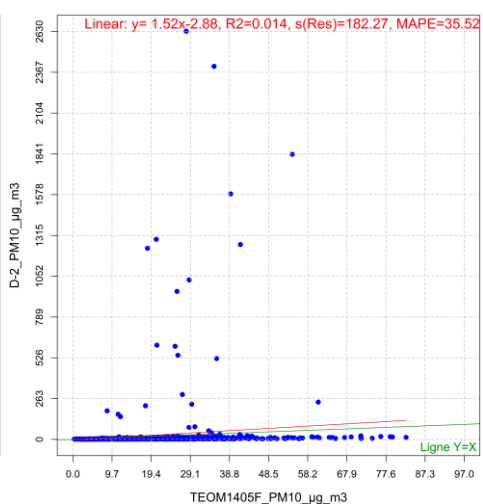
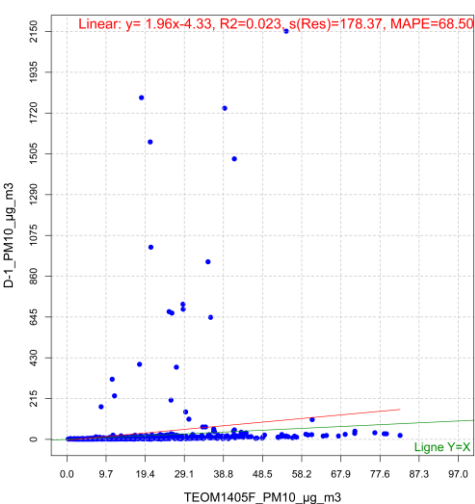
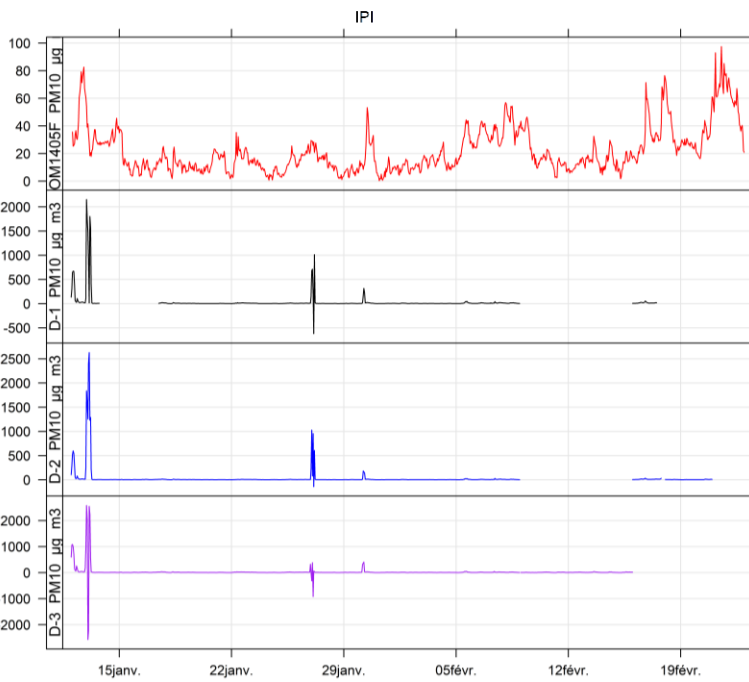
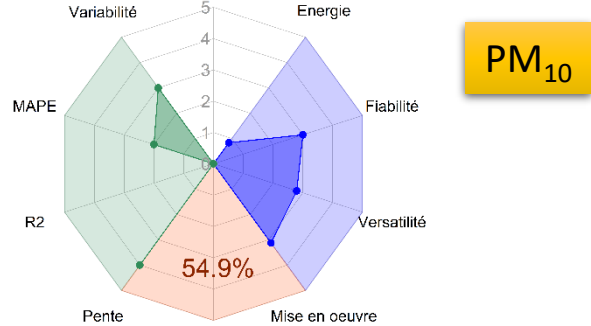
Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations.

Les - : alimentation électrique non fournie. Le téléchargement des données sur des périodes de plus d'une semaine n'aboutit pas. Les résultats de mesure en PM sont mauvais quelle que soit la fraction et quel que soit le module : il n'existe en effet aucune corrélation avec les mesures de référence.

D AQT-420	Version N.C.	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
Ø128x185mm	1,25kg	De base : RS232 En option : 4G
Principe physique	Optique (Propriétaire Vaisala)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique) NO₂, SO₂, CO, O₃ T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur (non fournie, fils nus)
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne si option 4G
Stockage des données	Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés			
Capteur	D1	D2	D3
Pente	1,96	1,52	1,35
Offset	-4,33	-2,88	-2,09
R²	0,02	0,01	0,01
Variabilité	19,77		
MAPE	68,50	35,52	22,34



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations.

Les - : alimentation électrique non fournie. Le téléchargement des données sur des périodes de plus d'une semaine n'aboutit pas. Les résultats de mesure en PM sont mauvais quelle que soit la fraction et quel que soit le module : il n'existe en effet aucune corrélation avec les mesures de référence.

NO₂

EA

Smart Env Pro

Version 3



neuf

Dimensions

4100x164x85mm
(antenne incluse)

Poids

800g

Transmission

4G, LoRA, WiFi,
SigFox, Xbee, Modbus,
RS232, RS485

Principe physique

Oxyde Métallique

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurés

PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : H₂S, CO, CO₂, **NO₂**, **NO**,
SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV, CH₄
T, HR, P, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (autonomie selon
config.), Panneaux solaires

Résolution temporelle

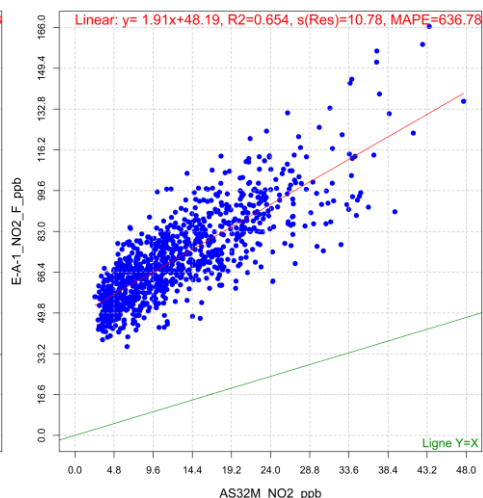
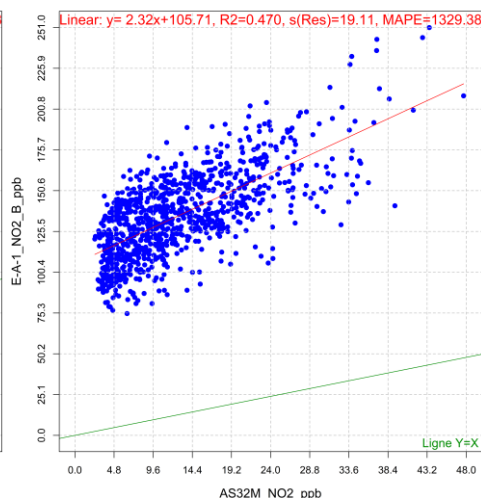
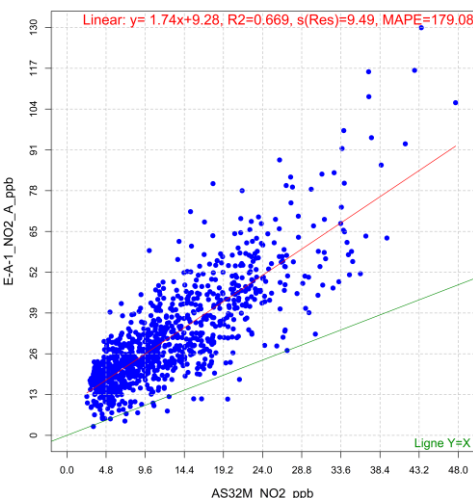
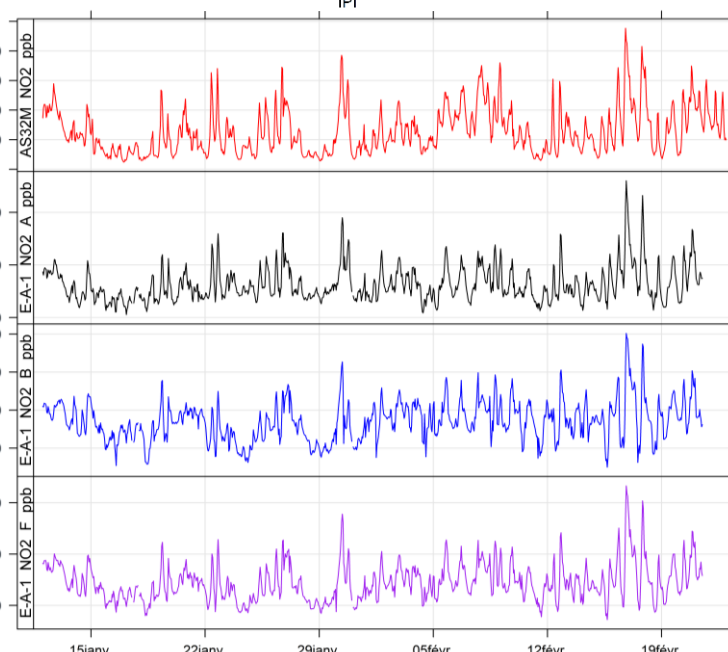
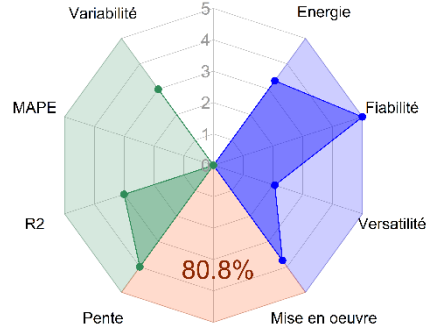
Programmable sans limite

Stockage des données

Carte SD, local, web, etc. logiciel
à développer

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EA1_A	EA1_B	EA1_F
Pente	1,74	2,32	1,91
Offset	9,28	105,71	48,19
R ²	0,67	0,47	0,65
Variabilité	15,03		
MAPE	179,08	1329,38	636,78



Avis général :

Les + : outil modulable et programmable à façon, dont le cahier des charges doit être pensé en amont de l'usage envisagé. Sa programmation est open-source, il existe donc des bibliothèques de configuration accessibles à tous sur le site constructeur. Par ailleurs il existe des forums d'échanges et une formation (payante) est proposée aux utilisateurs. La corrélation à NO₂ et la reproductibilité sont bonnes même si les valeurs sont sur-estimées pour les 3 capteurs, placés dans un module unique.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limitée (maximum 6), l'installation nécessite une phase préalable de programmation et le développement d'un logiciel d'acquisition qui nécessite un niveau de connaissance en informatique avancé. On note également un offset important pour les capteurs EA1_B et EA1_F.

LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

EAµC Hiver 2018

INERIS

LNE

MTE Ligne D'essai

MTE Ligne D'essai

"L'expertise au service de la qualité de l'air"



Dimensions

4100x164x85mm
(antenne incluse)

Poids

800g

Transmission

4G, LoRA, WiFi,
SigFox, Xbee, Modbus,
RS232, RS485

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurés**PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀** (Conc. massique)
En option : H₂S, CO, CO₂, **NO₂, NO**,
SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV, CH₄
T, HR, P, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (autonomie selon
config.), Panneaux solaires

Résolution temporelle

Programmable sans limite

Stockage des données

Carte SD, local, web, etc. logiciel
à développer

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

EA1

Pente

0,88

Offset

0,27

R²

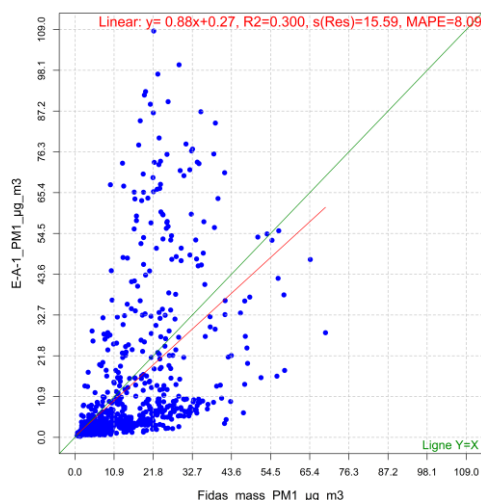
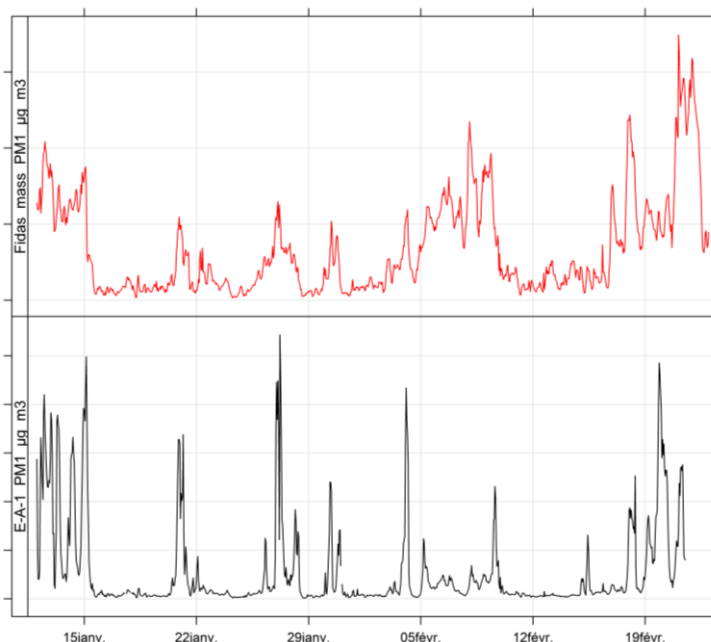
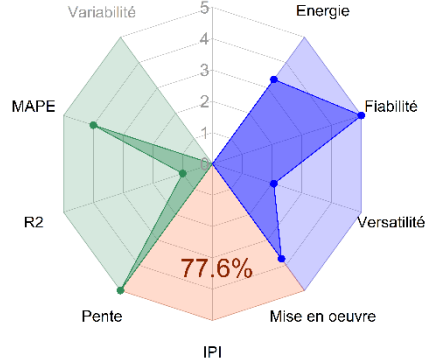
0,30

Variabilité

n/a

MAPE

8,09

Avis général :

Les + : outil modulable et programmable à façon, dont le cahier des charges doit être pensé en amont de l'usage envisagé. Sa programmation est open-source, il existe donc des bibliothèques de configuration accessibles à tous sur le site constructeur. Par ailleurs il existe des forums d'échanges et une formation (payante) est proposée aux utilisateurs. La corrélation est plutôt bonne pour la fraction la plus fine et se dégrade avec les fractions supérieures.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limité (maximum 6), l'installation nécessite une phase préalable de programmation et le développement d'un logiciel d'acquisition qui nécessite un niveau de connaissance en informatique avancé. La dispersion des mesures est importante pour l'ensemble des fractions.

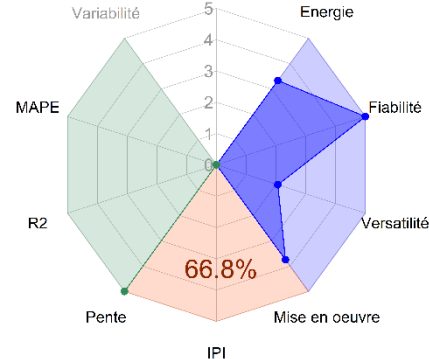
EA Smart Env Pro	Version 3	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
4100x164x85mm (antenne incluse)	800g	4G , LoRA, WiFi, SigFox, Xbee, Modbus, RS232, RS485
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

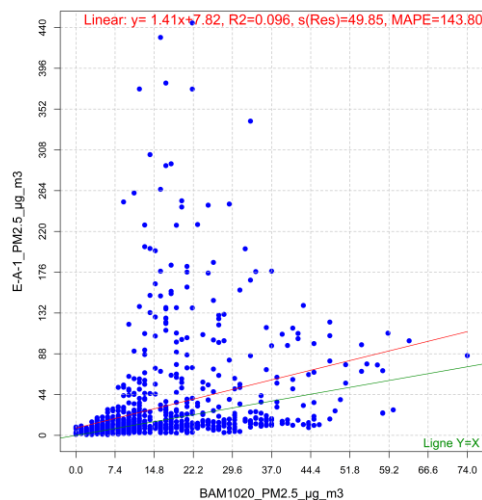
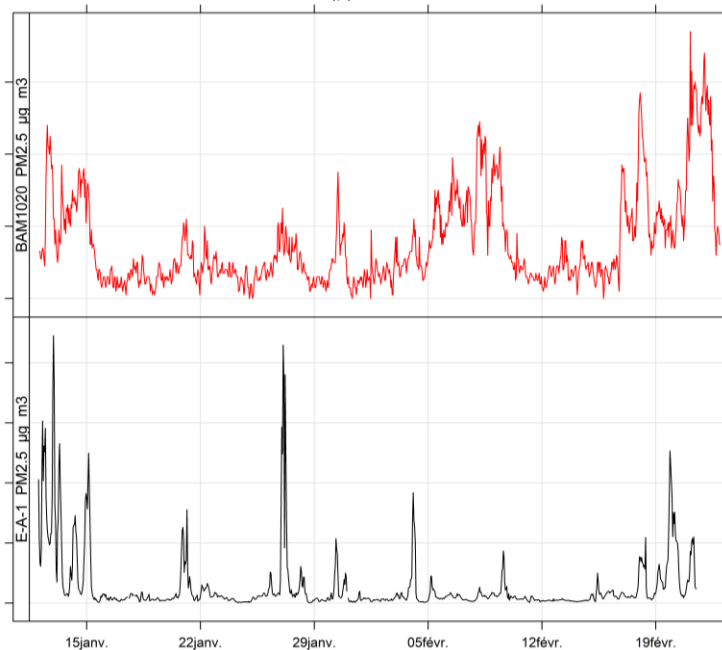
Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, CO, CO ₂ , NO₂ , NO , SO ₂ , O ₃ , O ₂ , NH ₃ , COV, CH ₄ T, HR, P, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (autonomie selon config.), Panneaux solaires
Résolution temporelle	Programmable sans limite
Stockage des données	Carte SD, local, web, etc. logiciel à développer

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EA1
Pente	1,41
Offset	7,82
R²	0,10
Variabilité	n/a
MAPE	143,80



PM_{2,5}



Avis général :

Les + : outil modulable et programmable à façon, dont le cahier des charges doit être pensé en amont de l'usage envisagé. Sa programmation est open-source, il existe donc des bibliothèques de configuration accessibles à tous sur le site constructeur. Par ailleurs il existe des forums d'échanges et une formation (payante) est proposée aux utilisateurs. La corrélation est plutôt bonne pour la fraction la plus fine et se dégrade avec les fractions supérieures.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limité (maximum 6), l'installation nécessite une phase préalable de programmation et le développement d'un logiciel d'acquisition qui nécessite un niveau de connaissance en informatique avancé. La dispersion des mesures est importante pour l'ensemble des fractions.

EA

Smart Env Pro

Version 3



neuf

Dimensions

4100x164x85mm
(antenne incluse)

Poids

800g

Transmission

4G, LoRA, WiFi,
SigFox, Xbee, Modbus,
RS232, RS485

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurés**PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀** (Conc. massique)
En option : H₂S, CO, CO₂, **NO₂**, **NO**,
SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV, CH₄
T, HR, P, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (autonomie selon
config.), Panneaux solaires

Résolution temporelle

Programmable sans limite

Stockage des données

Carte SD, local, web, etc. logiciel
à développer

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

EA1

Pente

2,49

Offset

6,71

R²

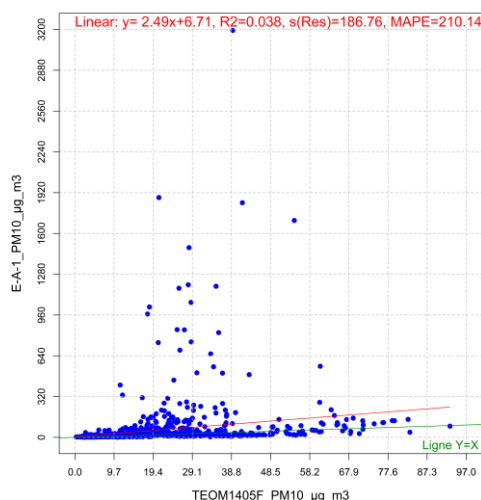
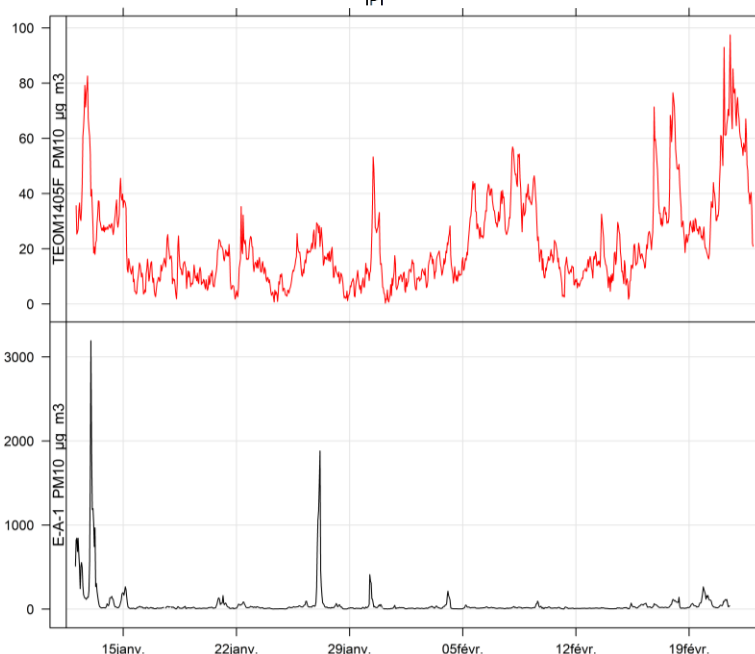
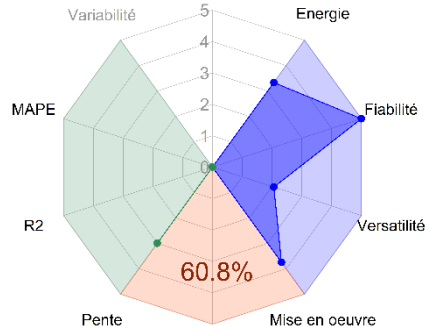
0,04

Variabilité

n/a

MAPE

210,14

Avis général :

Les + : outil modulable et programmable à façon, dont le cahier des charges doit être pensé en amont de l'usage envisagé. Sa programmation est open-source, il existe donc des bibliothèques de configuration accessibles à tous sur le site constructeur. Par ailleurs il existe des forums d'échanges et une formation (payante) est proposée aux utilisateurs. La corrélation est plutôt bonne pour la fraction la plus fine et se dégrade avec les fractions supérieures.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limité (maximum 6), l'installation nécessite une phase préalable de programmation et le développement d'un logiciel d'acquisition qui nécessite un niveau de connaissance en informatique avancé. La dispersion des mesures est importante pour l'ensemble des fractions.

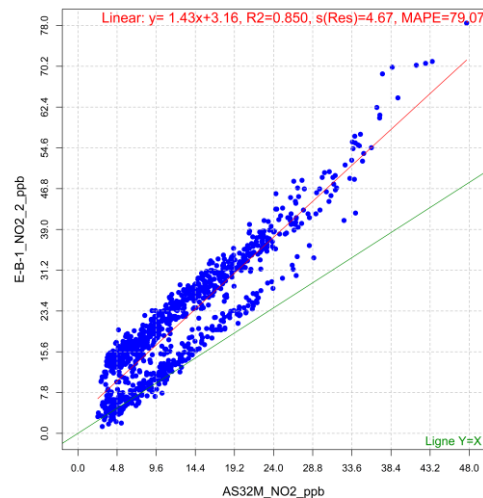
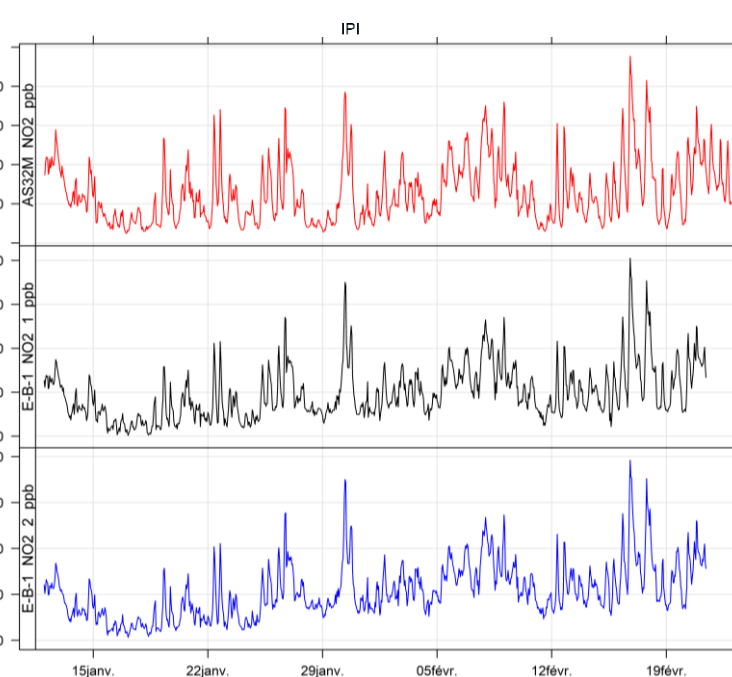
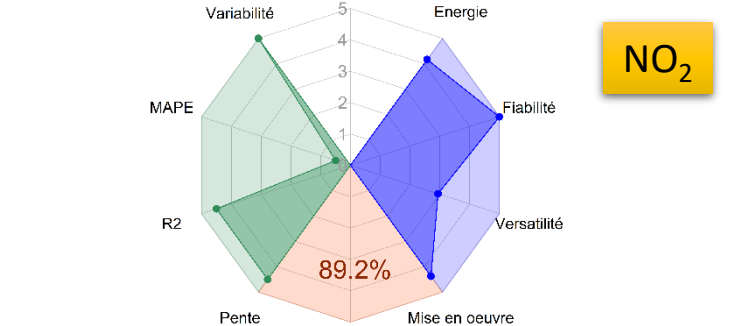
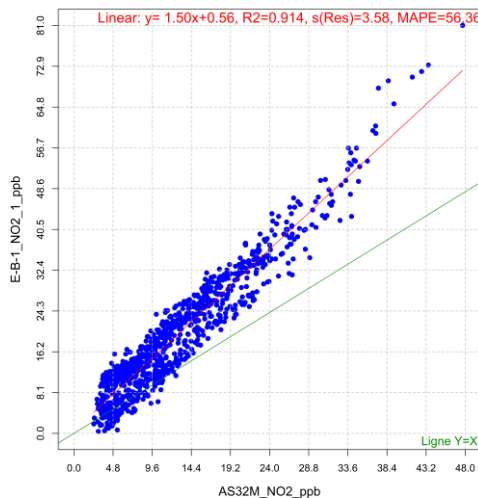
EB WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G , LoRA, Ethernet
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, RSH, CO, CO ₂ , NO₂ , NO, SO ₂ , O ₃ , O ₂ , NH ₃ , COV T, HR, vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EB1_1	EB1_2
Pente	1,50	1,43
Offset	0,56	3,16
R²	0,91	0,85
Variabilité	3,32	
MAPE	56,36	79,07



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules, et un filtre protège l'entrée gaz. La corrélation en NO₂ est plutôt bonne ainsi que la reproductibilité entre capteurs dans un même système, avec une dispersion acceptable pour envisager la mesure indicative de NO₂ en site fixe. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : on observe un phénomène d'hystérésis que l'on pourrait attribuer à un interférent (O₃?), ainsi qu'une légère surestimation de la concentration.

EB
WT1

Version 1



neuf

Dimensions

260x160x165mm
(antenne incluse)

Poids

<2kg

Transmission

3G/4G, LoRA,
Ethernet

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésPM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : H₂S, RSH, CO, CO₂,
NO₂, NO, SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV
T, HR, vit. et dir. de vent, ...

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 48h),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

1 min (réglable sur demande)

Stockage des données

Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

EB1

Pente

3,23

Offset

-9,48

R²

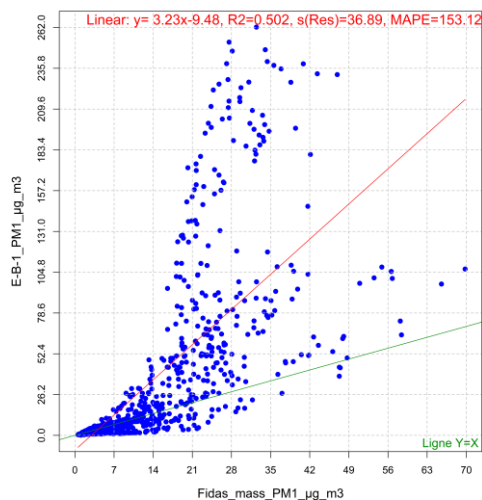
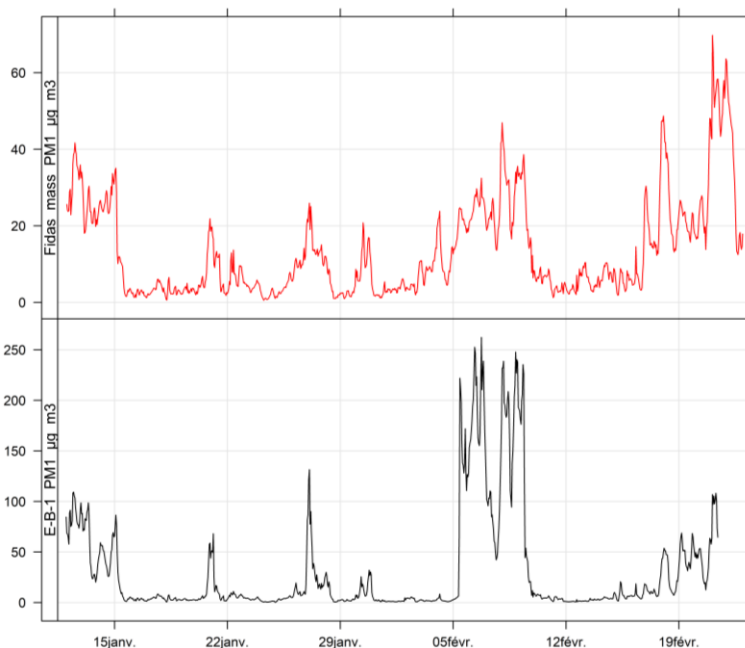
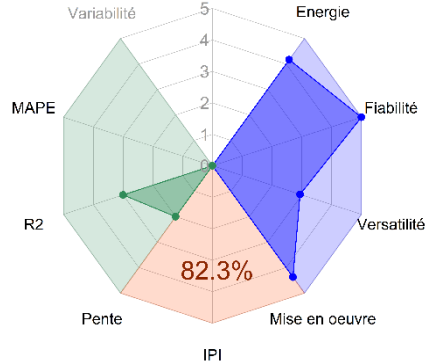
0,50

Variabilité

n/a

MAPE

153,12



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe.

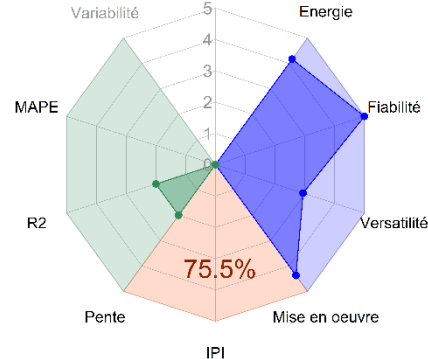
EB WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G , LoRA, Ethernet
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

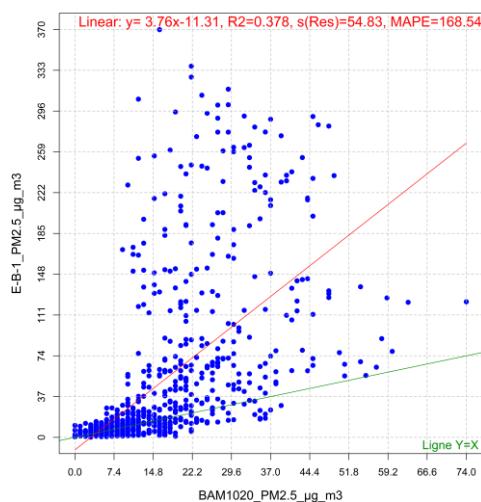
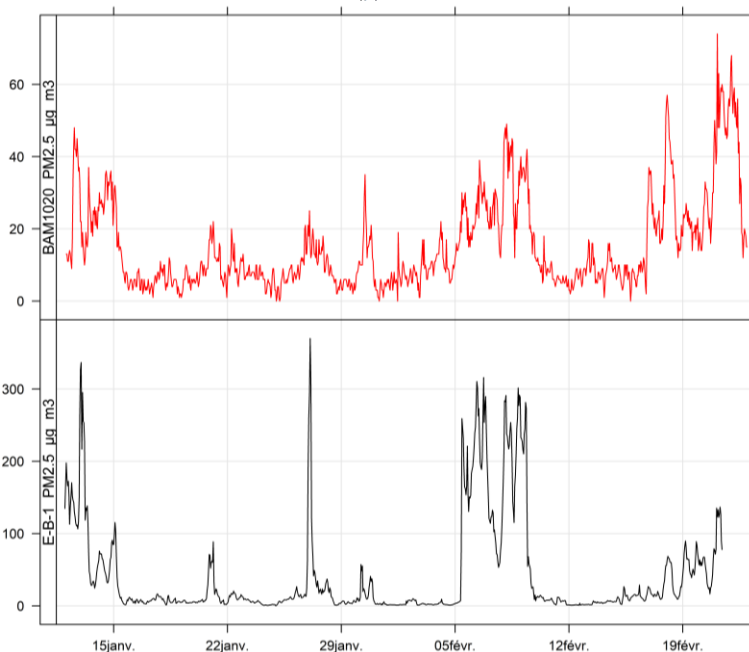
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, RSH, CO, CO ₂ , NO₂ , NO, SO₂ , O ₃ , O ₂ , NH ₃ , COV T, HR , vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EB1
Pente	3,76
Offset	-11,31
R²	0,38
Variabilité	n/a
MAPE	168,54



PM_{2,5}



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe.

EB
WT1

Version 1



neuf

Dimensions

260x160x165mm
(antenne incluse)

Poids

<2kg

Transmission

3G/4G, LoRA,
Ethernet

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésPM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : H₂S, RSH, CO, CO₂,
NO₂, NO, SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV
T, HR, vit. et dir. de vent, ...

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 48h),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

1 min (réglable sur demande)

Stockage des données

Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

EB1

Pente

6,00

Offset

-24,13

R²

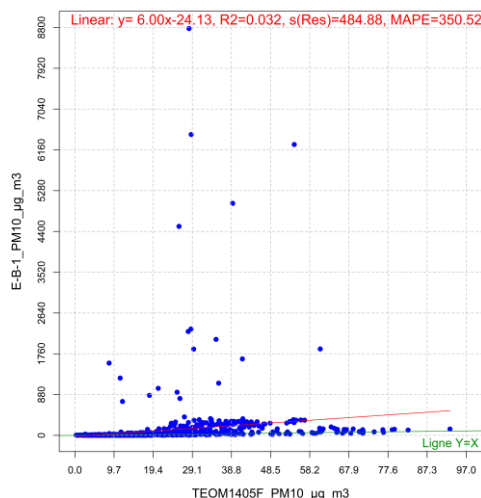
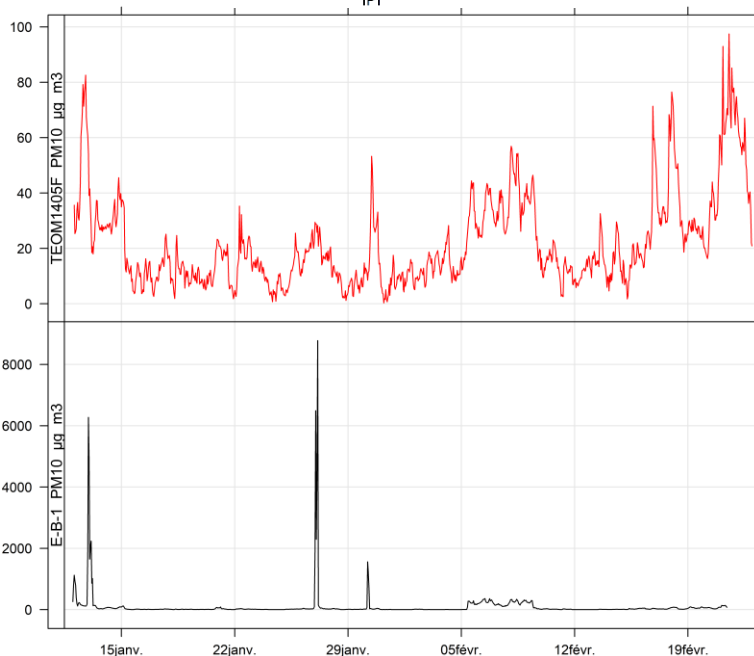
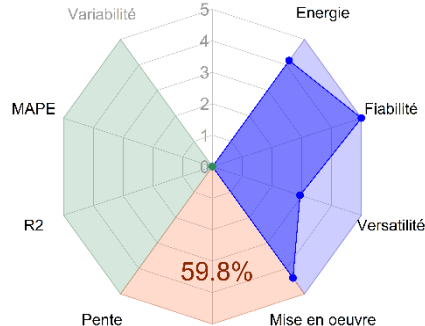
0,03

Variabilité

n/a

MAPE

350,52



Avis général :

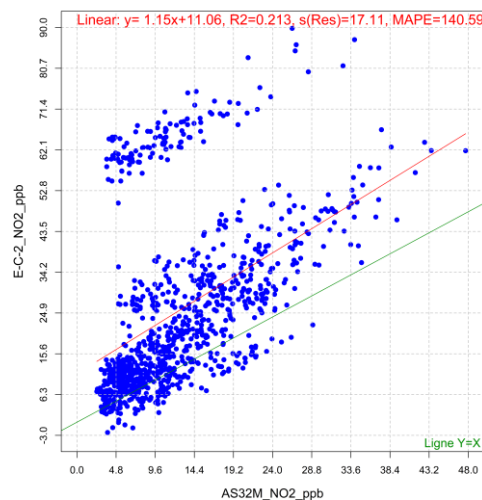
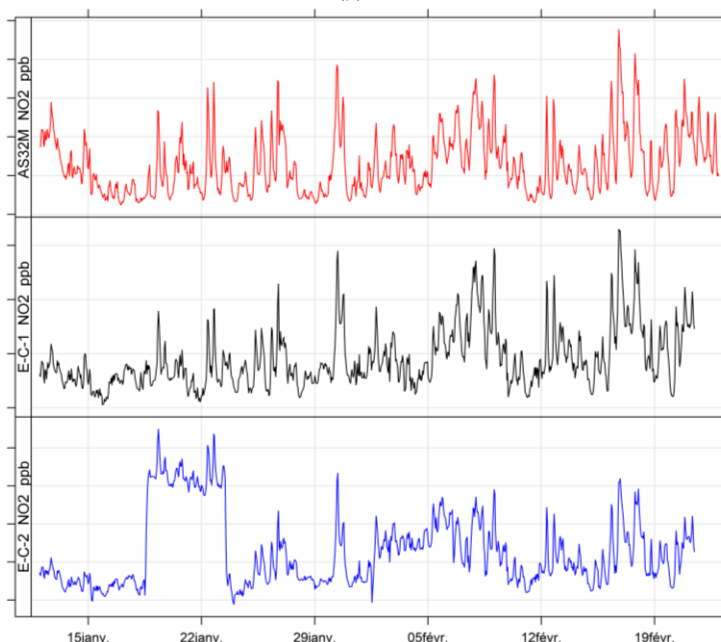
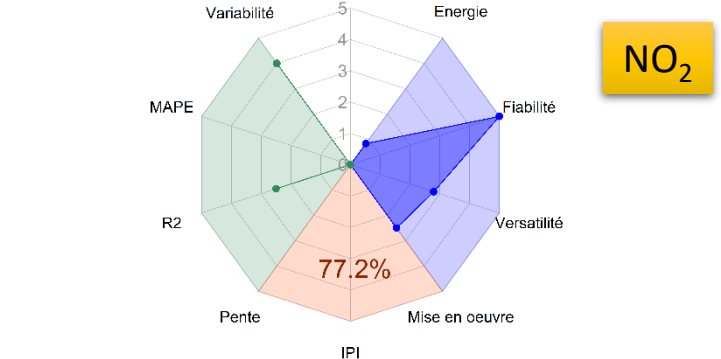
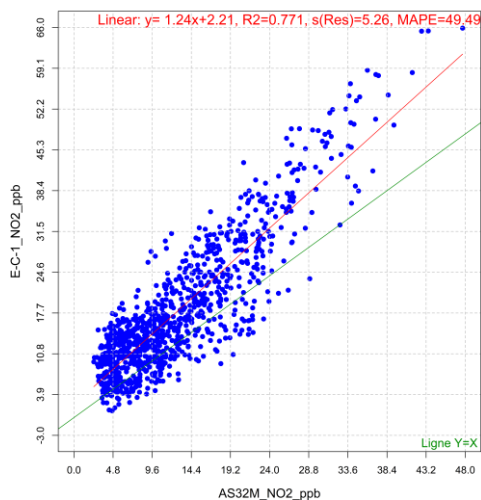
Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe.

EC AQT-420	Version N.C.	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
Ø128x185mm	1,25kg	De base : RS232 En option : 4G
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur (non fournie, fils nus)
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne si option 4G
Stockage des données	Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés		
Capteur	EC1	EC2
Pente	1,24	1,15
Offset	2,21	11,06
R²	0,77	0,21
Variabilité	5,68	
MAPE	49,49	140,59



Avis général :

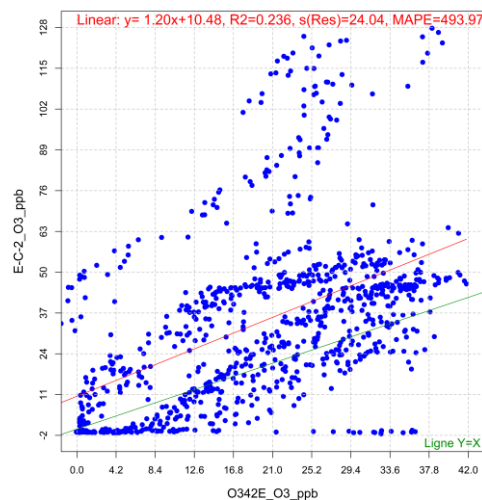
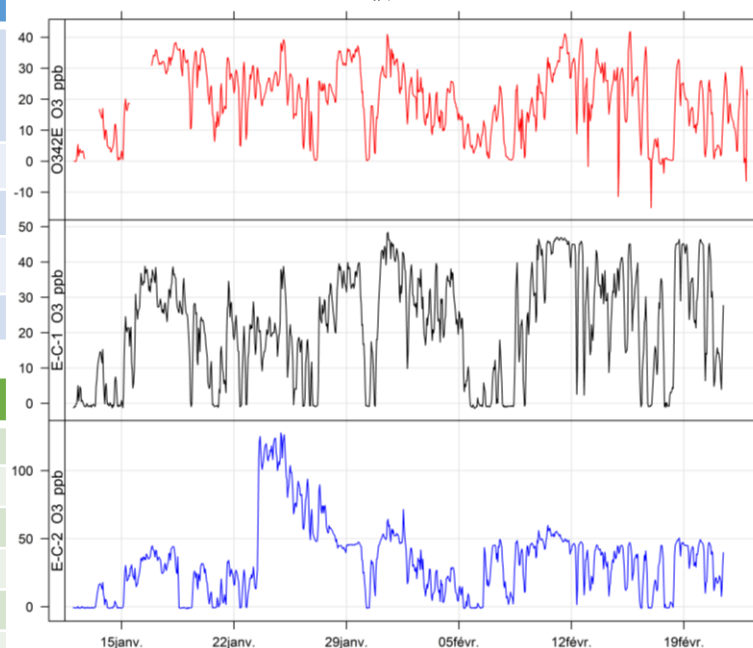
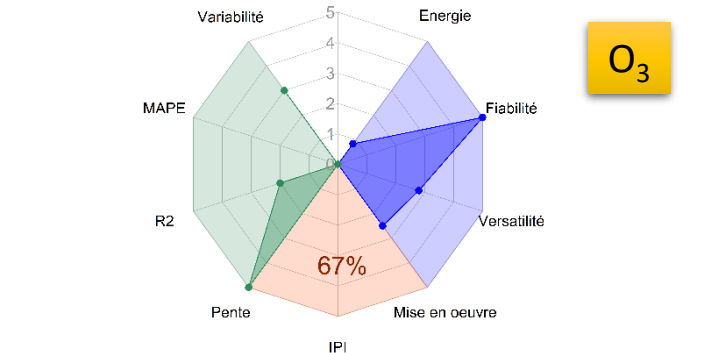
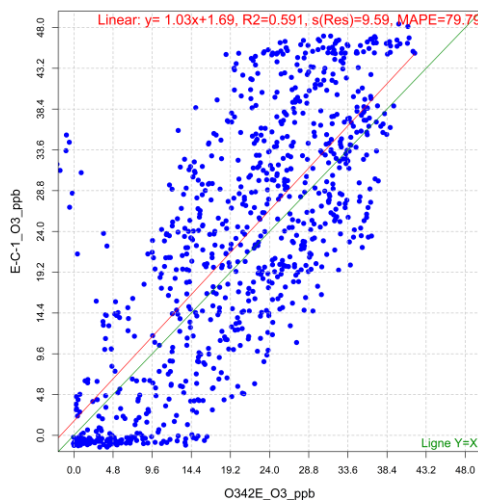
Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Les résultats en NO₂ sont satisfaisants avec une linéarité proche de 1 et une dispersion suffisamment limitée pour envisager une utilisation pour de la mesure indicative. La reproductibilité des 2 systèmes est bonne, mais pénalisée par un décalage d'offset inexpliqué (EC2).

Les - : alimentation électrique non fournie. Le format des données gaz en ppm n'est pas adapté aux mesures en air ambiant. Il existe un décalage de l'horodatage en liaison série qui augmente avec le temps et nécessite un recalage quotidien.

EC AQT-420	Version N.C.	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
Ø128x185mm	1,25kg	De base : RS232 En option : 4G
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur (non fournie, fils nus)
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne si option 4G
Stockage des données	Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés		
Capteur	EC1	EC2
Pente	1,03	1,20
Offset	1,69	10,48
R²	0,59	0,24
Variabilité	10,35	
MAPE	99,80	99,65



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Les résultats en O₃ sont moyens avec des sauts de gammes récurrents et difficiles à expliquer. La reproductibilité entre systèmes est correcte. Cet outil peut être envisagé dans des applications d'estimation objective de l'ozone en site fixe en niveaux faibles.

Les - : alimentation électrique non fournie. Le format des données gaz en ppm n'est pas adapté aux mesures en air ambiant. Il existe un décalage de l'horodatage en liaison série qui augmente avec le temps et nécessite un recalage quotidien.

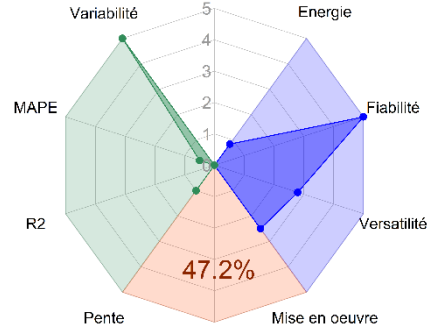
EC AQT-420	Version N.C.	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
Ø128x185mm	1,25kg	De base : RS232 En option : 4G
Principe physique	Optique (Propriétaire Vaisala)	

Spécifications techniques

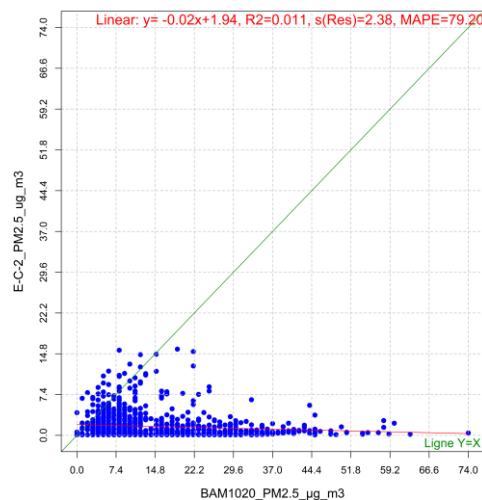
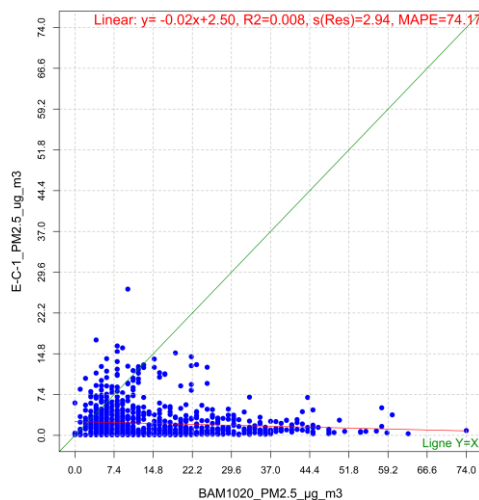
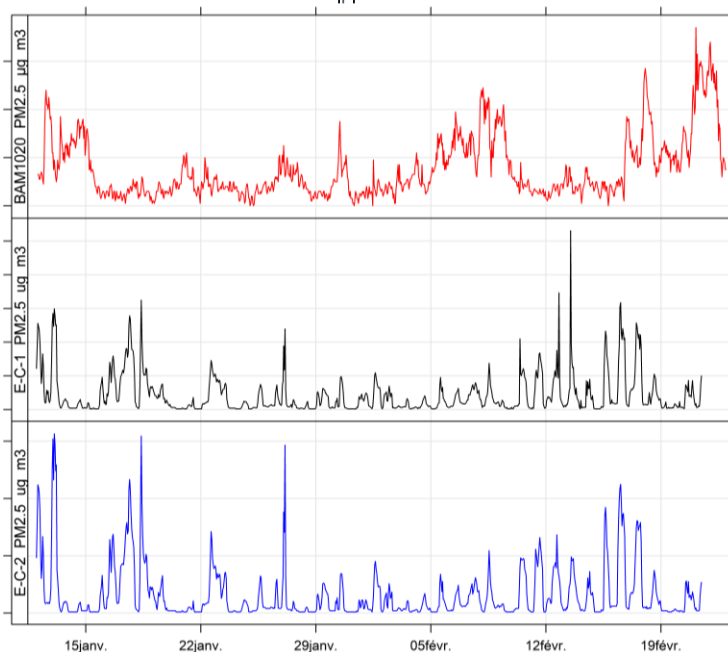
Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur (non fournie, fils nus)
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne si option 4G
Stockage des données	Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EC1	EC2
Pente	-0,02	-0,02
Offset	2,50	1,94
R²	0,01	0,01
Variabilité	2,82	
MAPE	74,17	79,20



PM_{2,5}



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations.

Les - : alimentation électrique non fournie. Alimentation électrique non fournie. Il existe un décalage de l'horodatage en liaison série qui augmente avec le temps et nécessite un recalage quotidien. Les résultats de mesure en PM sont mauvais quelle que soit la fraction et quel que soit le module : il n'existe en effet aucune corrélation avec les mesures de référence.

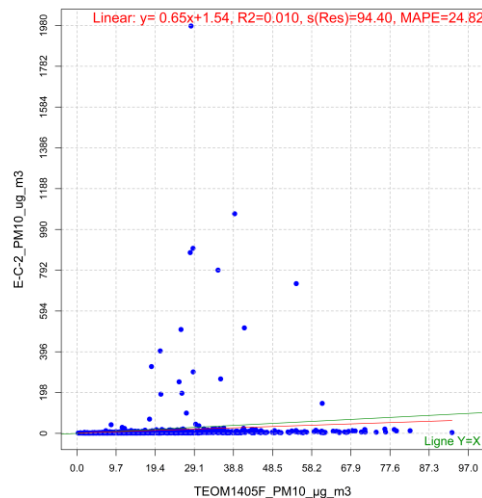
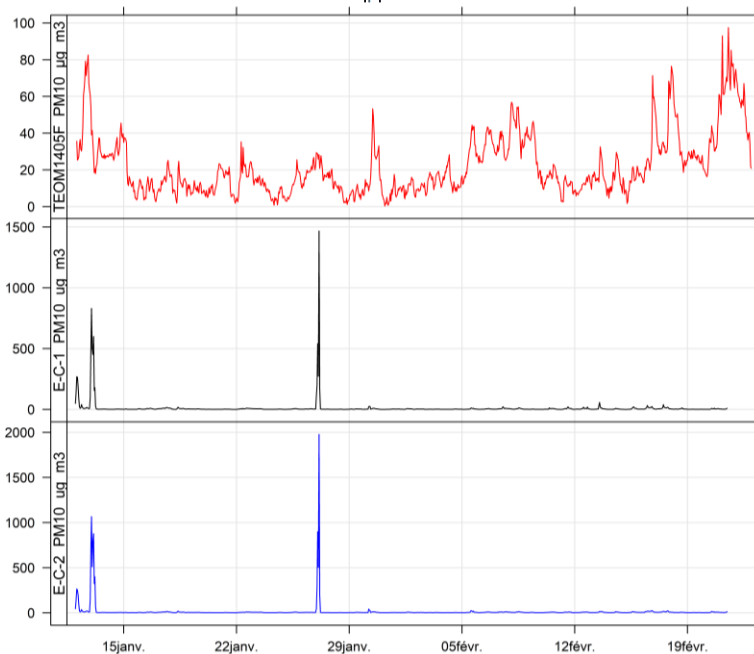
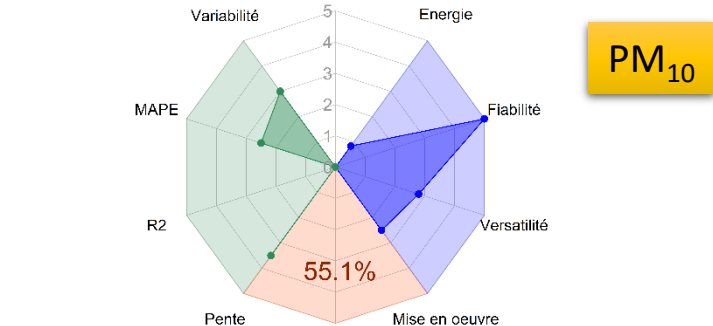
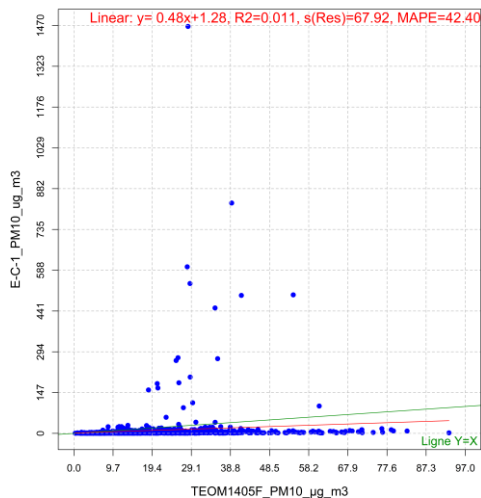
EC AQT-420	Version N.C.	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
Ø128x185mm	1,25kg	De base : RS232 En option : 4G
Principe physique	Optique (Propriétaire Vaisala)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) NO ₂ , SO ₂ , CO, O ₃ T, HR, P
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur (non fournie, fils nus)
Résolution temporelle	1 min (paramétrable à la demande), Horodatage interne si option 4G
Stockage des données	Logiciel ou site web AQView

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	EC1	EC2
Pente	0,48	0,65
Offset	1,28	1,54
R²	0,01	0,01
Variabilité	21,84	
MAPE	42,40	24,82



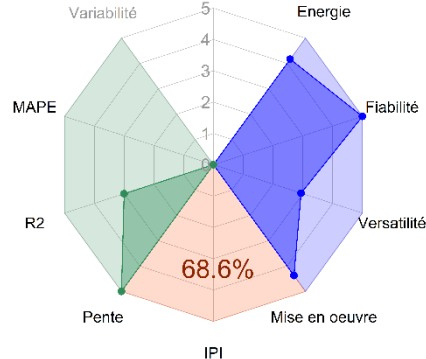
Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel est bien guidée (hors alimentation électrique). Un QR code permet d'identifier facilement le module et de le lier à l'application web. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations.

Les - : alimentation électrique non fournie. Alimentation électrique non fournie. Il existe un décalage de l'horodatage en liaison série qui augmente avec le temps et nécessite un recalage quotidien. Les résultats de mesure en PM sont mauvais quelle que soit la fraction et quel que soit le module : il n'existe en effet aucune corrélation avec les mesures de référence.

F WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G, LoRA, Ethernet
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

NO₂

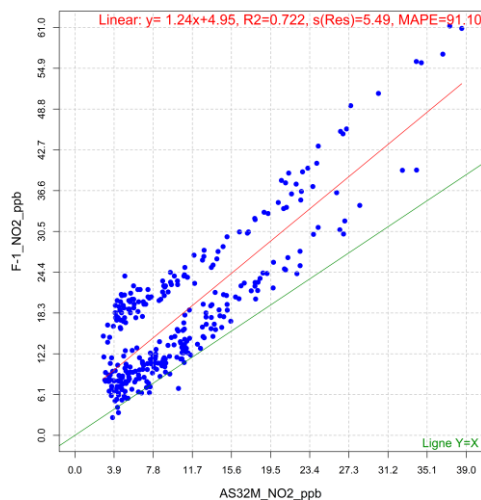
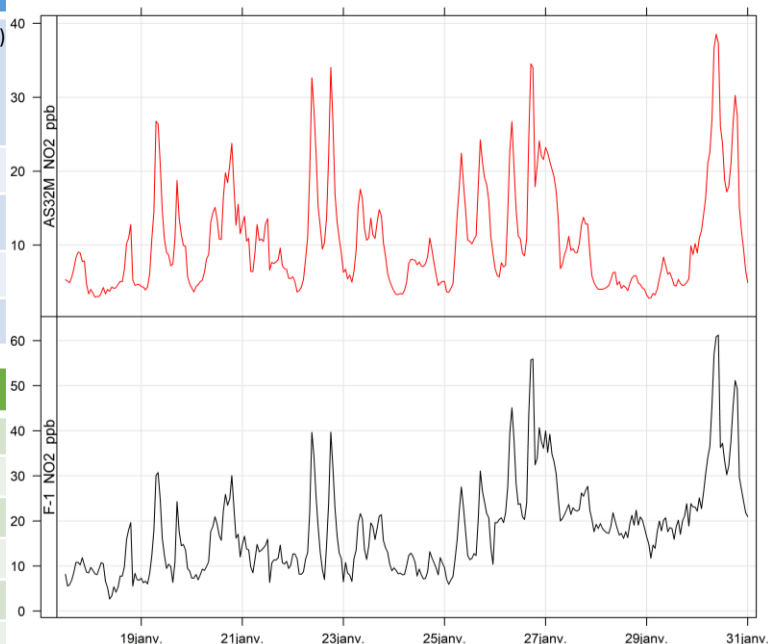


Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique) En option : H₂S, RSH, CO, CO₂, NO₂, NO, SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV T, HR , vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	F1
Pente	1,24
Offset	4,95
R²	0,72
Variabilité	n/a
MAPE	91,10



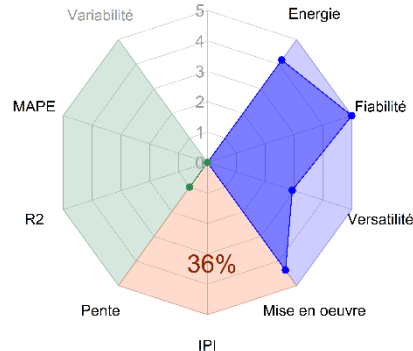
Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules, et un filtre protège l'entrée gaz. La corrélation en NO₂ est plutôt bonne ainsi que la reproductibilité entre capteurs dans un même système, avec une dispersion acceptable pour envisager la mesure indicative de NO₂ en site fixe. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : on observe un phénomène d'hystérésis que l'on pourrait attribuer à un interférent (O₃?), ainsi qu'une légère surestimation de la concentration. Seuls 15 jours de données ont été remontées en raison d'un problème logistique lié à la connexion GSM.

F WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G , LoRA, Ethernet
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

O₃

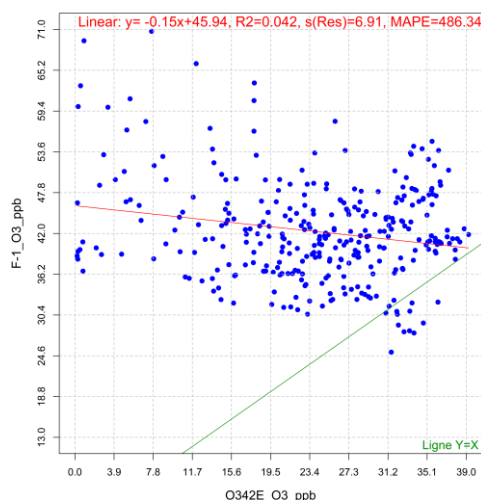
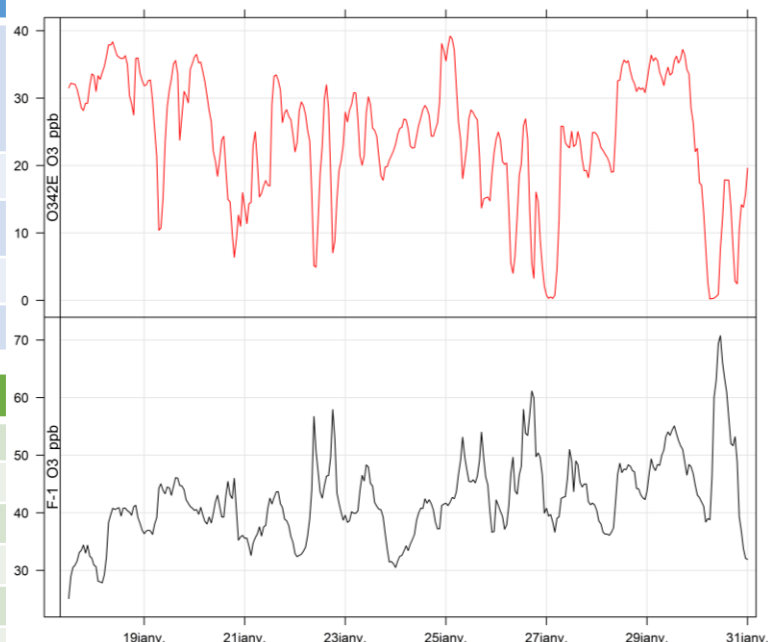


Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, RSH, CO, CO ₂ , NO₂ , NO, SO₂ , O₃ , O ₂ , NH ₃ , COV T, HR, vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	F1
Pente	-0,15
Offset	45,94
R²	0,04
Variabilité	n/a
MAPE	486,34



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules, et un filtre protège l'entrée gaz.

Les - : il n'existe aucune corrélation entre les mesures du capteur et la référence et la dispersion est très large (aie). Seuls 15 jours de données ont été remontées en raison d'un problème logistique lié à la connexion GSM.

F
WT1

Version 1



neuf

Dimensions

260x160x165mm
(antenne incluse)

Poids

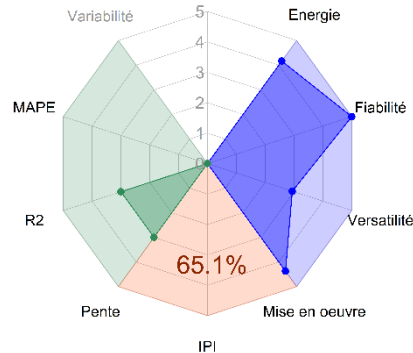
<2kg

Transmission

3G/4G, LoRA,
Ethernet

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)



Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
 En option : H₂S, RSH, CO, CO₂,
 NO₂, NO, SO₂, O₃, O₂, NH₃, COV
 T, HR, vit. et dir. de vent, ...

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 48h),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

1 min (réglable sur demande)

Stockage des données

Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

F1

Pente

2,77

Offset

-2,71

R²

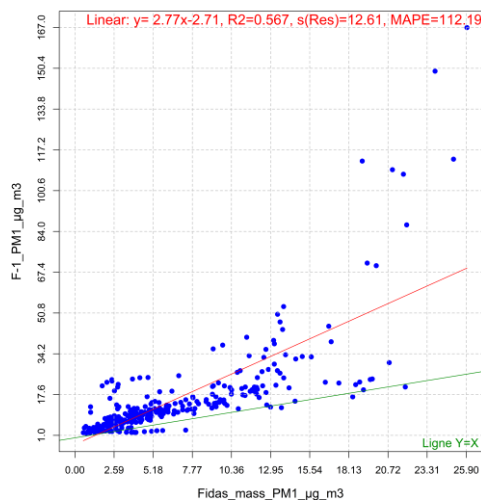
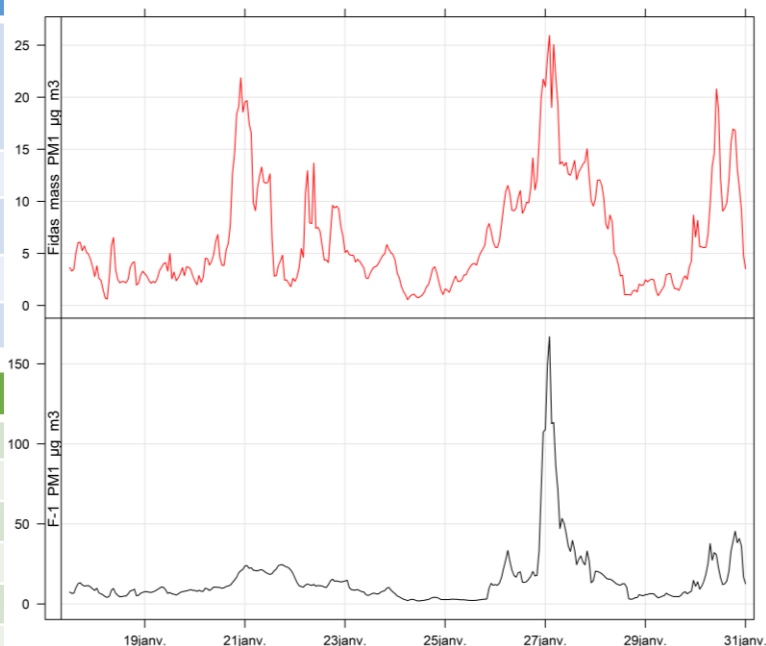
0,57

Variabilité

n/a

MAPE

112,19



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe. Seuls 15 jours de données ont été remontées en raison d'un problème logistique lié à la connexion GSM.

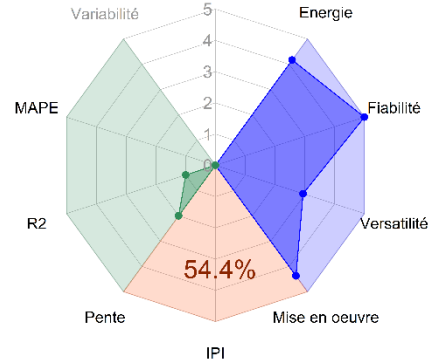
F WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G , LoRA, Ethernet
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

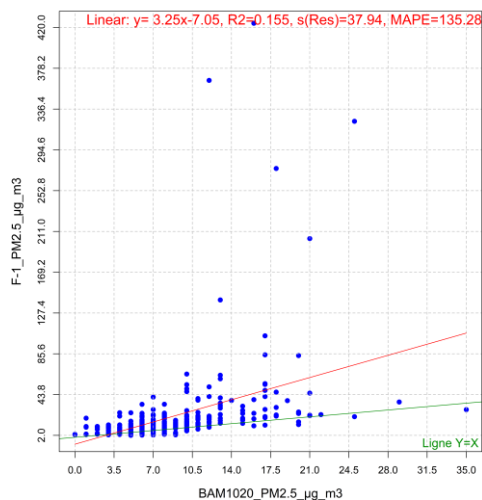
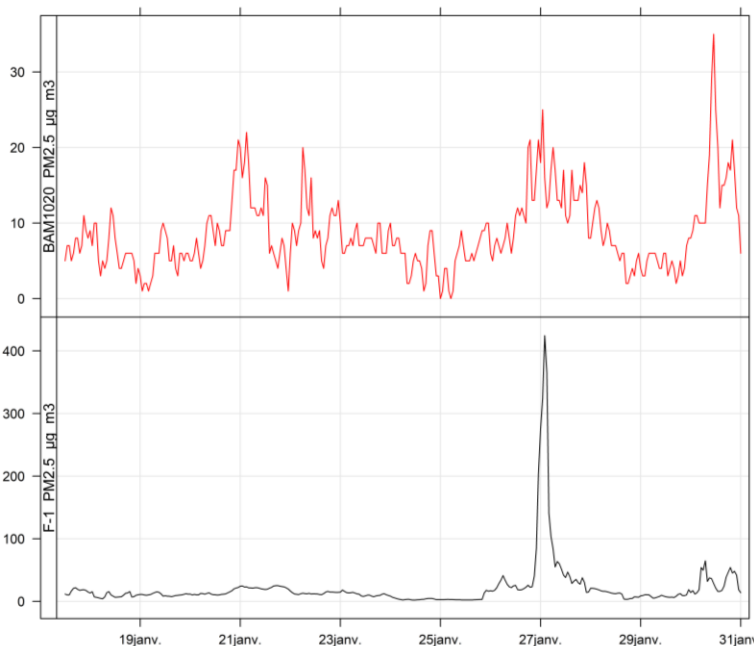
Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, RSH, CO, CO ₂ , NO₂ , NO, SO₂ , O ₃ , O ₂ , NH ₃ , COV T, HR, vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	F1
Pente	3,25
Offset	-7,05
R²	0,16
Variabilité	n/a
MAPE	135,28



PM_{2,5}



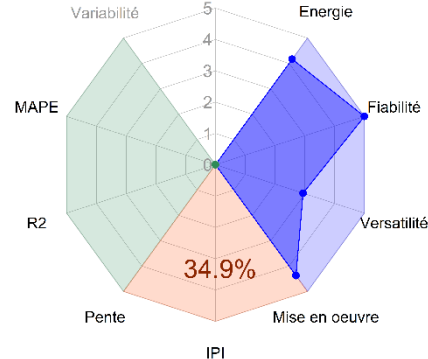
Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe. Seuls 15 jours de données ont été remontées en raison d'un problème logistique lié à la connexion GSM.

F WT1	Version 1	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
260x160x165mm (antenne incluse)	<2kg	3G/4G, LoRA, Ethernet
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

PM₁₀

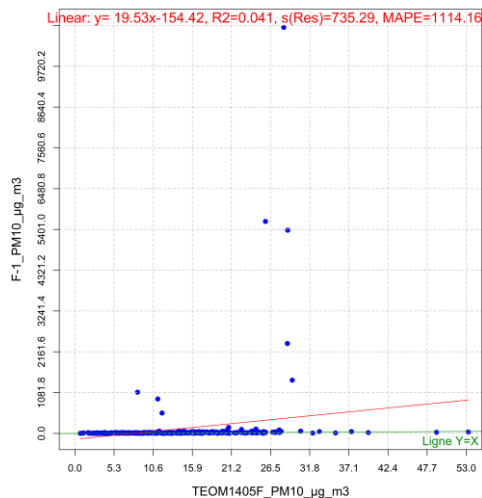
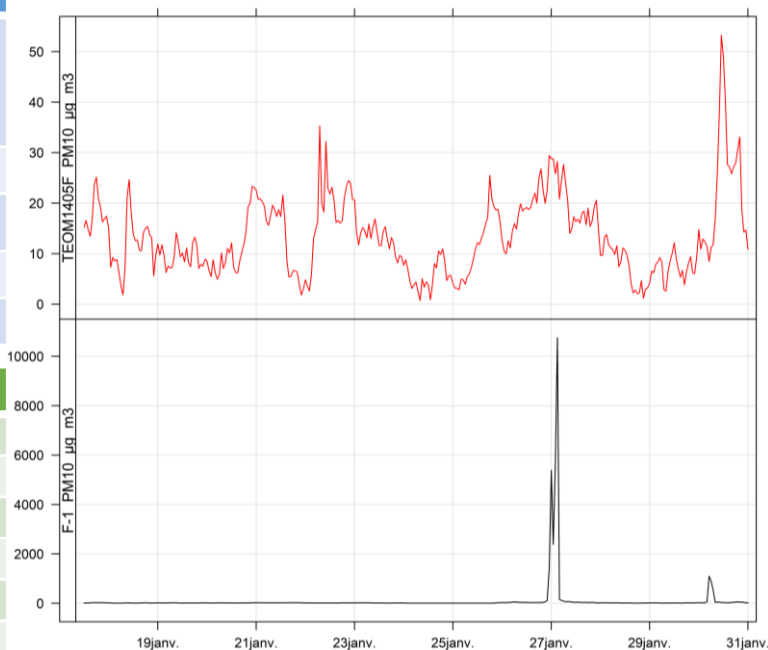


Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (Conc. massique) En option : H ₂ S, RSH, CO, CO ₂ , NO ₂ , NO, SO ₂ , O ₃ , O ₂ , NH ₃ , COV T, HR, vit. et dir. de vent, ...
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 48h), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web Rubixsoft

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	F1
Pente	19,53
Offset	-154,42
R²	0,04
Variabilité	n/a
MAPE	1114,16



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. Il existe des entrées dissociées pour gaz et particules. Excellente fiabilité et simplicité dans la remontée des données.

Les - : la corrélation en PM présente une dispersion qui augmente avec la fraction et la concentration, la réponse n'est pas linéaire sans qu'il soit possible de dégager un modèle. En l'état, il est difficile d'envisager une utilisation en mesure indicative site fixe. Seuls 15 jours de données ont été remontées en raison d'un problème logistique lié à la connexion GSM.

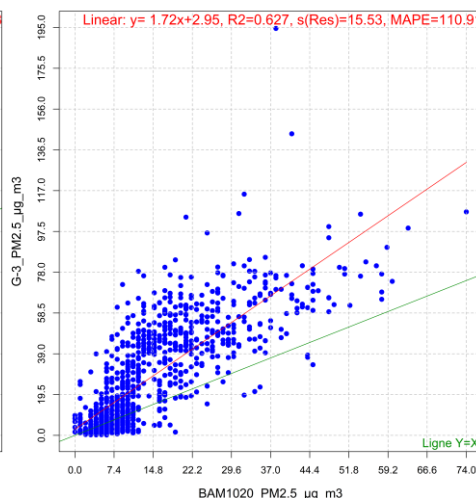
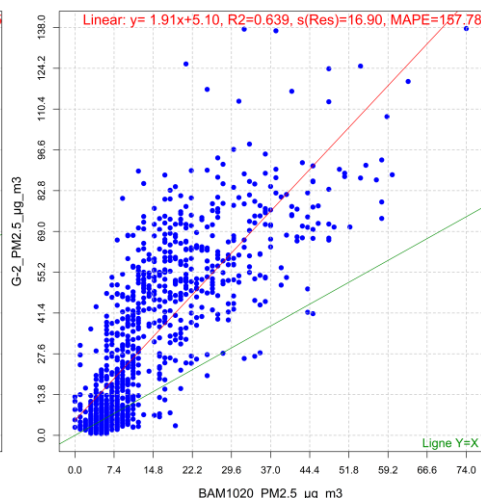
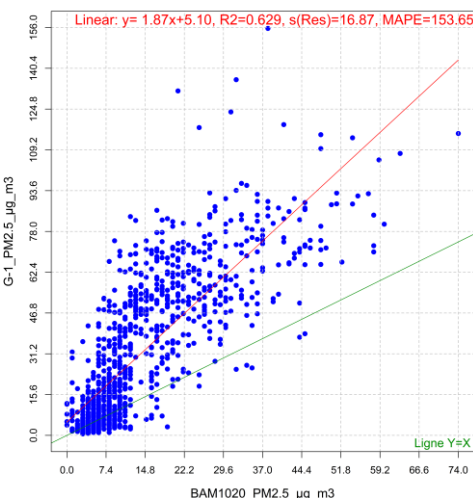
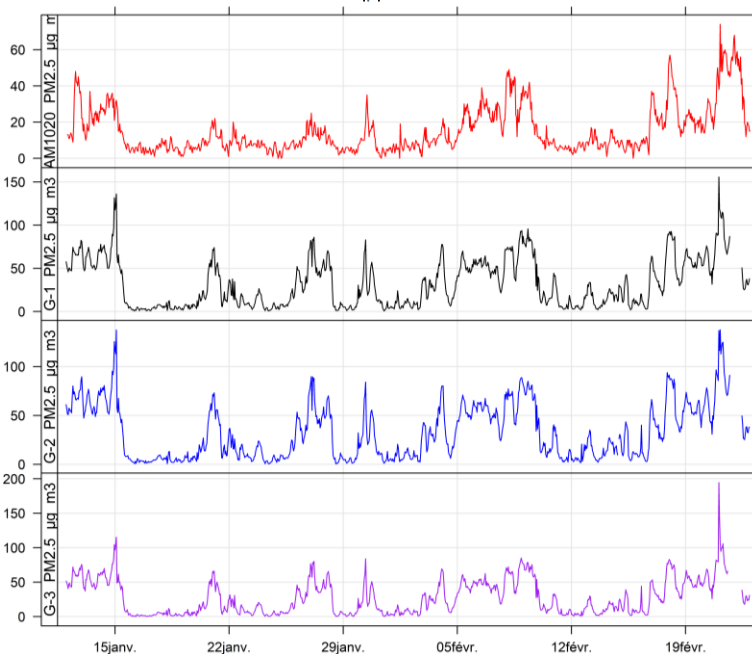
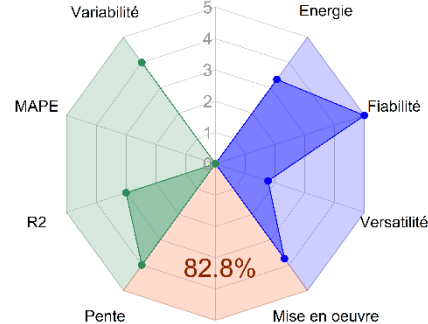
G	Version 1	neuf
Dimensions	Poids	Transmission
165x84x58mm (hors antenne)	<500g	WiFi, 3G/4G
Principe physique	Laser rouge	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM _{2,5} (concentration massique, comptage) NO ₂ , COV, CO ₂ T, HR, GPS
Usage	Fixe, Mobile
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 15j) Panneaux solaires
Résolution temporelle	15min (réglable sur demande)
Stockage des données	site web

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	G1	G2	G3
Pente	1,87	1,91	1,72
Offset	5,10	5,10	2,95
R ²	0,63	0,64	0,63
Variabilité	5,40		
MAPE	153,65	157,78	110,91



Avis général :

Les + : l'installation et la récupération des données en ligne sont très faciles, à l'aide notamment d'un QR-Code d'identification à scanner. La géolocalisation associée à un système léger et très autonome, ainsi que la visualisation via le site en ligne, permet d'envisager des déploiements en nombre sur le terrain pour de la cartographie et l'identification de hot-spots. Par ailleurs, il existe une fonction de calibrage, qui permet de prendre en compte de la nature de la particule. Excellente reproductibilité des trois systèmes, mais la corrélation au PM_{2,5} reste moyenne avec un effet de seuil autour de 15µg/m³.

Les - : manque une visualisation directe du fonctionnement, pas de manuel technique. La configuration proposée sur cet essai manquait de paramètres réglementés complémentaires (PM₁₀, NO₂). Dispersion relativement large.

HA

Version 2

neuf

Dimensions

370x230x200mm

Poids

5kg

Transmission

série, **3G/4G**,
ZigBee

Principe physique

Electrochimique

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : **NO₂, O₃/NO₂, CO, CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV T, HR, P, GPS**

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 6j),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

5 min (réglable à la demande)

Stockage des données

Serveur ftp, Logiciel
propriétaire, **Site web**

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

HA1

HA2

Pente

0,05

0,36

Offset

0,88

1,98

R²

0,29

0,42

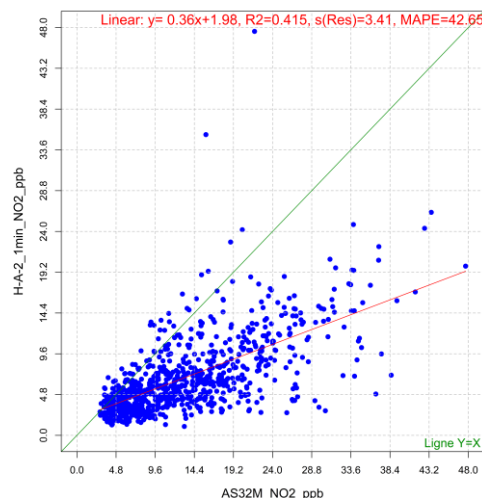
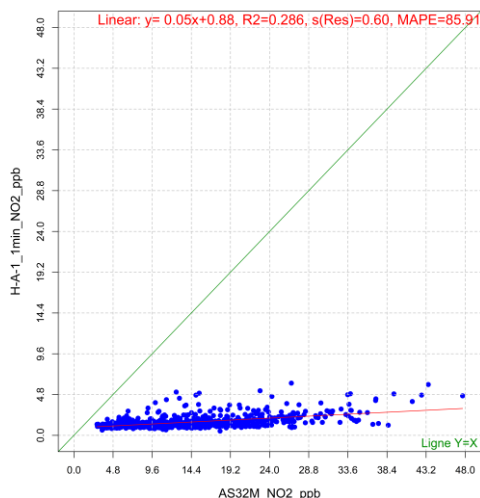
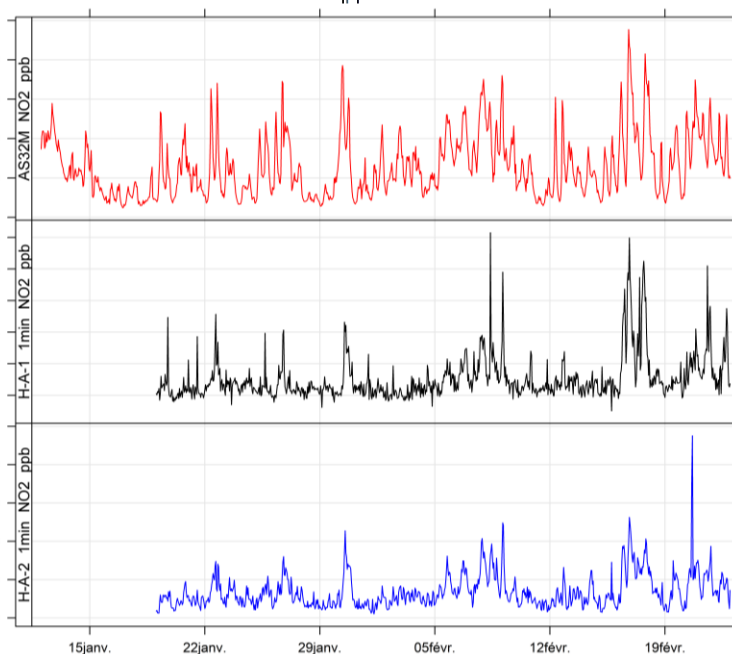
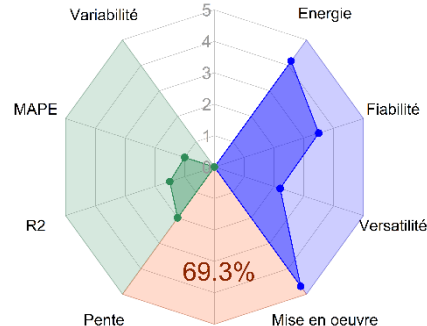
Variabilité

108,46

MAPE

85,91

42,65



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable. Le suivi dynamique semble bon mais le capteur HA1 présente un facteur 1/10 surprenant.

Les - : assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La dispersion entre systèmes est assez large, et a tendance à fortement sous-estimer les teneurs en NO₂. Cependant les niveaux de NO₂ rencontrés sur cette campagne sont faibles, proches de la limite de détection.

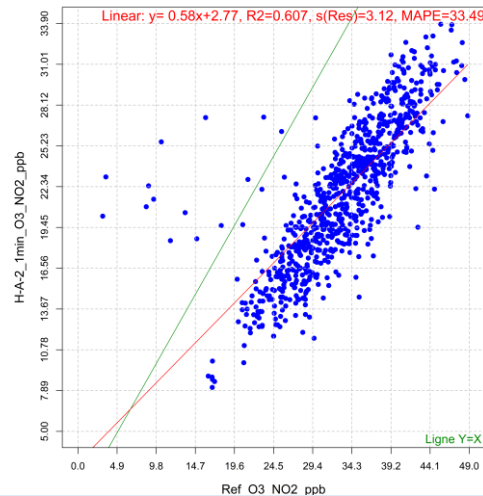
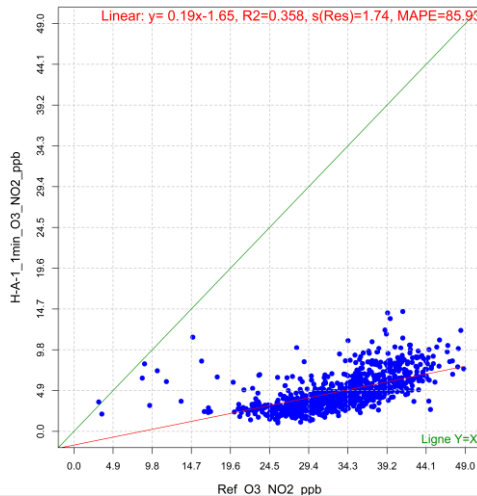
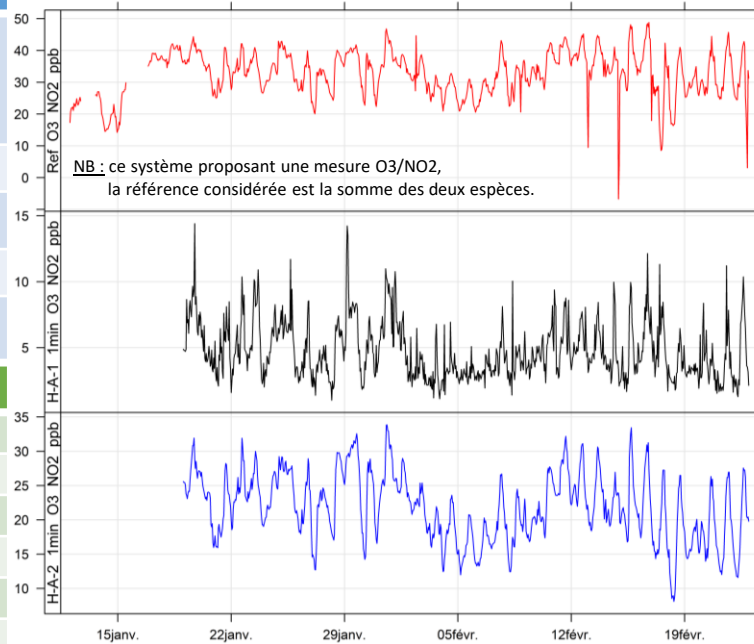
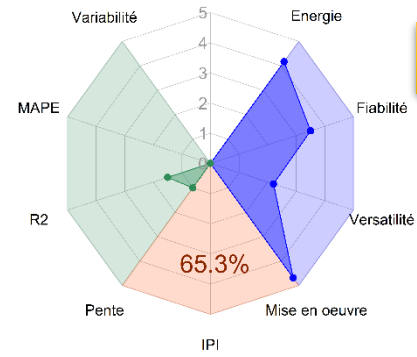
HA	Version 2	neuf
Dimensions	Poids	Transmission
370x230x200mm	5kg	série, 3G/4G , ZigBee
Principe physique	Electrochimique	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique) En option : NO₂, O₃/NO₂, CO, CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV T, HR, P, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 6j), Panneaux solaires
Résolution temporelle	5 min (réglable à la demande)
Stockage des données	Serveur ftp, Logiciel propriétaire, Site web

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	HA1	HA2
Pente	0,19	0,58
Offset	-1,65	2,77
R²	0,36	0,61
Variabilité	156,62	
MAPE	85,93	33,49



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable. Le suivi dynamique semble bon mais le capteur HA1 présente un facteur 1/10 surprenant.

Les - : assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La dispersion entre systèmes est assez large, et a tendance à fortement sous-estimer les teneurs en (O₃+NO₂). Cependant les niveaux de O₃ et NO₂ rencontrés sur cette campagne sont faibles, proches de la limite de détection.

HA

Version 2

neuf

Dimensions

370x230x200mm

Poids

5kg

Transmission

série, **3G/4G**,
ZigBee

Principe physique

Laser Rouge

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : **NO₂, O₃/NO₂, CO, CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV T, HR, P, GPS**

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 6j),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

5 min (réglable à la demande)

Stockage des données

Serveur ftp, Logiciel
propriétaire, **Site web**

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

HA1

HA2

Pente

0,31

0,49

Offset

7,28

7,33

R²

0,07

0,13

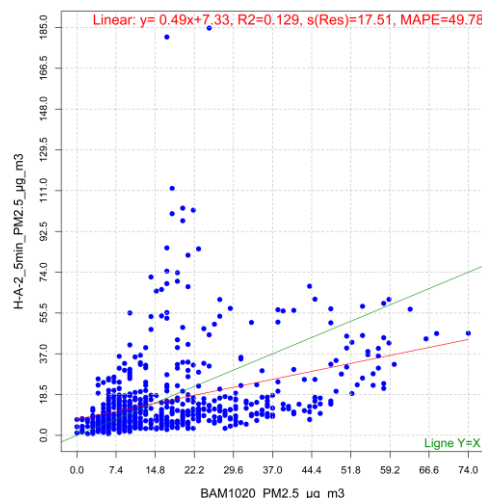
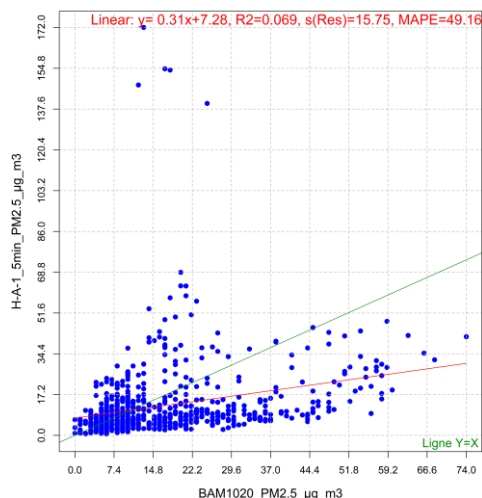
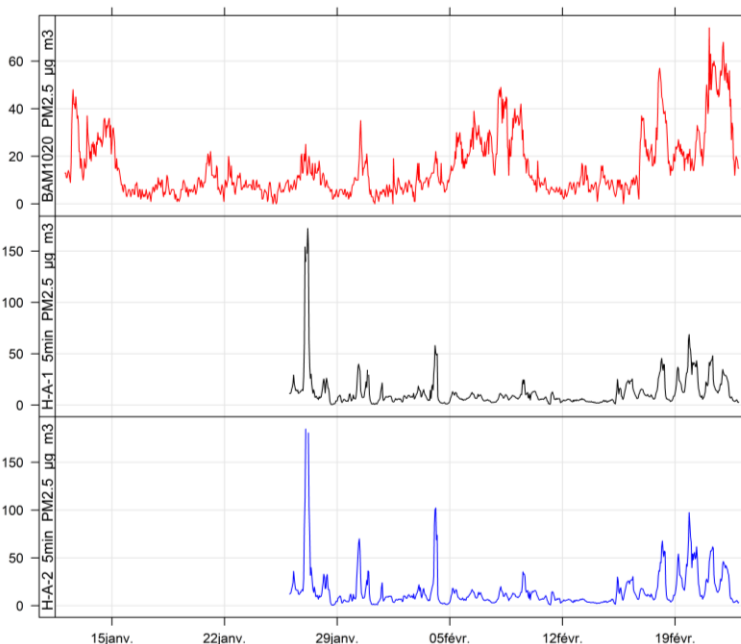
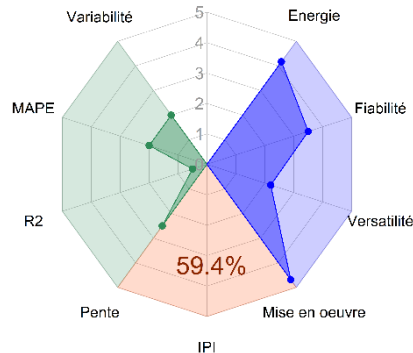
Variabilité

31,26

MAPE

49,16

49,78



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable.

Les - : assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La corrélation aux PM et la dispersion entre systèmes sont médiocres et ne permettent pas en l'état d'envisager mieux qu'une estimation objective sur site fixe.

HA

Version 2

neuf

Dimensions

370x230x200mm

Poids

5kg

Transmission

série, **3G/4G**,
ZigBee

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : **NO₂, O₃/NO₂, CO, CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV T, HR, P, GPS**

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 6j),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

5 min (réglable à la demande)

Stockage des données

Serveur ftp, Logiciel
propriétaire, **Site web**

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

HA1

HA2

Pente

0,26

0,37

Offset

10,52

12,02

R²

0,06

0,10

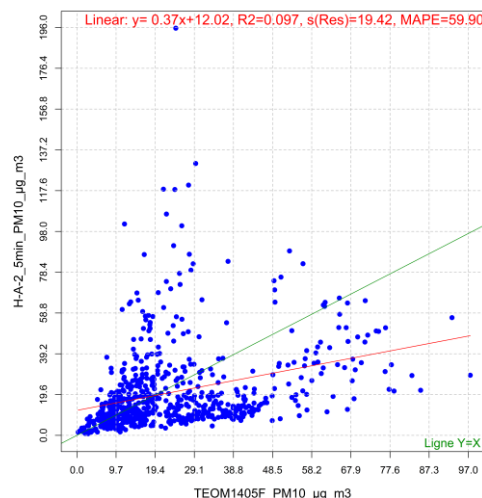
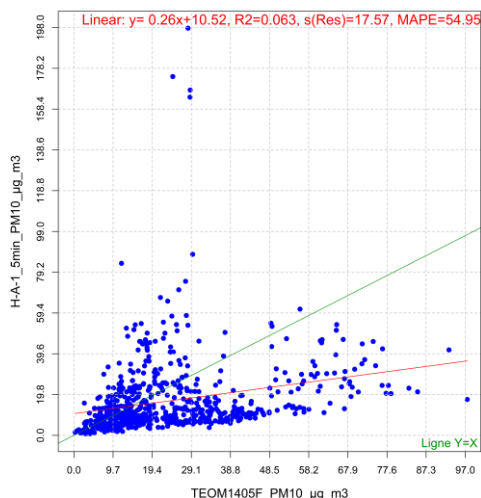
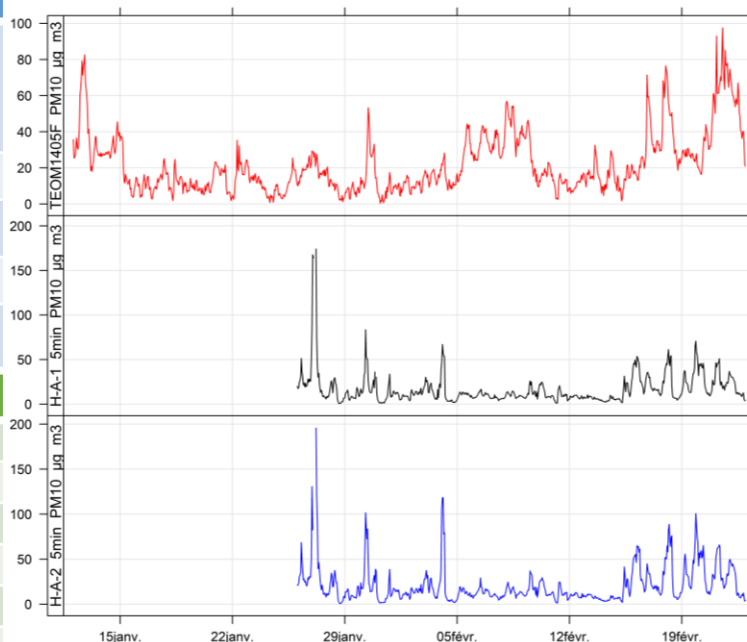
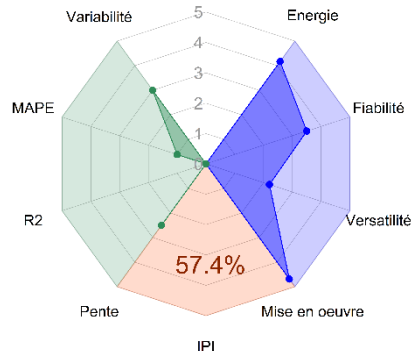
Variabilité

23,63

MAPE

54,95

59,90



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable.

Les - : assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La corrélation aux PM et la dispersion entre systèmes sont médiocres et ne permettent pas en l'état d'envisager mieux qu'une estimation objective sur site fixe.

HB

Version 2

neuf

Dimensions

370x230x200mm

Poids

5kg

Transmission

série, **3G/4G**,
ZigBee

Principe physique

Laser Rouge

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5}, PM₁₀ (Conc. massique)
En option : **NO₂, O₃/NO₂, CO, CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV T, HR, P, GPS**

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 6j),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

5 min (réglable à la demande)

Stockage des données

Serveur ftp, Logiciel
propriétaire, **Site web**

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

HB1

Pente

0,07

Offset

1,18

R²

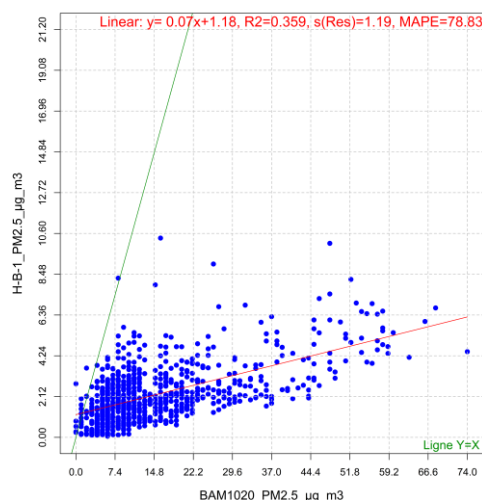
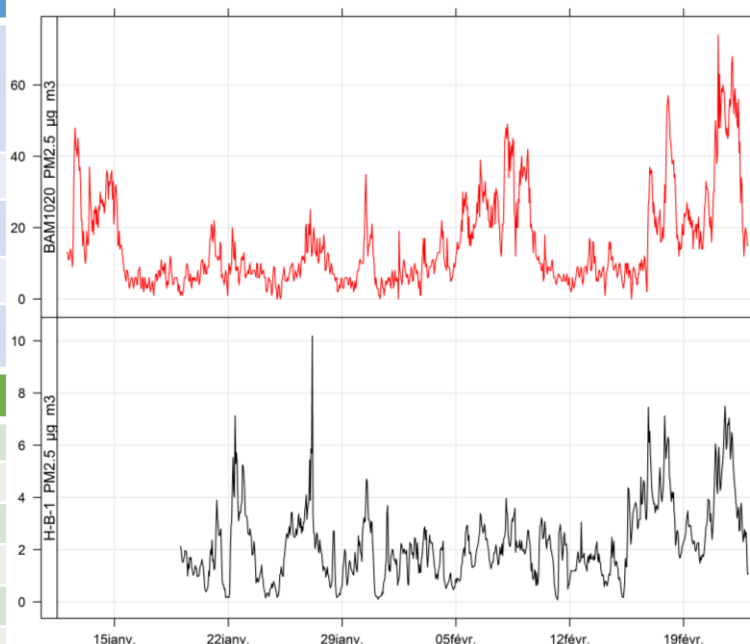
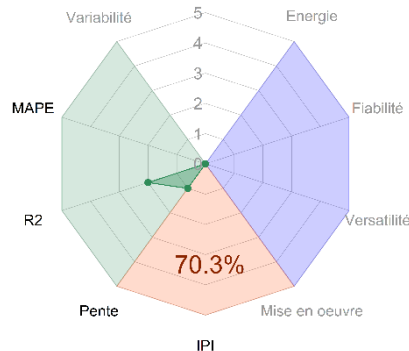
0,36

Variabilité

n/a

MAPE

78,83



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable.

Les - : assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La corrélation et la dispersion aux PM sont médiocres et ne permettent pas en l'état d'envisager mieux qu'une estimation objective sur site fixe. Les PM sont sous-estimées quelles que soient la fraction considérées.

HB

Version 2

neuf

Dimensions

370x230x200mm

Poids

5kg

Transmission

série, **3G/4G**,
ZigBee

Principe physique

Laser Rouge

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurés**PM_{2,5}, PM₁₀** (Conc. massique)
En option : **NO₂, O₃/NO₂, CO,**
CO₂, H₂S/CH₄S, NH₃, SO₂, COV
T, HR, P, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 6j),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

5 min (réglable à la demande)

Stockage des données

Serveur ftp, Logiciel
propriétaire, **Site web**

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

HB1

Pente

0,11

Offset

1,03

R²

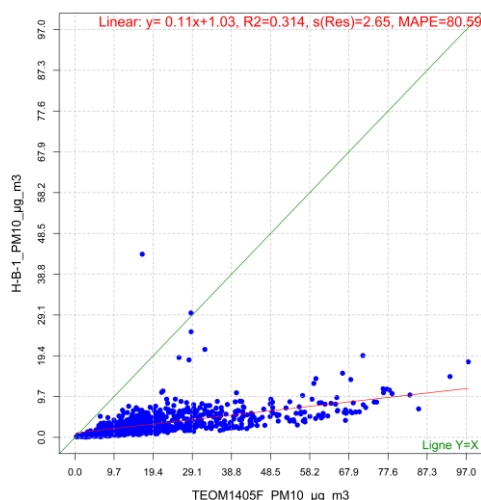
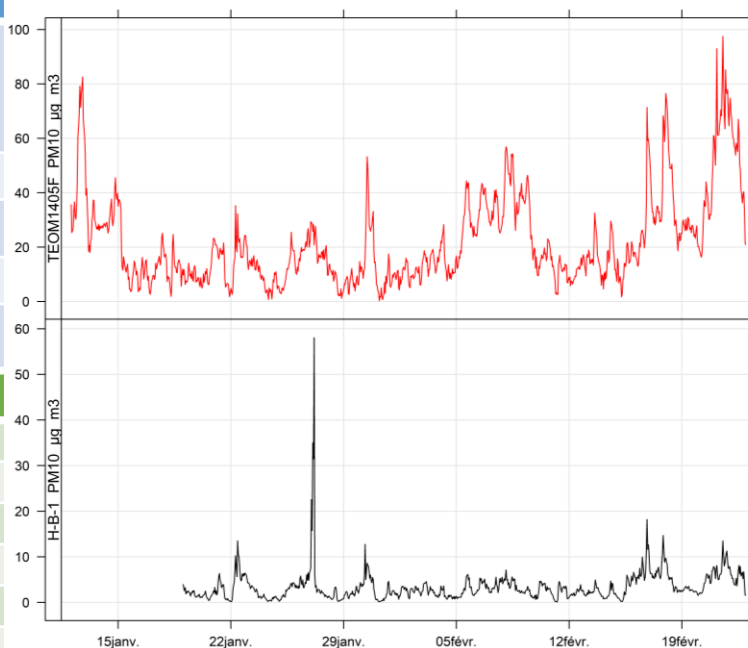
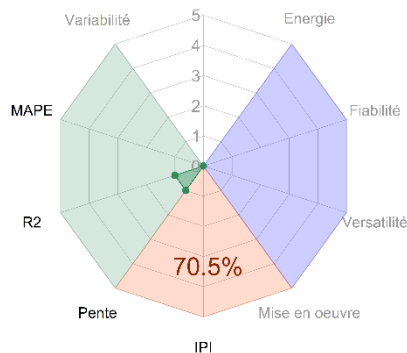
0,31

Variabilité

n/a

MAPE

80,59



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. L'installation du matériel et la récupération des données sont très intuitives. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La maintenance est facile grâce à un accès direct aux différents éléments du système, qui est aisément modifiable.

Les - : Assez lourd et encombrant. Problème de pertes de données sur les particules en raison d'une post-validation sur serveur. La corrélation et la dispersion aux PM sont médiocres et ne permettent pas en l'état d'envisager mieux qu'une estimation objective sur site fixe. Les PM sont sous-estimées quelles que soient la fraction considérées.

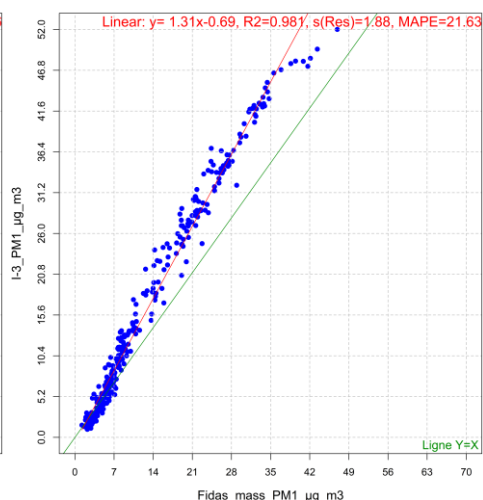
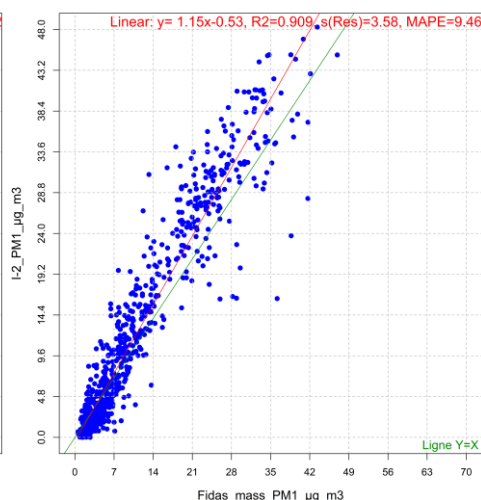
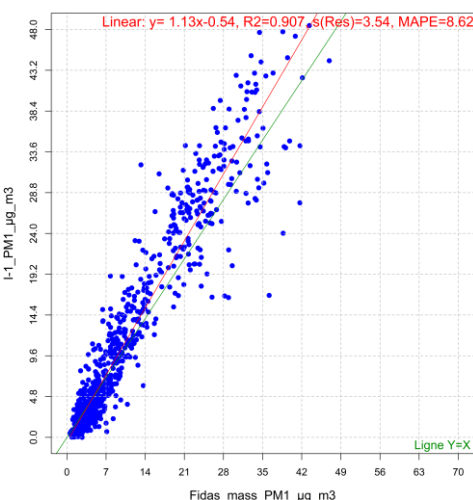
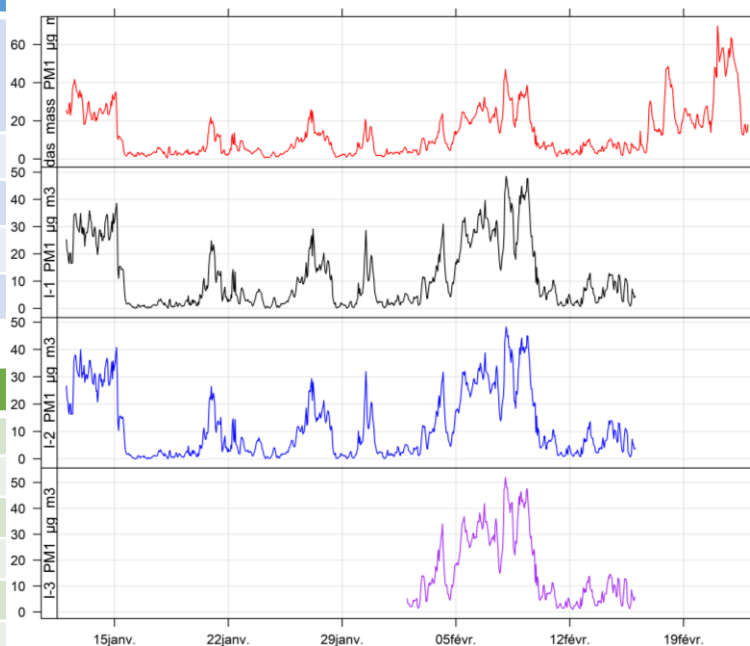
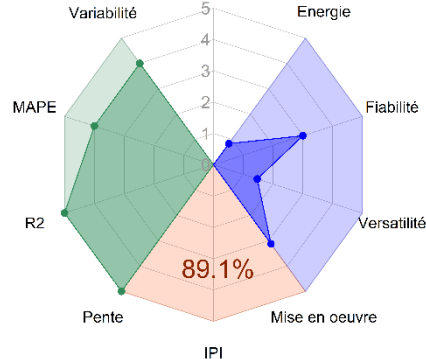
I Atmotrack	Version 1.2	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
140x140x82mm	<200g	3G
Principe physique	LED Rouge	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ (concentration massique, comptage) T, HR, P, GPS, bruit
Usage	Fixe, Embarqué véhicule
Type d'alimentation	Secteur, 12V allume-cigare
Résolution temporelle	30s (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web data.atmotrack.fr

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	I1	I2	I3
Pente	1,13	1,15	1,31
Offset	-0,54	-0,53	-0,69
R²	0,91	0,91	0,98
Variabilité	8,48		
MAPE	8,62	9,46	21,63



Avis général :

Les + : outil léger et peu encombrant, destiné à être embarqué sur un véhicule disposant d'une alimentation 12V, pour la réalisation de cartographies en particules avec un code couleur d'identification de « hot spots » (non-accessible lors l'essai). La corrélation aux PM₁ est bien linéaire avec une bonne reproductibilité entre systèmes et une dispersion, qui, même si elle s'accroît avec la fraction, permet d'envisager des mesures de type indicative (en site fixe).

Les - : le boîtier dans son état actuel n'est pas prévu pour une utilisation extérieure prolongée (corrosion, infiltration d'eau). On regrette l'absence de batterie pour un outil destiné à de la mobilité. Pour l'essai, seul l'accès aux données PM était possible. Pas d'indicateur visuel de fonctionnement, pas d'appli smartphone pour une lecture directe. Pertes de données pour le capteur I3.

PM_{2,5}

I

Atmotrack

Version 1.2



neuf

Dimensions

Poids

Transmission

140x140x82mm

<200g

3G

Principe physique

LED Rouge

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration massique, comptage)
T, HR, P, GPS, bruit

Usage

Fixe, Embarqué véhicule

Type d'alimentation

Secteur, 12V allume-cigare

Résolution temporelle

30s (réglable sur demande)

Stockage des données

Site web data.atmotrack.fr

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

I1

I2

I3

Pente

1,51

1,55

0,94

Offset

2,75

2,93

17,83

R²

0,62

0,60

0,37

Variabilité

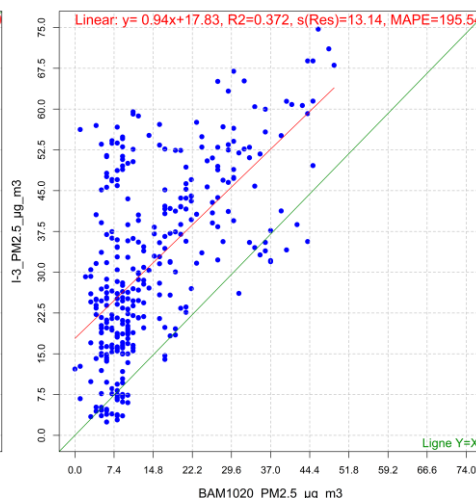
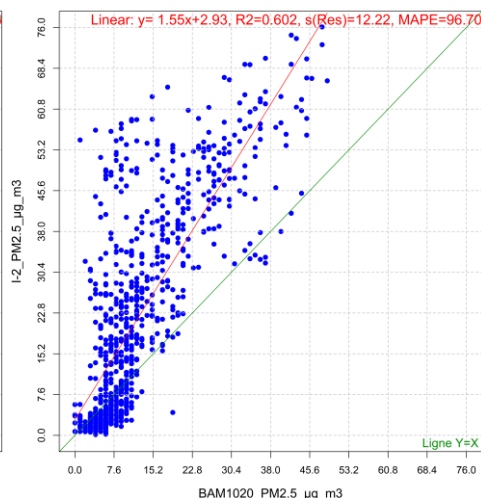
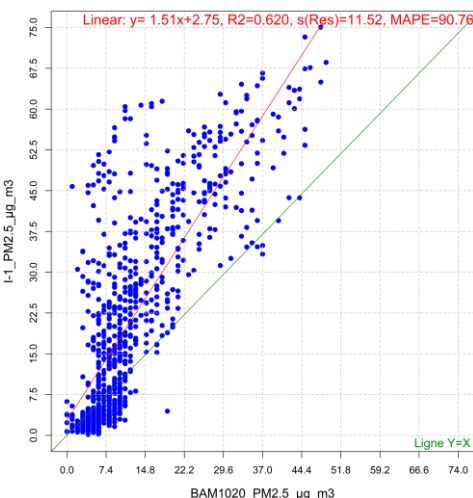
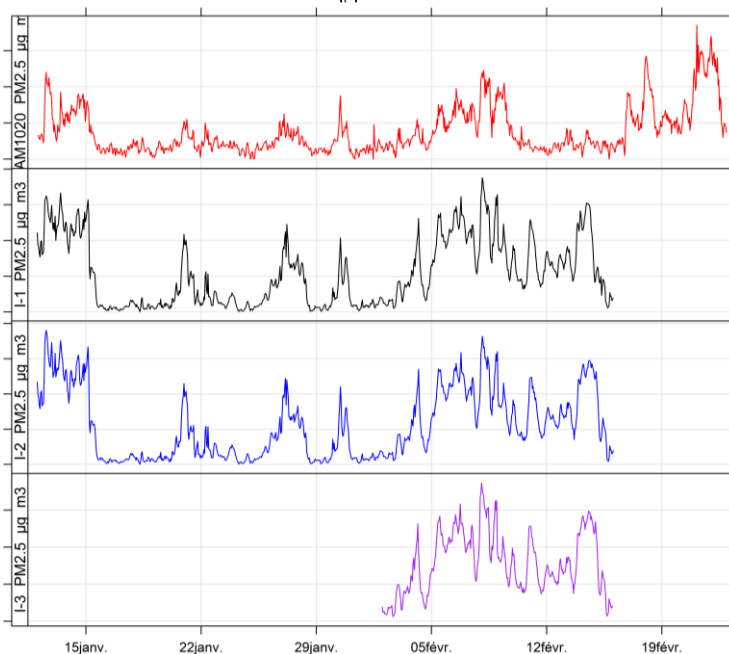
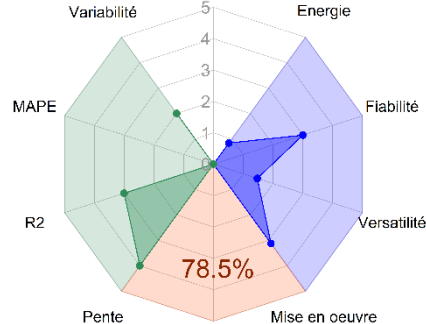
25,55

MAPE

90,76

96,70

195,54



Avis général :

Les + : outil léger et peu encombrant, destiné à être embarqué sur un véhicule disposant d'une alimentation 12V, pour la réalisation de cartographies en particules avec un code couleur d'identification de « hot spots » (non-accessible lors l'essai). La corrélation aux PM_{2,5} est acceptable avec une bonne reproductibilité entre systèmes et une dispersion, qui, même si elle s'accroît avec la fraction, permet d'envisager des estimations objectives (en site fixe).

Les - : le boîtier dans son état actuel n'est pas prévu pour une utilisation extérieure prolongée (corrosion, infiltration d'eau). On regrette l'absence de batterie pour un outil destiné à de la mobilité. Pas d'indicateur visuel de fonctionnement, pas d'appli smartphone pour une lecture directe. Pertes de données pour le capteur I3. Phénomène de seuil,

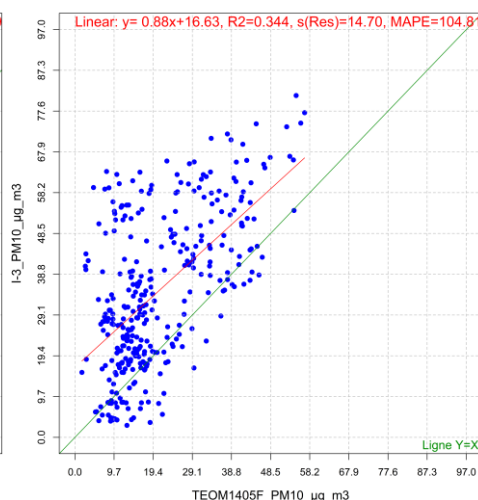
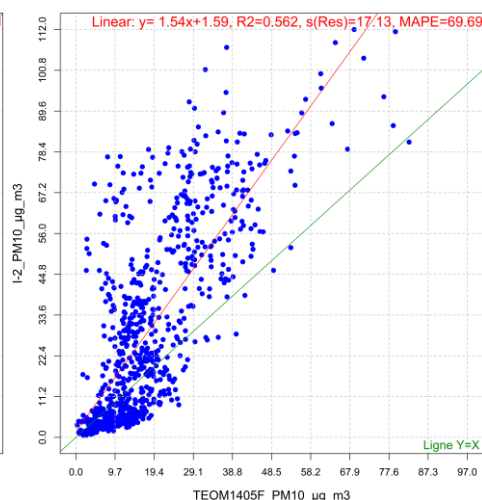
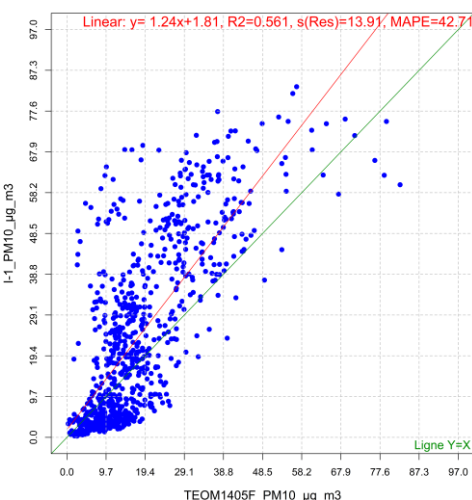
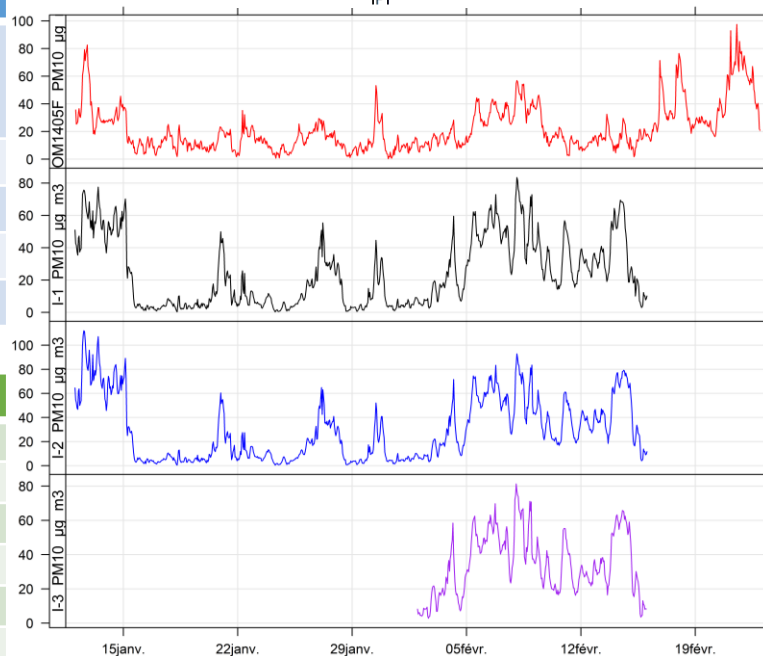
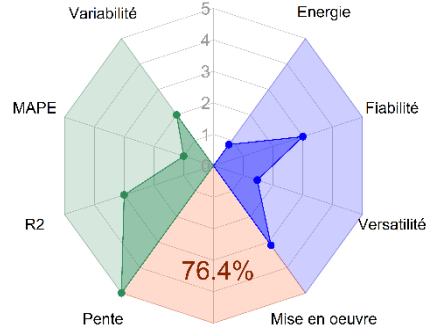
I Atmotrack	Version 1.2	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
140x140x82mm	<200g	3G
Principe physique	LED Rouge	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ (concentration massique, comptage) T, HR, P, GPS, bruit
Usage	Fixe, Embarqué véhicule
Type d'alimentation	Secteur, 12V allume-cigare
Résolution temporelle	30s (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web data.atmotrack.fr

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	I1	I2	I3
Pente	1,24	1,54	0,88
Offset	1,81	1,59	16,63
R²	0,56	0,56	0,34
Variabilité	27,17		
MAPE	42,71	69,69	104,80



Avis général :

Les + : outil léger et peu encombrant, destiné à être embarqué sur un véhicule disposant d'une alimentation 12V, pour la réalisation de cartographies en particules avec un code couleur d'identification de « hot spots » (non-accessible lors l'essai). La corrélation aux PM₁₀ est acceptable avec une bonne reproductibilité entre systèmes et une dispersion, qui, même si elle s'accroît avec la fraction, permet d'envisager des estimations objectives (en site fixe).

Les - : le boîtier dans son état actuel n'est pas prévu pour une utilisation extérieure prolongée (corrosion, infiltration d'eau). On regrette l'absence de batterie pour un outil destiné à de la mobilité. Pas d'indicateur visuel de fonctionnement, pas d'appli smartphone pour une lecture directe. Pertes de données pour le capteur I3. Phénomène de seuil.

NO₂

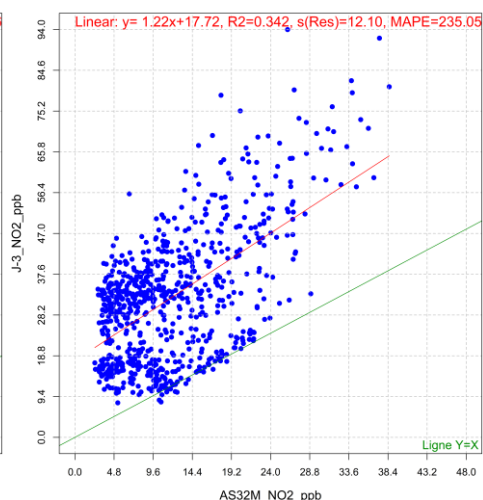
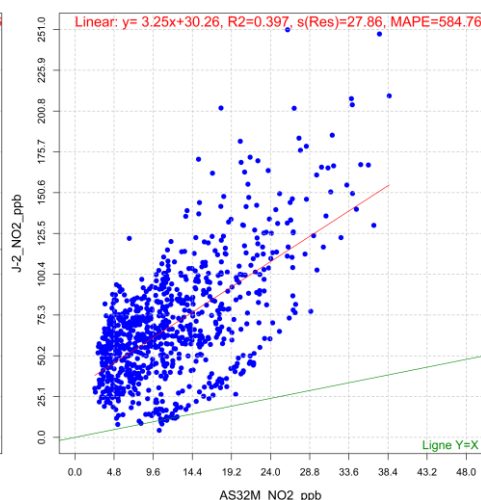
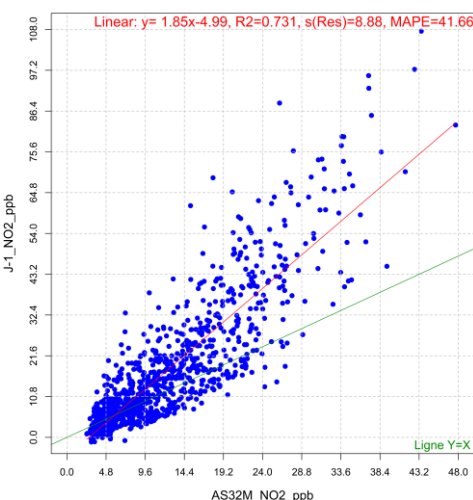
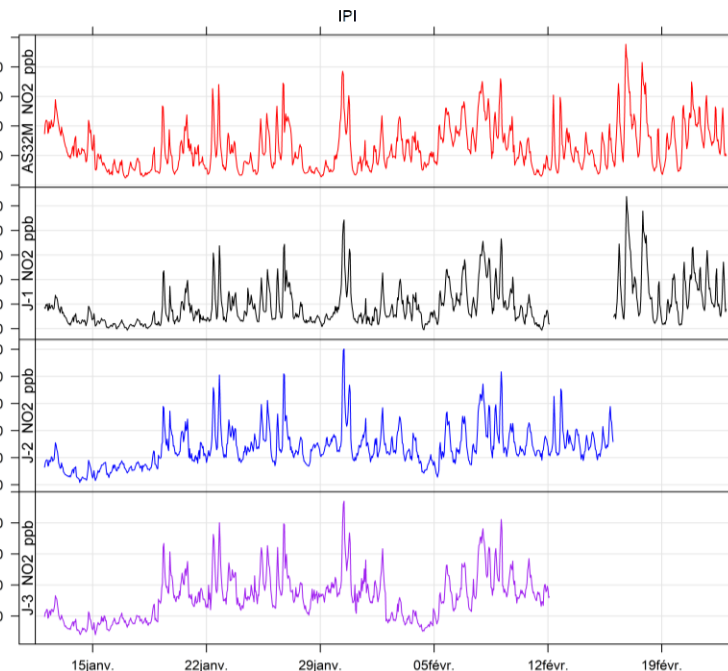
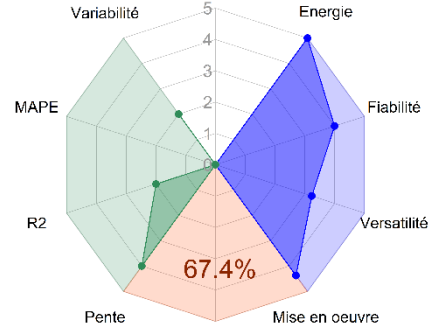
J AQMesh	Version 4.0	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
170x220x250mm (hors antenne)	2-2,7kg	2G/3G
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, TSP (Conc. massique, et comptage) En option : NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, CO₂, COV, H₂S, T, HR, P, bruit, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 1mois), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min à 1h (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web aqmeshdata.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	J1	J2	J3
Pente	1,85	3,25	1,22
Offset	-4,99	30,26	17,72
R²	0,73	0,40	0,34
Variabilité	49,13		
MAPE	41,66	584,76	235,05



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La corrélation au NO₂ est moyenne mais permet toutefois d'envisager de l'estimation objective uniquement pour le capteur J1.

Les - : la forme pyramidale ne facilite pas toujours l'installation du système. La récupération des données n'était pas très intuitive. Pas d'accès facile aux éléments sensibles pour les opérations de maintenance. Pas de visualisation sur le bon fonctionnement du système. Problèmes d'accessibilité aux données durant l'essai. La reproductibilité entre systèmes et la dispersion sont mauvaises, notamment pour les modules J2 et J3. Les capteurs ont tendance à surestimer les teneurs en NO₂.

LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

EAµC Hiver 2018

INERIS

LNE

MTE Ligne Directe

"L'expertise au service de la qualité de l'air"

O₃

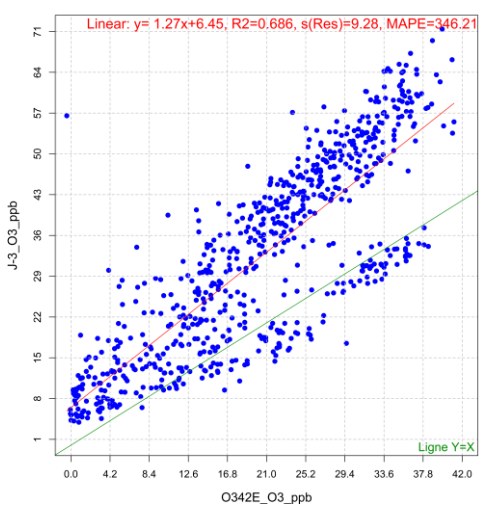
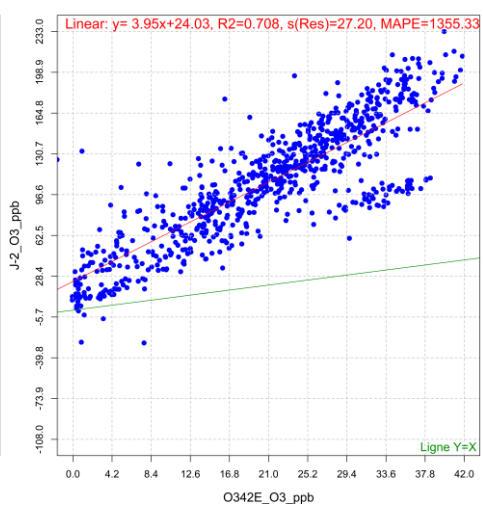
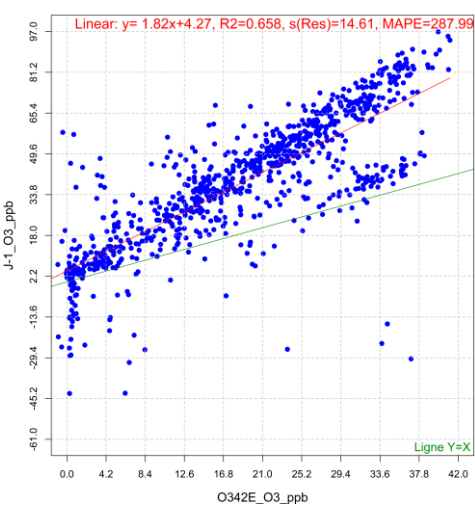
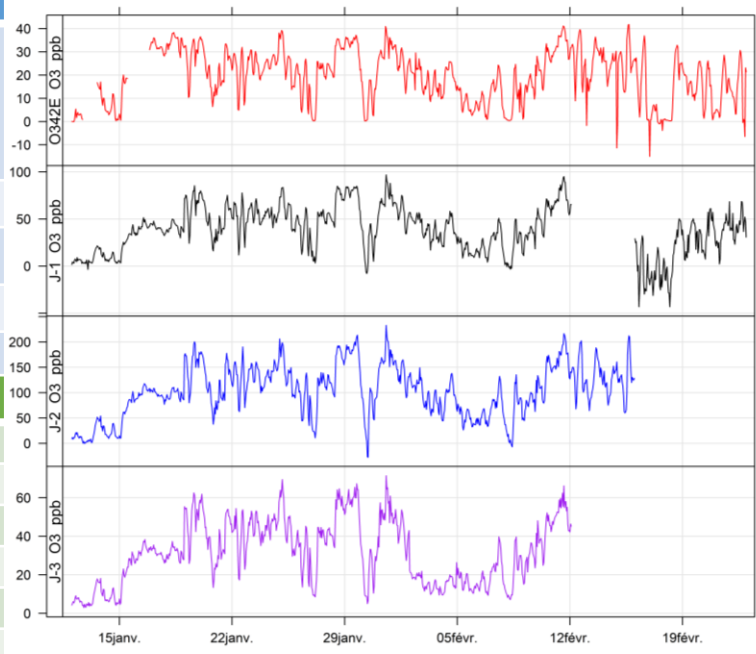
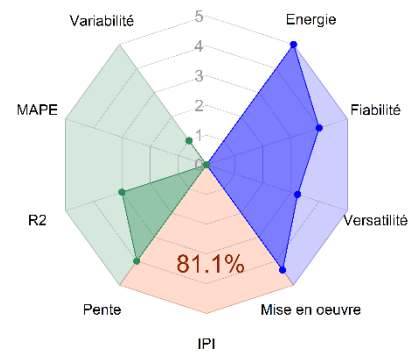
J AQMesh	Version 4.0	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
170x220x250mm (hors antenne)	2-2,7kg	2G/3G
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, TSP (Conc. massique, et comptage) En option : NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, CO₂, COV, H₂S, T, HR, P, bruit, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 1mois), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min à 1h (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web aqmeshdata.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	J1	J2	J3
Pente	1,82	3,95	1,27
Offset	4,27	24,03	6,45
R²	0,66	0,71	0,69
Variabilité	60,35		
MAPE	287,99	1355,33	346,21



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La corrélation à l'O₃ est moyenne, mais la dispersion est très faible. Sous réserve d'étalonnage de chaque capteur, on peut envisager une utilisation en estimation objective, voire en mesure indicative, en site fixe.

Les - : la forme pyramidale ne facilite pas toujours l'installation du système. La récupération des données n'était pas très intuitive. Pas d'accès facile aux éléments sensibles pour les opérations de maintenance. La reproductibilité entre systèmes et la dispersion sont mauvaises, notamment pour les modules J2 et J3. Les capteurs ont tendance à surestimer les teneurs en O₃.

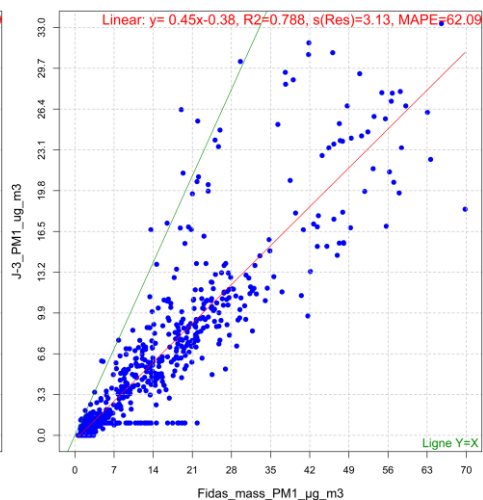
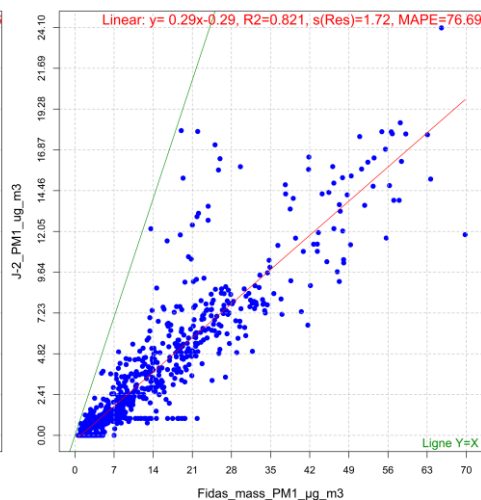
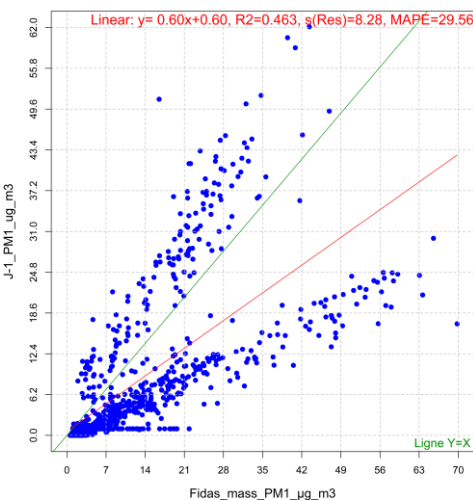
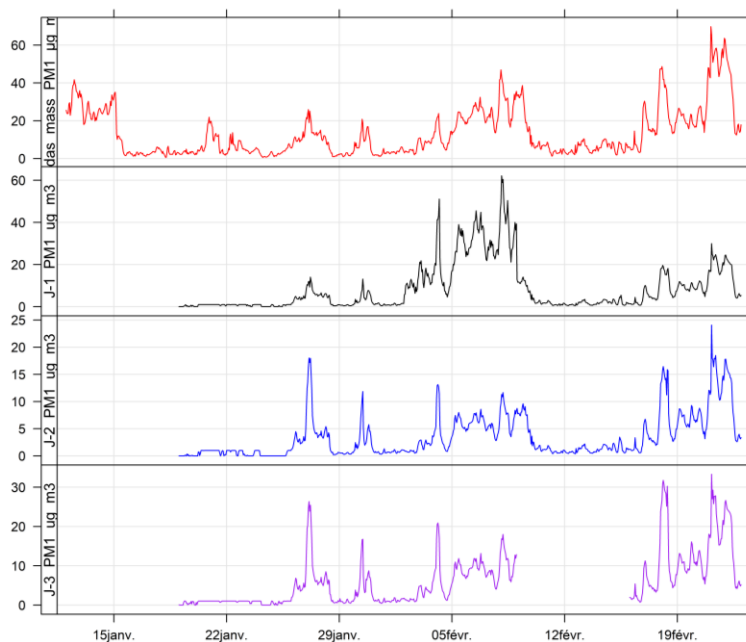
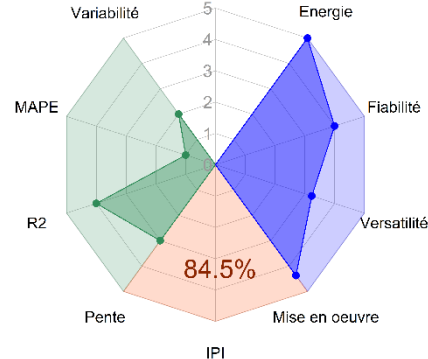
J AQMesh	Version 4.0	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
170x220x250mm (hors antenne)	2-2,7kg	2G/3G
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, TSP (Conc. massique, et comptage) En option : NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, CO₂, COV, H₂S, T, HR, P, bruit, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 1mois), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min à 1h (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web aqmeshdata.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	J1	J2	J3
Pente	0,60	0,29	0,45
Offset	0,60	-0,29	-0,38
R²	0,46	0,82	0,79
Variabilité	35,10		
MAPE	29,56	76,69	62,09



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La corrélation aux PM semble spécifiquement calculée pour les PM_{2,5}, pour lesquelles la reproductibilité et la dispersion sont les meilleures.

Les - : la forme pyramidale ne facilite pas toujours l'installation du système. La récupération des données n'était pas très intuitive. Pas d'accès facile aux éléments sensibles pour les opérations de maintenance. Le système J1 présente une réponse bipolaire aux PM₁ sans raison apparente. La dispersion augmente globalement avec la concentration mais dans des proportions raisonnables. La reproductibilité aux PM₁ est médiocre avec des pertes de données inexpliquées sur J3.

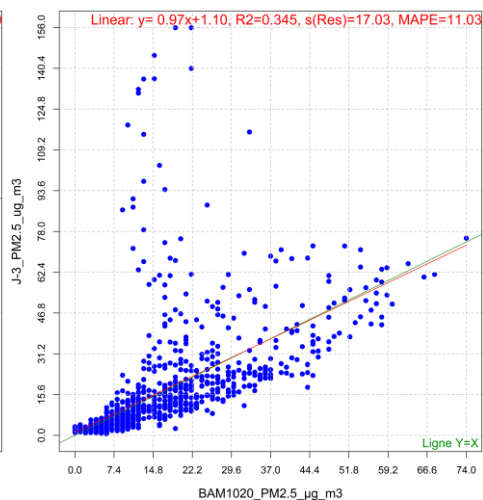
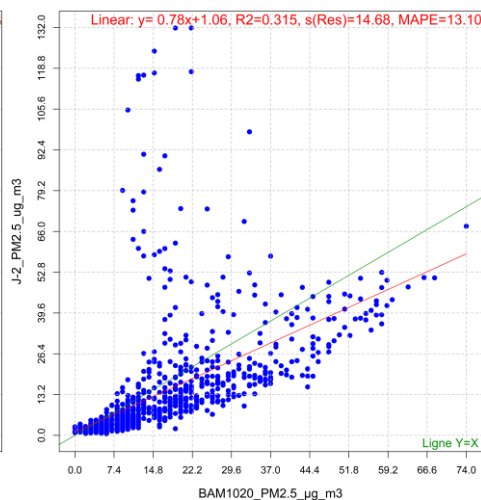
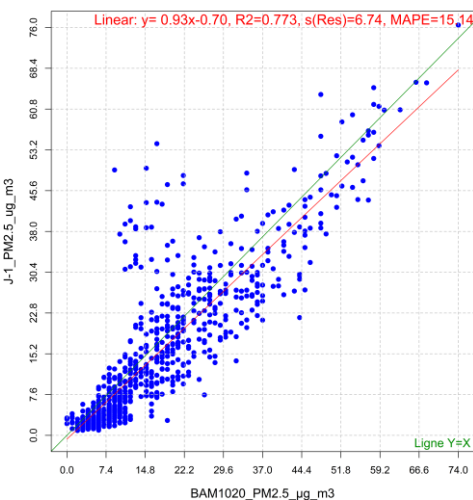
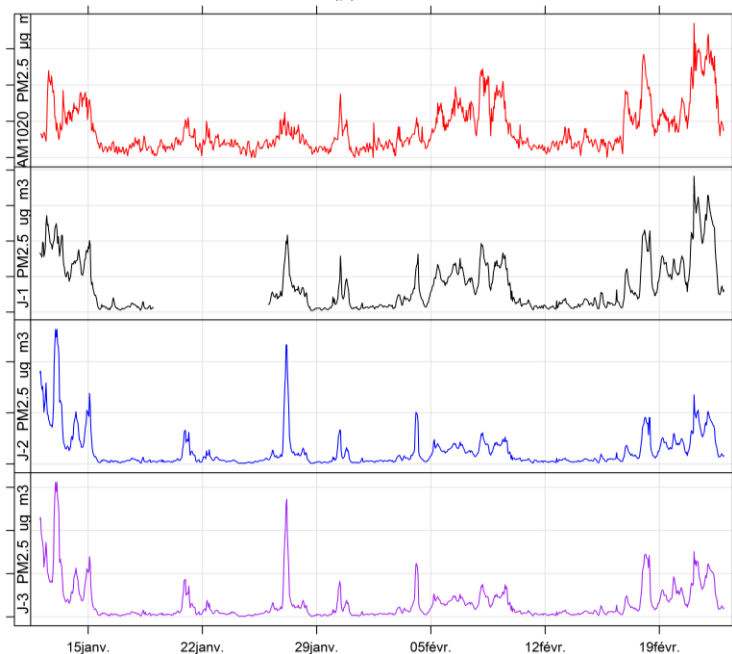
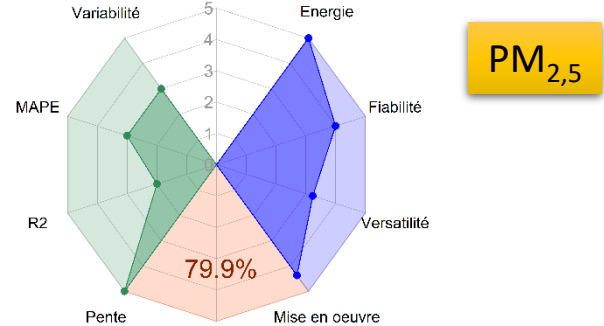
J AQMesh	Version 4.0	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
170x220x250mm (hors antenne)	2-2,7kg	2G/3G
Principe physique	Laser Rouge (OPC-N2)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, TSP (Conc. massique, et comptage) En option : NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, CO₂, COV, H₂S, T, HR, P, bruit, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (max 1mois), Panneaux solaires
Résolution temporelle	1 min à 1h (réglable sur demande)
Stockage des données	Site web aqmeshdata.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	J1	J2	J3
Pente	0,93	0,78	0,97
Offset	-0,70	1,06	1,10
R²	0,77	0,31	0,34
Variabilité	11,17		
MAPE	15,14	13,10	11,03



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La corrélation aux PM semble spécifiquement calculée pour les PM_{2,5}, pour lesquelles la reproductibilité et la dispersion sont les meilleures.

Les - : la forme pyramidale ne facilite pas toujours l'installation du système. La récupération des données n'était pas très intuitive. Pas d'accès facile aux éléments sensibles pour les opérations de maintenance. La dispersion augmente globalement avec la concentration mais dans des proportions raisonnables. La reproductibilité aux PM_{2,5} est bonne.

J

AQMesh

Version 4.0



1 an

Dimensions

Poids

Transmission

170x220x250mm
(hors antenne)

2-2,7kg

2G/3G

Principe physique

Laser Rouge (OPC-N2)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurés

PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀, TSP (Conc. massique, et comptage)
En option : **NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, CO₂, COV, H₂S**
T, HR, P, bruit, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (max 1 mois),
Panneaux solaires

Résolution temporelle

1 min à 1h (réglable sur demande)

Stockage des données

Site web aqmeshdata.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

J1

J2

J3

Pente

1,18

1,65

1,63

Offset

-0,14

5,24

3,35

R²

0,33

0,05

0,06

Variabilité

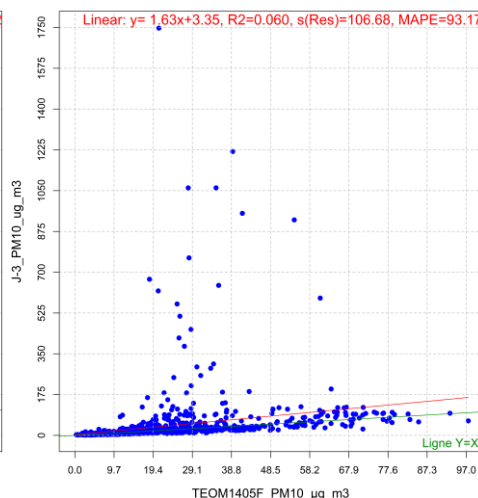
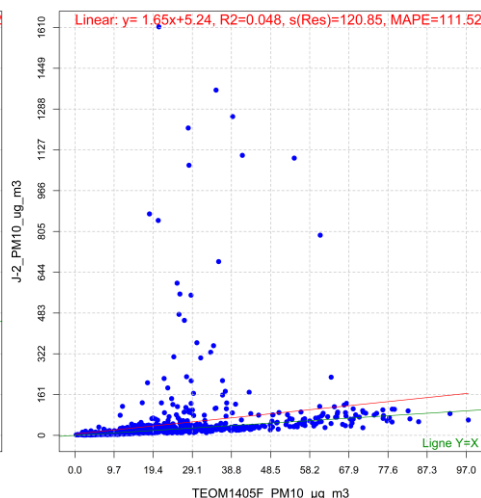
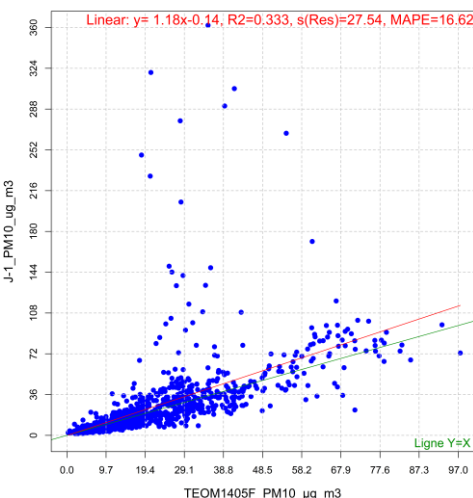
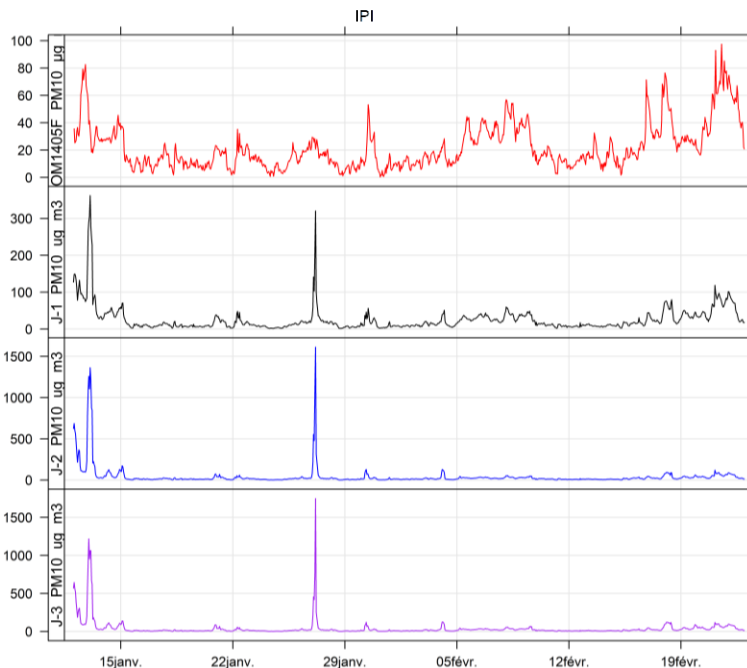
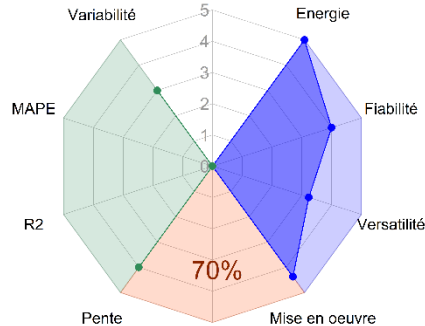
17,98

MAPE

16,62

111,52

93,17



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Il est multi-polluants et multi-paramètres. La diversité des options offertes rend l'instrument adaptable à de multiples situations. La corrélation aux PM semble spécifiquement calculée pour les PM_{2,5}, pour lesquelles la reproductibilité et la dispersion sont les meilleures.

Les - : la forme pyramidale ne facilite pas toujours l'installation du système. La récupération des données n'était pas très intuitive. Pas d'accès facile aux éléments sensibles pour les opérations de maintenance. La dispersion augmente globalement avec la concentration mais dans des proportions raisonnables. La reproductibilité aux PM₁₀ est médiocre.

KA
NPM

Version 2



1 an

Dimensions

473x419x178mm

Poids

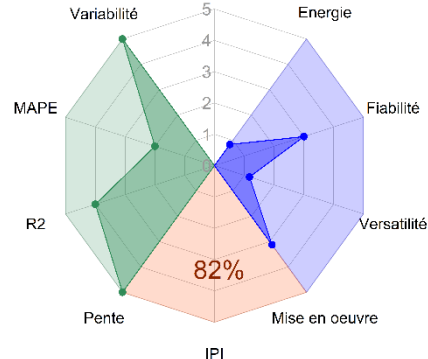
2,7kg

Transmission

Série, 3G/4G

Principe physique

Laser rouge (propriétaire)

PM_{2,5}

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM_{2,5} ou PM₁₀ ou TSP (Conc. massique)
GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur

Résolution temporelle

1h

Stockage des données

Logiciel Comet, site web
grovestreams.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

KA1

KA2

Pente

1,10

1,13

Offset

-2,66

-2,82

R²

0,85

0,87

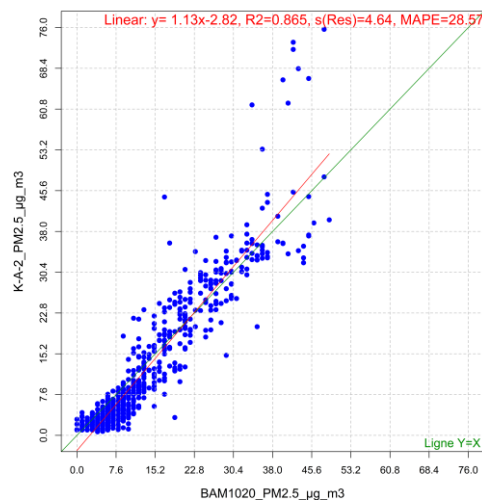
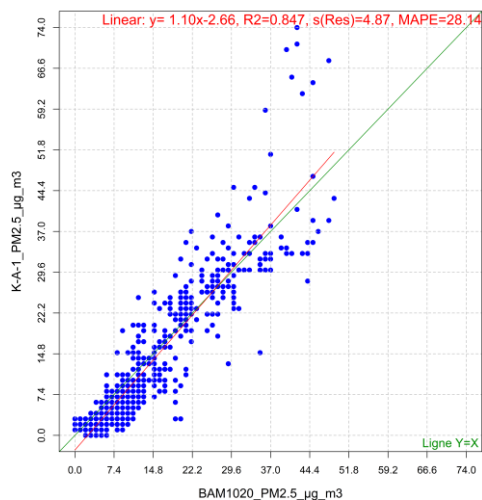
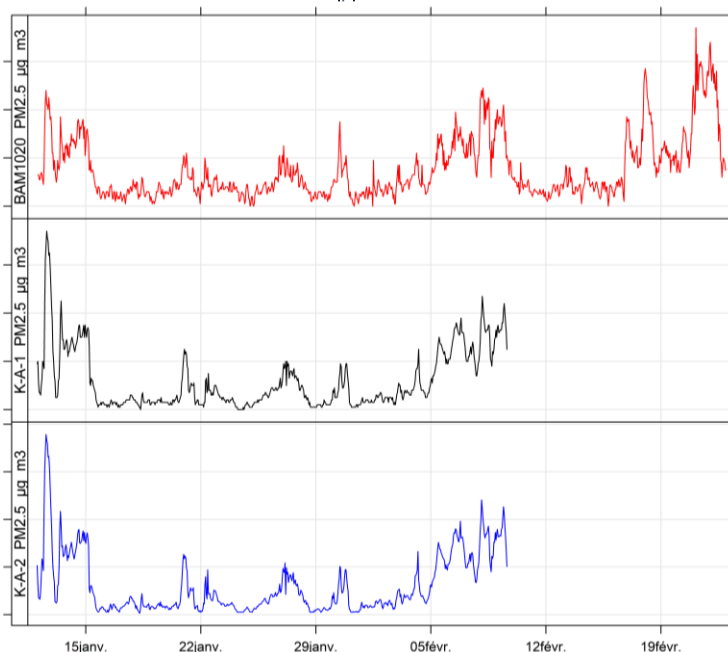
Variabilité

1,62

MAPE

28,14

28,57



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe. Performances métrologiques proches des objectifs de qualités de données pour de la mesure indicative, tant en termes de dynamique temporelle que de corrélation, reproductibilité des systèmes et dispersion des mesures

Les - : sa forme et la présence de la tête de prélèvement ne facilitent pas toujours l'installation du système. Il manque une visualisation directe du fonctionnement. La configuration n'autorise la mesure que d'un seul paramètre par système, ce qui est peu au regard de l'encombrement. Perte de données partielles non-expliquées en fin d'essai.

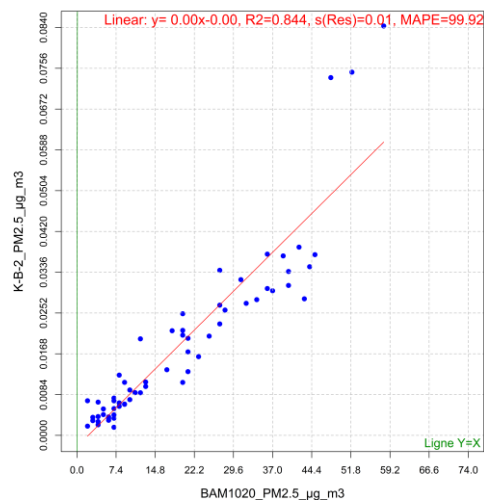
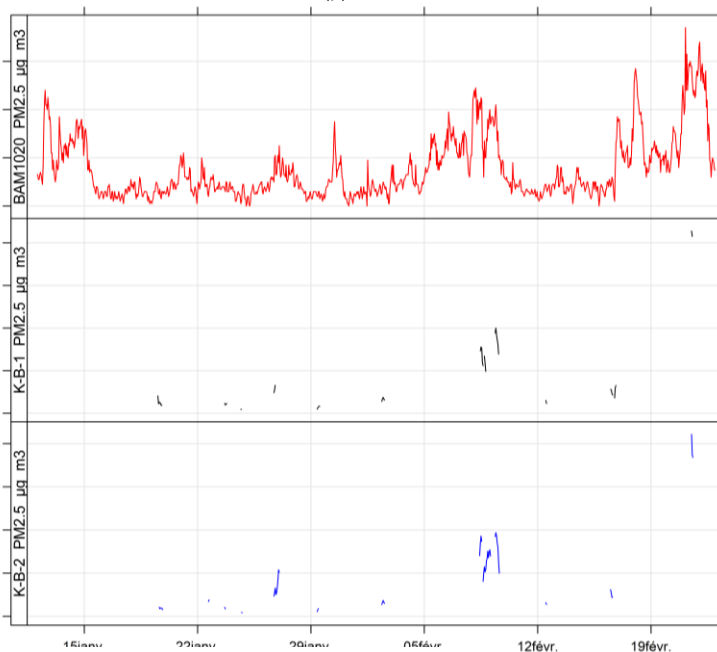
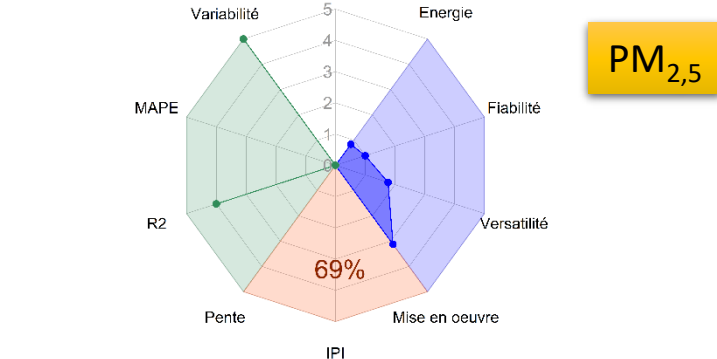
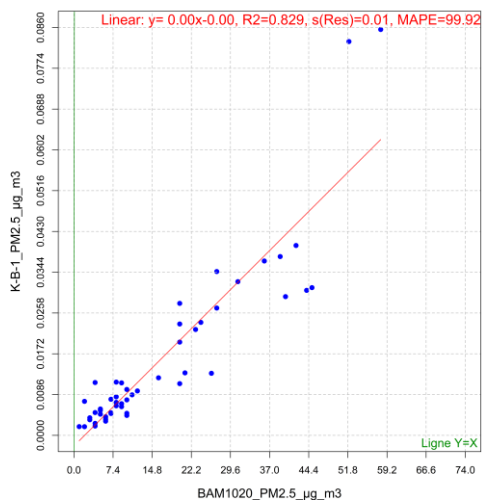
KB ES-642	Version N.C.	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
483x178x108mm	2,27kg	Modbus, RS232, RS485, analogique
Principe physique	Laser rouge (propriétaire)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ ou PM_{2,5} ou PM ₁₀ ou TSP (Conc. massique)
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur
Résolution temporelle	Réglable à partir d'1s
Stockage des données	Logiciel Comet

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	KB1	KB2
Pente	<0,01	<0,01
Offset	<0,01	<0,01
R²	0,83	0,84
Variabilité	2,11	
MAPE	99,92	99,92



Avis général :

Les + : outil destiné à de la surveillance en site fixe.

Les - : sa forme et la présence de la tête de prélèvement ne facilitent pas toujours l'installation du système. Il manque une visualisation directe du fonctionnement. La configuration n'autorise la mesure que d'un seul paramètre par système, ce qui est peu au regard de l'encombrement. Pertes de données massives liées à des dysfonctionnements de la communication série avec le logiciel d'acquisition, ce qui explique ces résultats peu convaincants, mais ne présume en rien de la performance métrologique de l'outil.

NO₂

L

AirSensEur

Version 2



neuf

Dimensions

Poids

Transmission

220x240x110mm

~500g

4G, WiFi

Principe physique

Electrochimique (Alphasense)

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

CO, NO₂, NO, O₃
T, HR, P, GPS

Usage

Fixe, Mobile

Type d'alimentation

Secteur, Batterie

Résolution temporelle

À partir de 1s (programmable)

Stockage des données

Carte SD, site web
influxdb1.liberaintentio.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

L1

Pente

-7,11

Offset

62205,17

R²

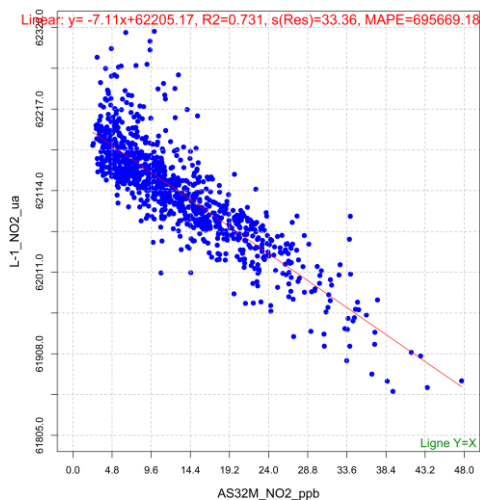
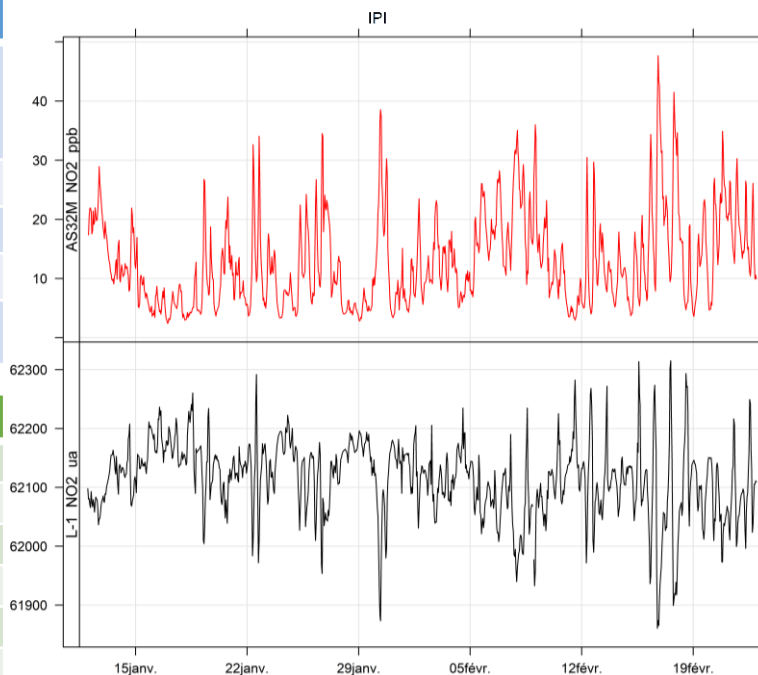
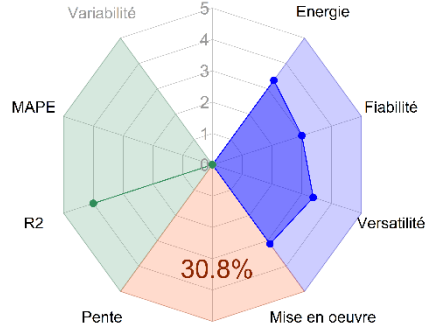
0,73

Variabilité

n/a

MAPE

695669,18



Avis général :

Les + : outil open source, le code est développé pour permettre l'adaptation d'une bibliothèque de capteurs prédéfinis. Accès aux signaux bruts des éléments sensibles expliquant l'anti-corrélation entre la mesure du NO₂ et la référence, ainsi que l'absence d'unités. La dispersion est faible et, sous réserve d'appliquer la correction adéquate, on peut remonter à une estimation objective de la teneur en NO₂.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limité (maximum 4), pas de mesure de PM dans cette version, le boîtier n'est pas adapté en l'état à un usage en extérieur (infiltration d'eau, corrosion connectique, etc). Pour l'essai, le système a été placé dans une chambre de protection en verre balayée par l'air extérieur. Nécessite des compétences avancées en instrumentation.

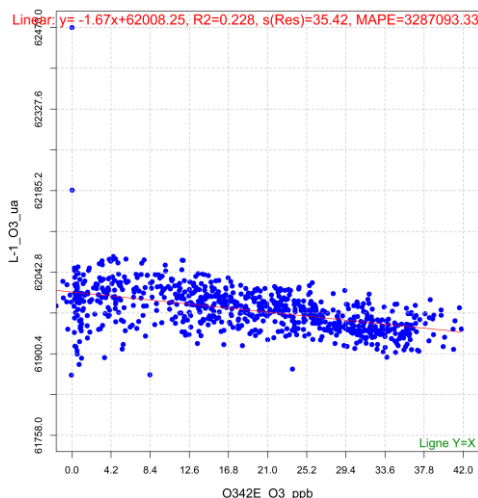
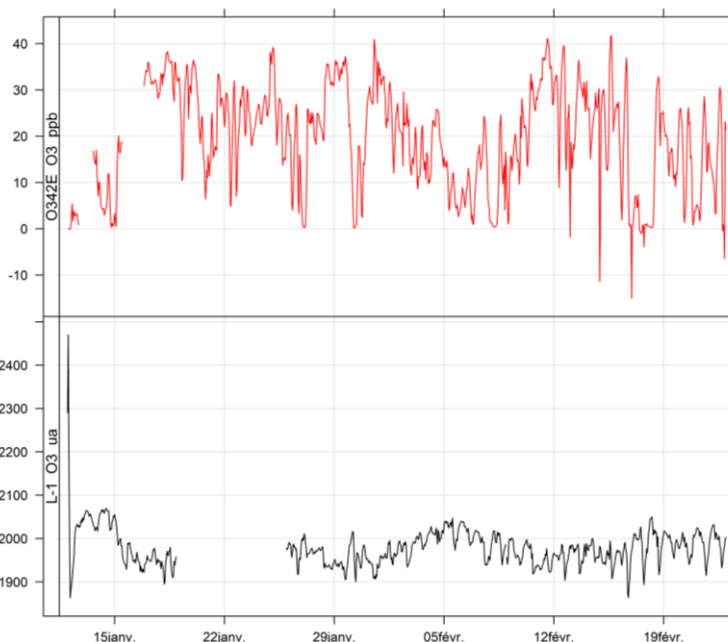
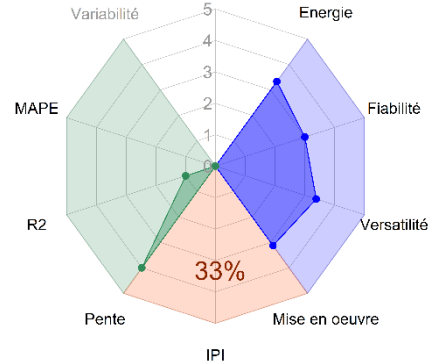
L AirSensEur	Version 2	 neuf
Dimensions	Poids	Transmission
220x240x110mm	~500g	4G, WiFi
Principe physique	Electrochimique (Alphasense)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	CO, NO ₂ , NO, O ₃ , T, HR, P, GPS
Usage	Fixe, Mobile
Type d'alimentation	Secteur, Batterie
Résolution temporelle	À partir de 1s (programmable)
Stockage des données	Carte SD, site web influxdb1.liberaintentio.com

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	L1
Pente	-1,67
Offset	62008,25
R²	0,23
Variabilité	n/a
MAPE	3287093,33



Avis général :

Les + : outil open source, le code est développé pour permettre l'adaptation d'une bibliothèque de capteurs prédéfinis. Accès aux signaux bruts des éléments sensibles expliquant l'anti-corrélation entre la mesure de l'O₃ et la référence, ainsi que l'absence d'unités.

Les - : le nombre d'emplacement de sondes est limité (maximum 4), pas de mesure de PM dans cette version, le boîtier n'est pas adapté en l'état à un usage en extérieur (infiltration d'eau, corrosion connectique, etc). Pour l'essai, le système a été placé dans une chambre de protection en verre balayée par l'air extérieur. Nécessite des compétences avancées en instrumentation. La dispersion est importante et uniforme sur toute la gamme en O₃, ce qui reflète la sensibilité aux interférents de cette technologie,

MA
OPC-N2

Version 1



1 an

Dimensions

75x64x60mm

Poids

<105g

Transmission

USB-A

Principe physique

Laser Rouge (Alphasense)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésPM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration
massique, comptage par fraction + sur
16 canaux de 0,38 à 17µm)

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur

Résolution temporelle

réglable (à partir de 1s)
Pas d'horodatage interne

Stockage des données

Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

MA1

MA2

Pente

1,73

0,91

Offset

2,35

4,20

R²

0,33

0,19

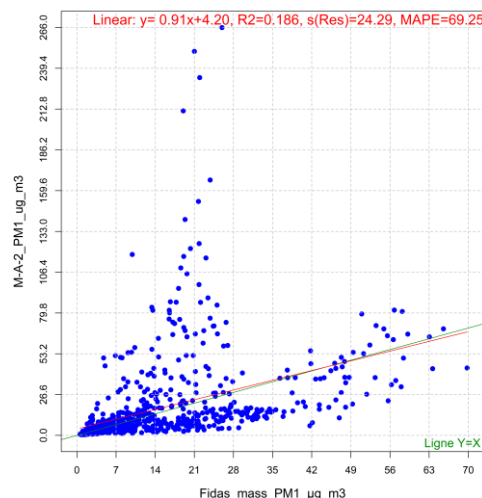
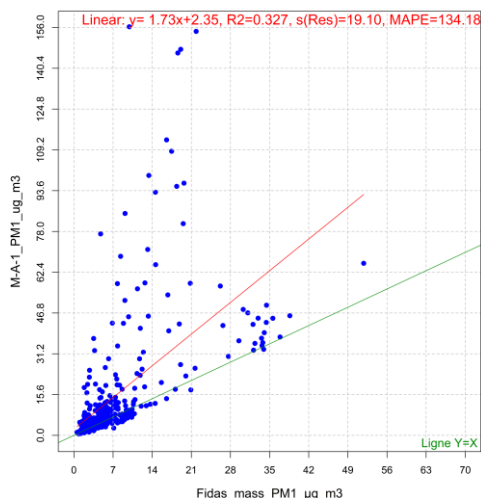
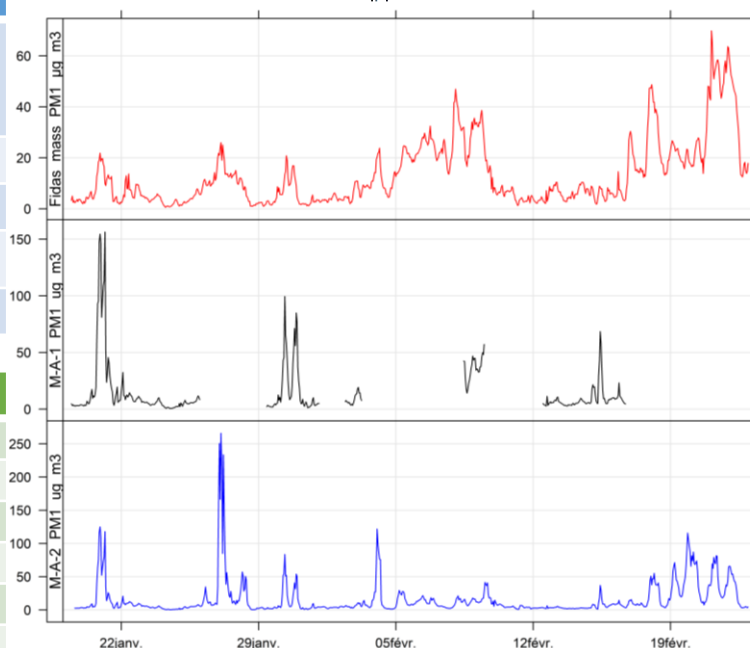
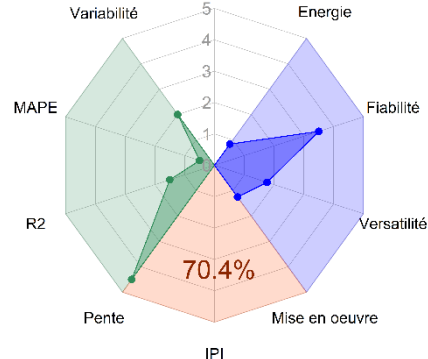
Variabilité

44,25

MAPE

134,18

69,25



Avis général :

Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données. Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

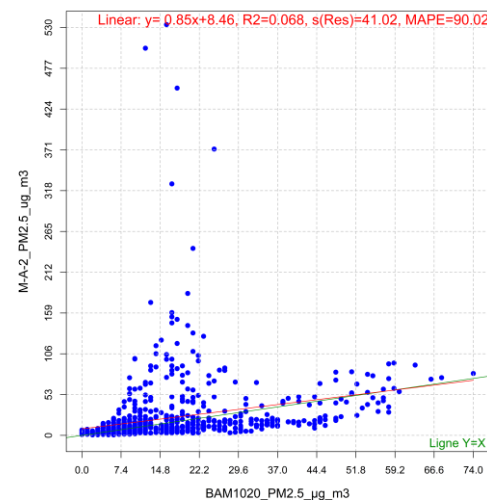
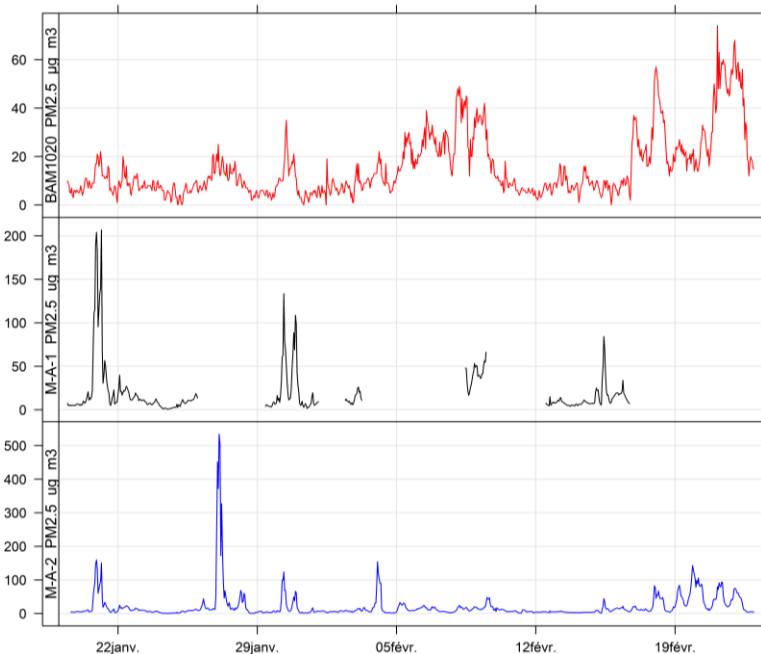
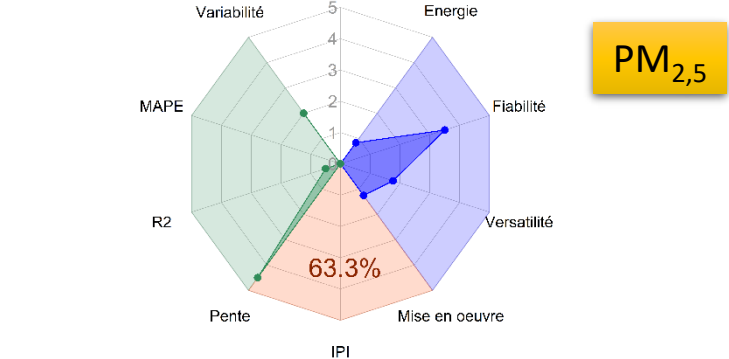
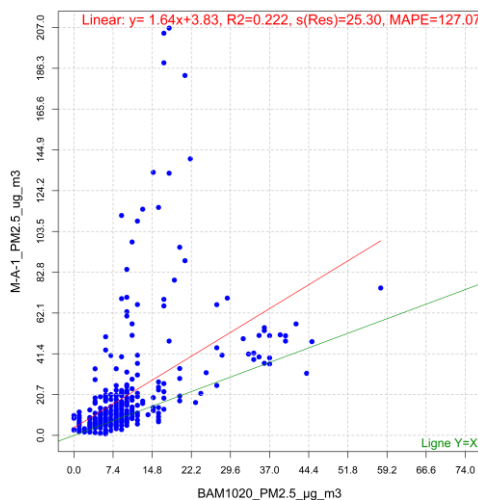
MA OPC-N2	Version 1	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
75x64x60mm	<105g	USB-A
Principe physique	Laser Rouge (Alphasense)	

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM ₁ , PM _{2,5} , PM ₁₀ (concentration massique, comptage par fraction + sur 16 canaux de 0,38 à 17µm)
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur
Résolution temporelle	réglable (à partir de 1s) Pas d'horodatage interne
Stockage des données	Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	MA1	MA2
Pente	1,64	0,85
Offset	3,83	8,46
R²	0,22	0,07
Variabilité	44,49	
MAPE	127,07	90,02



Avis général :

Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données. Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

MA
OPC-N2

Version 1



1 an

Dimensions

Poids

Transmission

75x64x60mm

<105g

USB-A

Principe physique

Laser Rouge (Alphasense)

Spécifications techniques

Polluants et autres
paramètres mesurésPM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration
massique, comptage par fraction + sur
16 canaux de 0,38 à 17µm)

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur

Résolution temporelle

réglable (à partir de 1s)
Pas d'horodatage interne

Stockage des données

Logiciel OPC-N2

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

MA1

MA2

Pente

1,10

0,66

Offset

8,74

16,72

R²

0,14

0,01

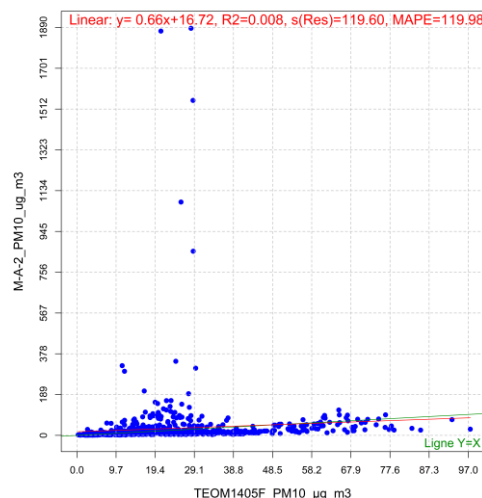
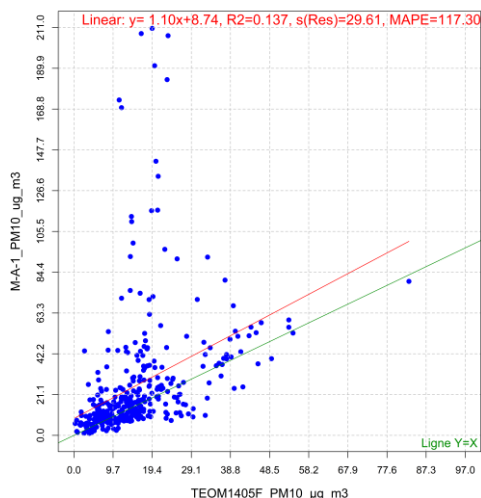
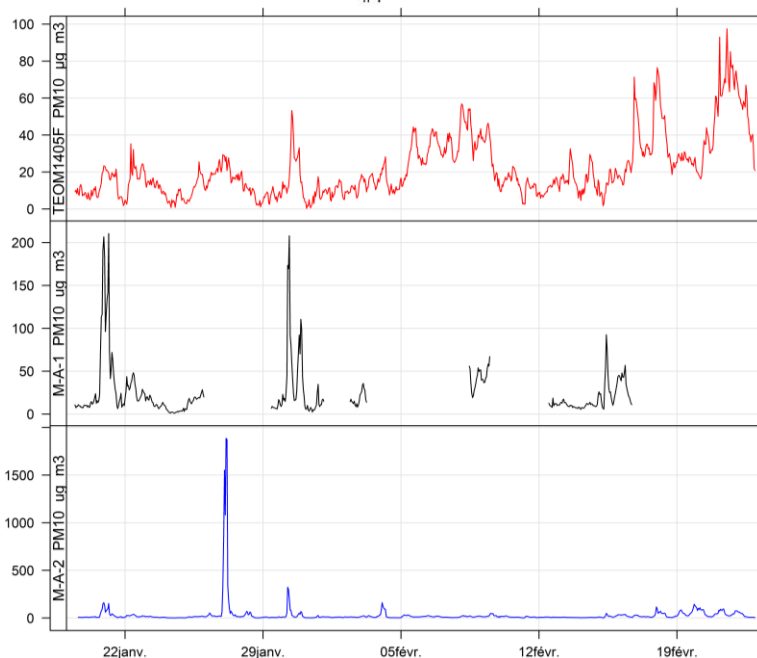
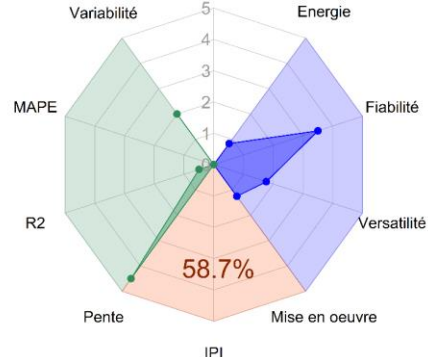
Variabilité

35,17

MAPE

117,30

119,98



Avis général :

Les + : le principe de mesure est plus fiable que les mesures par diffusion LED. Cet outil est plutôt destiné à être intégré dans des systèmes multi-polluants (OEM). L'accès à 16 canaux de comptage est un plus pour le traitement des données et le logiciel d'acquisition est convivial.

Les - : l'outil n'est pas mobile, n'a pas de mémoire de stockage interne et nécessite une connexion permanente à un PC ou à un autre système d'acquisition de données. Il ne dispose pas de géolocalisation. Il n'est pas adapté à un usage direct en environnement extérieur (encrassement, corrosion des connectiques, impact de l'humidité sur la mesure, vieillissement). On note une large dispersion et une importante surestimation des mesures, quelle que soit la fraction. Comme l'outil recalcule des concentrations massiques à partir d'un comptage en nombre, le facteur de correction de la densité des particules ne tient pas compte de leur nature. La pente de corrélation doit donc être établie et vérifiée sur le lieu d'utilisation et sur la durée.

MB

Version 1

1 an

Dimensions

Poids

Transmission

190x190x90mm

1kg

3G/4G

Principe physique

Electrochimique

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM₁₀ (comptage)
 NO₂, ou O₃/NO₂, ou H₂S
 En option : T, HR, Luxmètre, vit. et dir.
 Vent, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (N.C.)
 Panneaux solaires

Résolution temporelle

15min
 Horodatage interne

Stockage des données

Local, API ou serveur ftp

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur

MB1_NO2

Pente

1,32

Offset

-8,65

R²

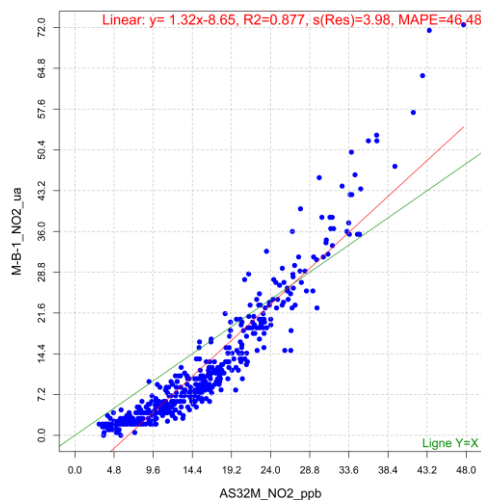
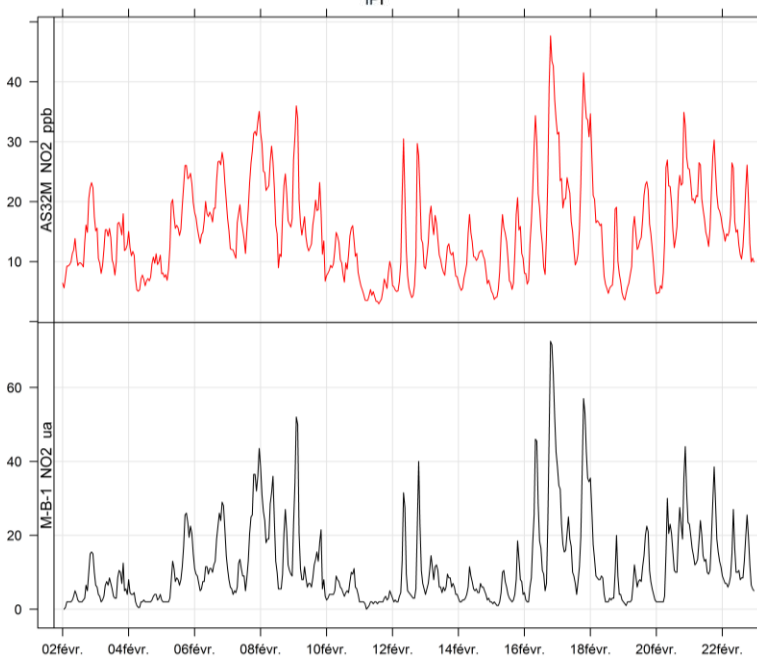
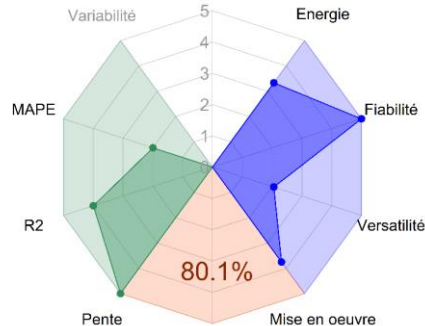
0,88

Variabilité

n/a

MAPE

46,48



Avis général :

Les + : l'installation est très facile grâce aux fixations prévues. Le système est versatile puisqu'il permet la mesure simultanée de plusieurs polluants d'intérêt et offre différents modes d'alimentation. Selon le propriétaire (qui a transmis directement les relevés pour cet essai), la remontée des données est facile (directement dans le poste central). La corrélation et la dispersion à NO₂ sont bonnes et, moyennant la correction de la non-linéarité, ce capteur pourrait servir en mesure indicative site fixe.

Les - : La résolution temporelle mériterait d'être réglable à des valeurs inférieures. On note une légère non-linéarité typiquement rencontrée lors de l'utilisation de certaines cellules électrochimiques.

MB

Version 1

1 an

Dimensions

Poids

Transmission

190x190x90mm

1kg

3G/4G

Principe physique

Optique

Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés

PM₁₀ (comptage)
 NO₂, ou O₃/NO₂, ou H₂S
 En option : T, HR, Luxmètre, vit. et dir.
 Vent, GPS

Usage

Fixe

Type d'alimentation

Secteur, Batterie (N.C.)
 Panneaux solaires

Résolution temporelle

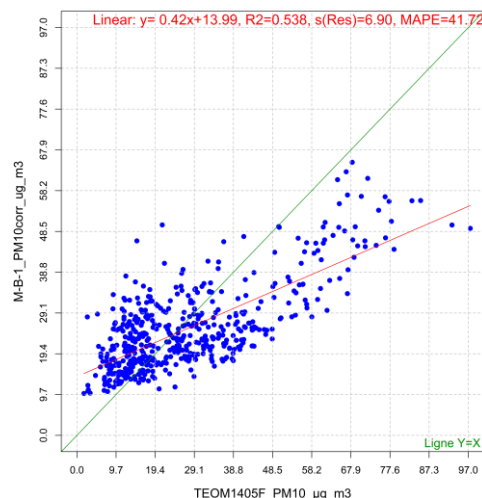
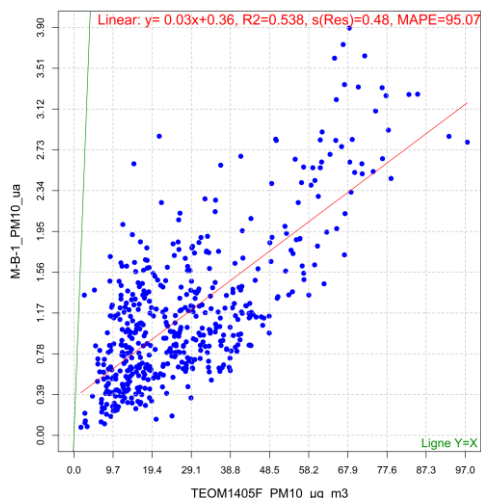
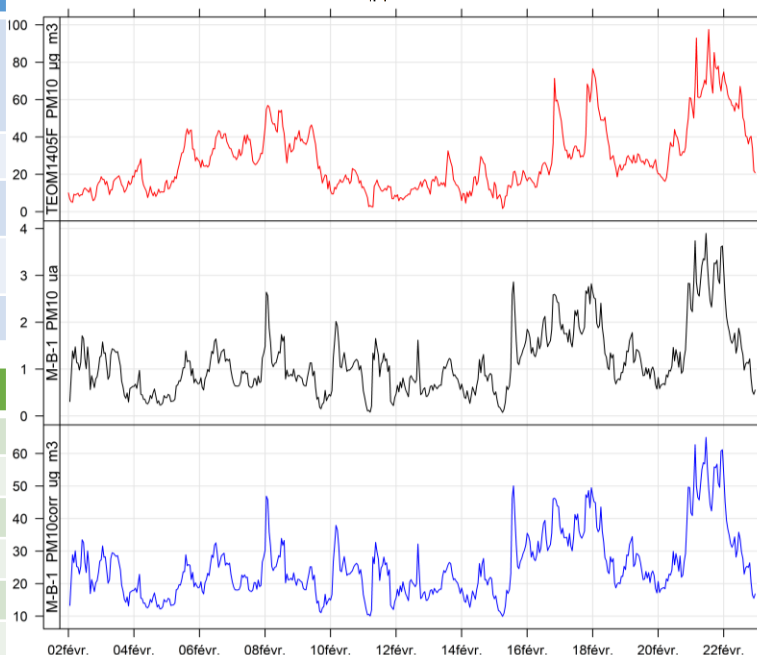
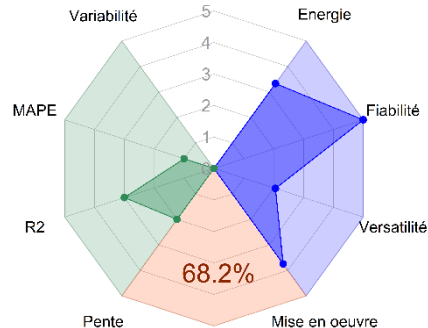
15min
 Horodatage interne

Stockage des données

Local, API ou serveur ftp

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	MB1_PM10	MB1 avec correction
Pente	0,03	0,42
Offset	0,36	13,99
R ²	0,54	0,54
Variabilité	n/a	
MAPE	95,07	41,72



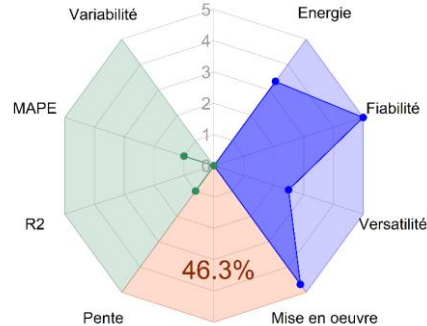
Avis général :

Les + : l'installation est très facile grâce aux fixations prévues. Le système est versatile puisqu'il permet la mesure simultanée de plusieurs polluants d'intérêt et offre différents modes d'alimentation. Selon le propriétaire (qui a transmis directement les relevés pour cet essai), la remontée des données est facile (directement dans le poste central). Le suivi dynamique est correct, mais la corrélation et la dispersion aux PM₁₀ restent moyennes. On pourra utiliser ce capteur en estimation objective site fixe.

Les - : La résolution temporelle mériterait d'être réglable à des valeurs inférieures. La sortie de mesure PM n'est pas exploitable sans une période de comparaison sur un site de référence puisqu'il faut recalculer les concentrations massiques équivalents à partir du comptage (passage de MB1_PM10 à MB1 avec correction).

O e-PM	Version 1	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
160x160x60mm	800g	3G
Principe physique	LED Rouge	

PM_{2,5}

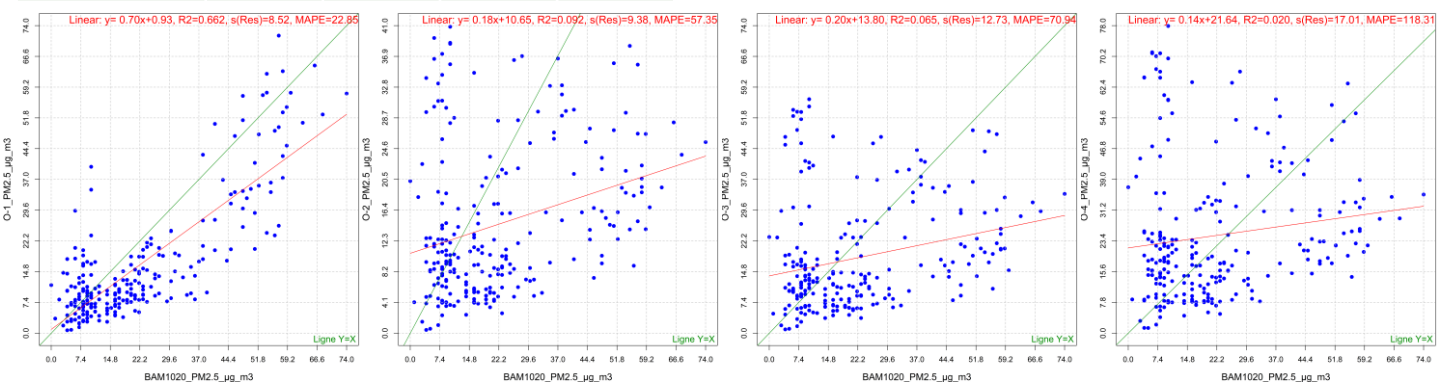
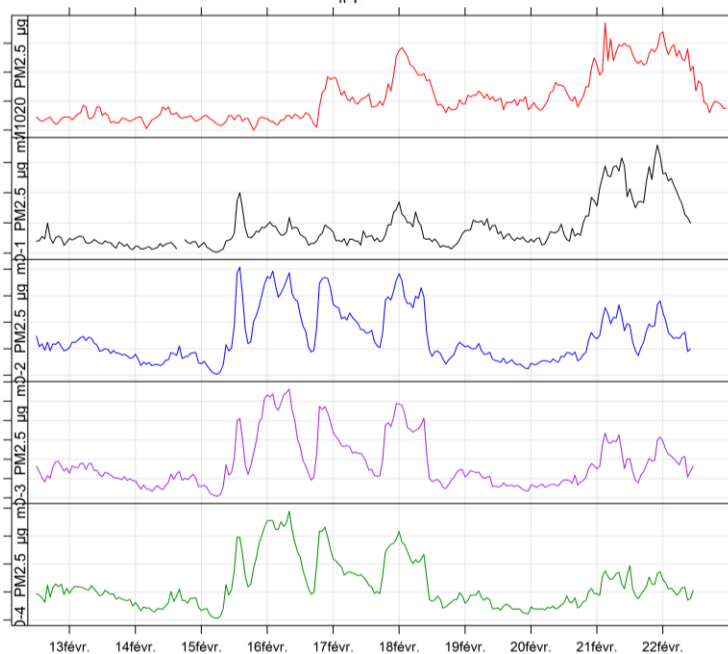


Spécifications techniques

Polluants et autres paramètres mesurés	PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration massique) T, HR, P, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (3 semaines max)
Résolution temporelle	1min (réglable)
Stockage des données	Site web, Logiciel repeat'air

Paramètres métrologiques mesurés

Capteur	O1	O2	O3	O4
Pente	0,70	0,18	0,20	0,14
Offset	0,93	10,65	13,80	21,64
R²	0,66	0,09	0,06	0,02
Variabilité	87,29			
MAPE	22,85	57,35	70,94	118,31

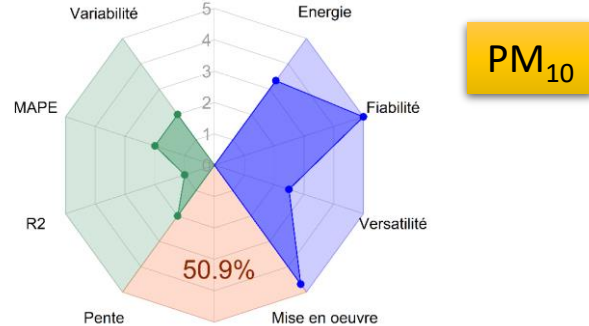


Avis général :

Les + : outil destiné à des déploiements en nombre sur le terrain pour de la cartographie en particules fines. Facile à mettre en œuvre, la récupération des données est simple grâce à l'interface en ligne. Il dispose d'un capot de protection contre les intempéries pour un usage sécurisé en air extérieur. La reproductibilité entre systèmes est correct mais doit être relativisée au regard des performances générales médiocres.

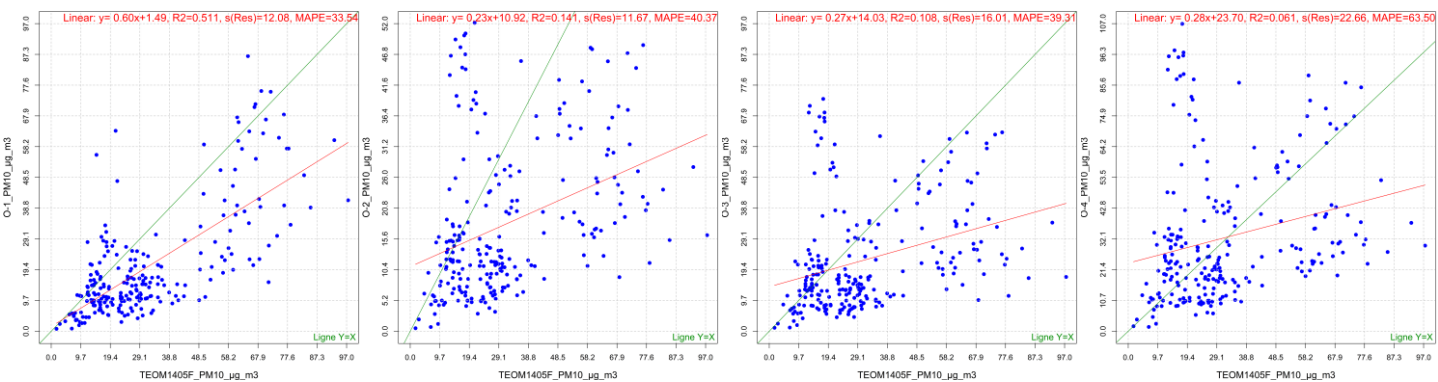
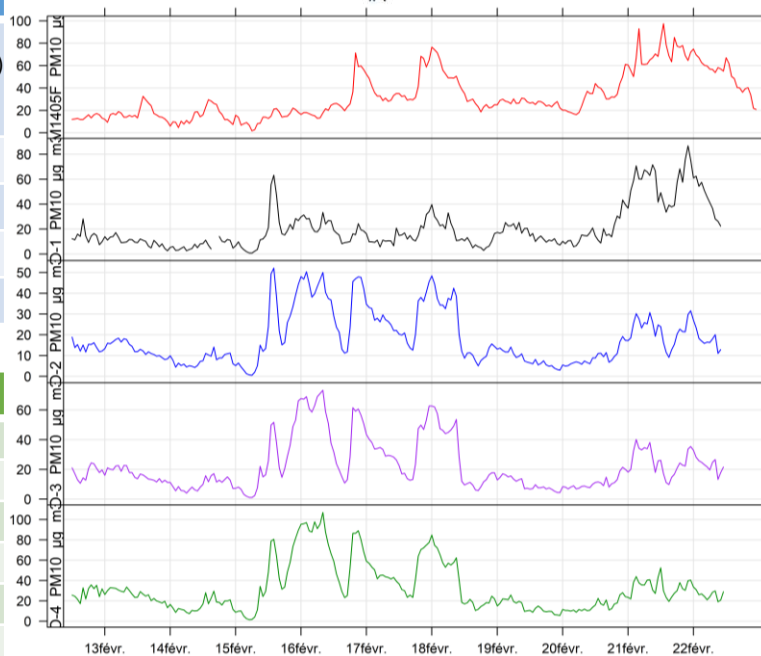
Les - : l'activation par aimant n'est pas des plus pratiques et induit parfois un doute sur l'état de fonctionnement, risque de perte de l'accessoire ad hoc. La dispersion des mesures est mauvaise quelle que soit la fraction et augmente avec la concentration. Le suivi dynamique révèle des pics inexplicables, et enfin les capteurs ont tendance à sous-estimer les PM.

O e-PM	Version 1	 1 an
Dimensions	Poids	Transmission
160x160x60mm	800g	3G
Principe physique	LED Rouge	



Spécifications techniques	
Polluants et autres paramètres mesurés	PM_{2,5}, PM₁₀ (concentration massique) T, HR, P, GPS
Usage	Fixe
Type d'alimentation	Secteur, Batterie (3 semaines max)
Résolution temporelle	1min (réglable)
Stockage des données	Site web, Logiciel repeat'air

Paramètres métrologiques mesurés				
Capteur	O1	O2	O3	O4
Pente	0,60	0,23	0,27	0,28
Offset	1,49	10,92	14,03	23,70
R²	0,51	0,14	0,11	0,06
Variabilité	49,38			
MAPE	33,54	40,37	39,31	63,50



Avis général :

Les + : outil destiné à des déploiements en nombre sur le terrain pour de la cartographie en particules fines. Facile à mettre en œuvre, la récupération des données est simple grâce à l'interface en ligne. Il dispose d'un capot de protection contre les intempéries pour un usage sécurisé en air extérieur. La reproductibilité entre systèmes est correct mais doit être relativisée au regard des performances générales médiocres.

Les - : l'activation par aimant n'est pas des plus pratiques et induit parfois un doute sur l'état de fonctionnement, risque de perte de l'accessoire ad hoc. La dispersion des mesures est mauvaise quelle que soit la fraction et augmente avec la concentration. Le suivi dynamique révèle des pics inexplicables, et enfin les capteurs ont tendance à sous-estimer les PM.



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 64 04 - www.lcsqa.org