

CASPA 2019



Session 2 : Capteurs - Données

# LE PROJET POLLUSCOPE, OBSERVATOIRE PARTICIPATIF POUR LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE À LA POLLUTION DE L'AIR EN LIEN AVEC LA SANTÉ : LA QUALIFICATION DES CAPTEURS

NICOLAS BONNAIRE



# POLLUSCOPE

## QUALIFICATION DE CAPTEURS PORTABLES

Nicolas Bonnaire , Baptiste Languille, Valérie Gros, Clément Pommier, Cécile Honoré, Christophe Debert, Laurent Gauvin, Salim Srairi, Isabella Annesi-Maesano, Basile Chaix, Karine Zeitouni



données et algorithmes  
pour une ville intelligente et durable



L'Observatoire de l'air en Île-de-France



Institut Pierre Louis d'Épidémiologie et de Santé Publique  
Pierre Louis Institute of Epidemiology and Public Health

Pierre Louis (French physician, 1787-1872) contributed to the development of epidemiology



# PROJET POLLUSCOPE

---

- Projet ANR (2016-2021) consistant à utiliser des capteurs portatifs pour évaluer l'exposition individuelle d'un certain nombre de volontaires (sains et malades) en région Ile-de-France

## **Motivation :**

- Peu de données existent sur l'exposition individuelle réelle à la pollution de l'air

## **Objectifs :**

- Évaluation des capacités de ces capteurs
- Infrastructure de collecte, traitement et analyse de données
- Caractériser l'exposition individuelle à la pollution de l'air par micro-environnement et ses effets sanitaires
- Explorer la possibilité de « densifier » le réseau d'observation de la qualité de l'air par ces mesures.



# Capteurs : Sélection

## Rédaction du cahier des charges

Fiabilité, poids (< 2 kg), prix, autonomie de la batterie (> 12 h), connectivité, etc.

## Capteurs considérés parmi des centaines existants

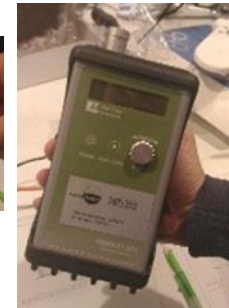
Seulement des capteurs (presque) commercialement disponibles  
Recherche biblio., salons spécialisés, contact fournisseurs, etc.

Septembre 2016 –  
Février 2017

≈ 30

8

## Capteurs testés



## Polluants mesurés

- Particules (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>)
- Ozone (O<sub>3</sub>)
- Oxydes d'azotes (NO, NO<sub>2</sub>)
- COV
- Carbone suie
- Formaldéhyde

7

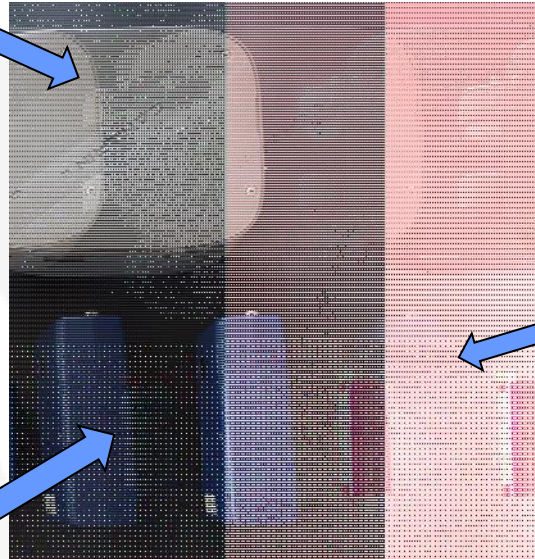
# Capteurs sélectionnés

## Canarin II – PM<sub>10</sub> / PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>1</sub> (UPMC)

Compteur optique : Mesure par diffusion de lumière laser (Théorie de Mie)

15 exemplaires

- **Connection WiFi**
- **Stockage données sur le Cloud**



## Cairsens – NO<sub>2</sub> (ENVEA)

Mesure électro-chimique par réaction d'oxydo-réduction

15 exemplaires

## MicroAeth AE51 – BC (AethLabs)

Mesure optique de l'absorbance des particules de carbone suie avec LED à 880 nm sur le dépôt du filtre

6 exemplaires

- **Stockage données important**
- **1 filtre / Jours**

**Résolution temporelle : 1 minutes pour les 3 Capteurs**

# QUALIFICATION DES CAPTEURS

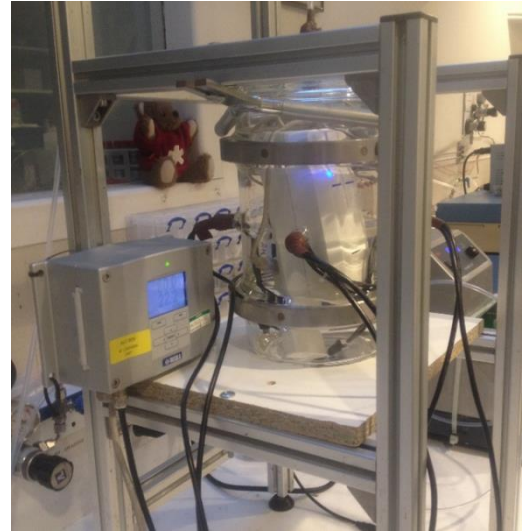
## 1. Mesures fixes au SIRTA

- Instruments de référence en parallèle des capteurs
- Apprécie la fiabilité en atmosphère réelle



## 2. Mesures en chambre chez Airparif

- Atmosphère contrôlée (Contrôle de l'humidité, etc.)



## 3. Mesures en mobilité

- En région parisienne
- Différents environnements (moyens de transport, extérieur/intérieur, différentes saisons)



# CAMPAGNES DE QUALIFICATION

---

## Mesures fixes :

- Mars & Avril 2018 : BC, PM & NO<sub>2</sub>, SIRTAL/SCE (Gif sur Yvette)
- Juin 2018 : BC, PM & NO<sub>2</sub>, SIRTAL/SCE (Gif sur Yvette)
- Septembre 2018 : NO<sub>2</sub>, BP Est Paris (AIRPARIF)
- Novembre 2018 : BC, PM & NO<sub>2</sub>, SIRTAL/SCE (Gif sur Yvette)

## Mesures en chambre (AIRPARIF) :

- Juin 2018




## Mesures en mobilité (région parisienne) :

- Juin 2018
- Novembre 2018



# QUALIFICATION DES CAPTEURS : MESURES FIXES

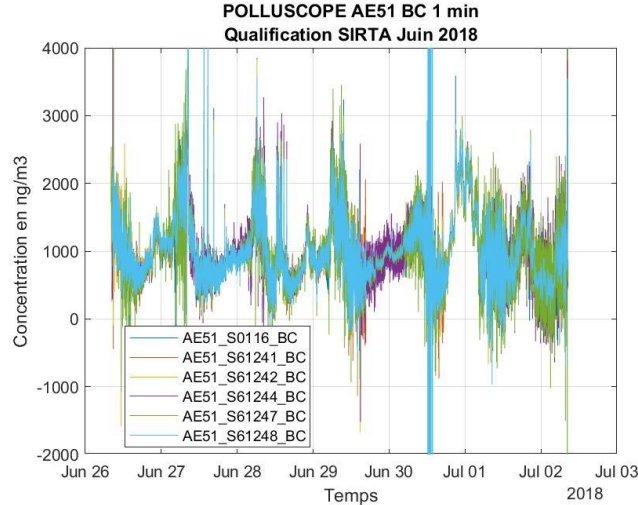


Instrument	Polluant	Principe de la mesure	Résolution temporelle	Photo
AE 33-7 (Magee)	BC	Mesure optique	1 min	
T200UP (Teledyne)	NO2	Chimie luminescence	1 min	
TEOM-FDMS	PM <sub>1</sub> /PM <sub>2,5</sub> / PM <sub>10</sub>	Microbalance	15 min	
FIDAS 200	PM <sub>1</sub> /PM <sub>2,5</sub> / PM <sub>10</sub>	Compteur optique	1 min	

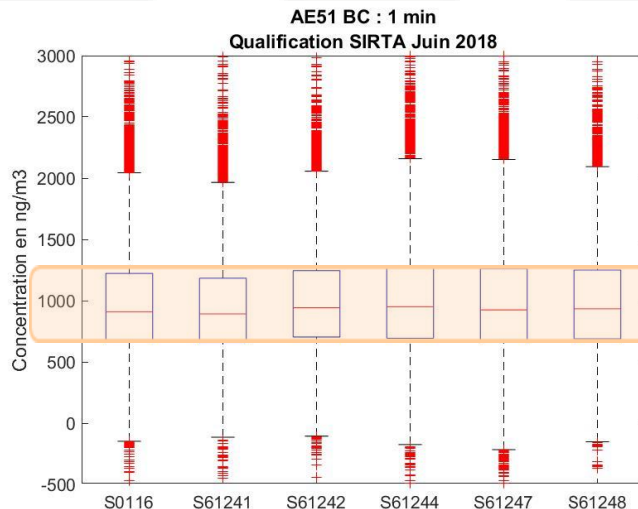




# BC : Reproductibilité



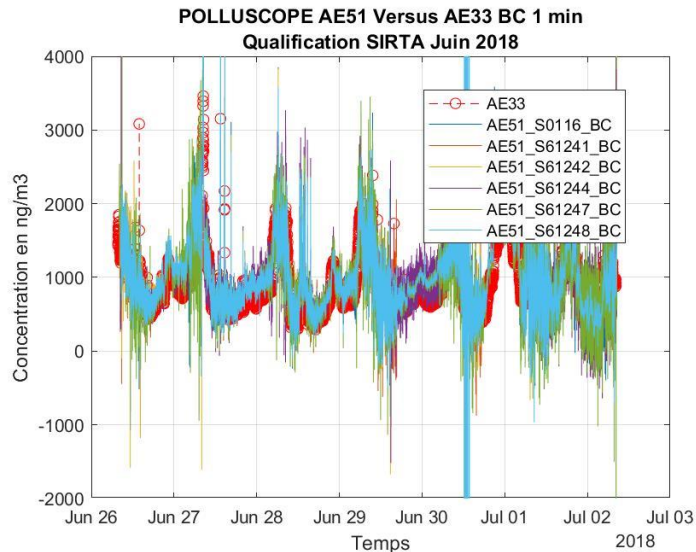
- Bonne homogénéité des mesures
- Bonne reproductibilité
- Variabilité identique entre les capteurs
- Signal bruité (valeurs négatives)



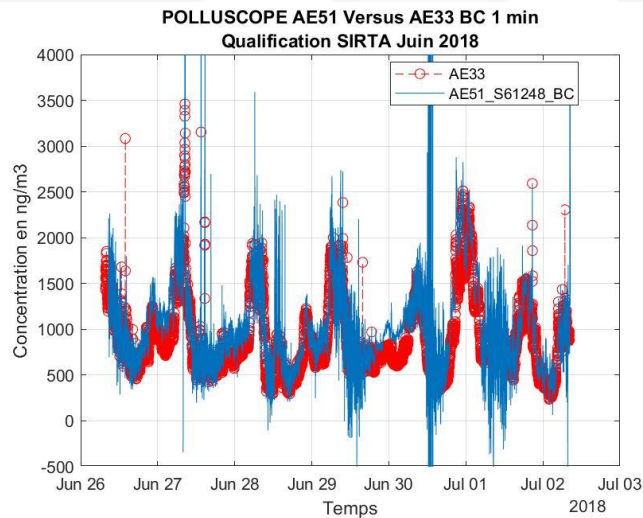
- Médiane reproductible, 1 000 ng/m<sub>3</sub>
- 25/75 percentile similaire
- Moustache :  $1,5 * (25/75 \text{ percentile})$



# BC : Justesse



- Bonne justesse par rapport à la référence
- Variabilité identique par rapport à la **référence**
- Même principe de mesure pour les capteurs et la **référence** : compteur optique



# SET – Critères d'évaluation de la performance des capteurs

## 7 critères d'évaluation (Fishbain et al., 2017)

### 1. RMSE – Erreur moyenne quadratique

- Première appréciation de l'accord avec la référence

### 2. $R^2$ - Coefficient de corrélation de Pearson

- Caractérisation d'une relation linéaire avec la référence

### 3. $\tau$ - Coefficient de corrélation de Kendall

### 4. S - Coefficient de corrélation de Spearman

- Présence d'une relation non-linéaire

### 5. Présence

- Évaluation de la complétude des données, mise en évidence des problèmes d'absence de données

### 6. Résultat de correspondance

- Appréciation de la justesse du capteur sur une large fenêtre temporelle.
- Moins sévère que RMSE et  $R^2$  pour un capteur qui a une valeur qui oscille autour d'une valeur de référence.
- Calcul : détermination de classes qui encadrent les valeurs du capteurs et de la référence. Minimisation du nombre de classes.

### 7. Énergie des fréquences basses

- Ce paramètre mesure la capacité du capteur à mesurer la variabilité temporelle de la pollution observée. Il est caractéristique d'un signal plutôt que d'une mesure comparable à un instrument de référence.
- Calcul : utilisation de la transformée de Fourier



# BC : OUTIL SET, Indice global (IPI)

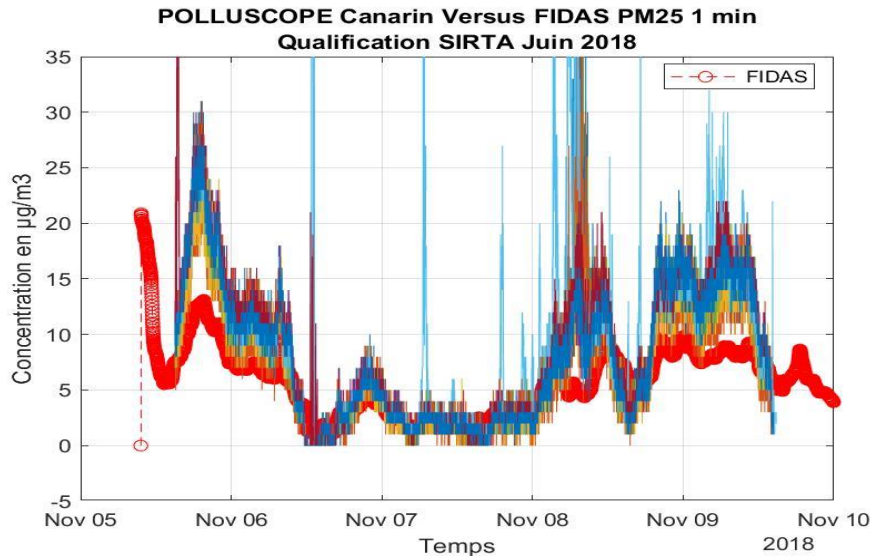
Capteurs	Mean Value	Match	RMSE	Pearson	Kendall	Spearman	Presence	LFE	IPI
S0 116	1 001	0,84	334	0,79	0,57	0,74	0,99	0,98	0,80
S6 1241	976	0,86	302	0,82	0,61	0,79	0,99	0,98	0,82
S6 1242	1 023	0,85	320	0,82	0,62	0,80	0,99	0,99	0,82
S61244	1 054	0,83	378	0,80	0,58	0,75	0,95	0,98	0,79
S6 1247	1 035	0,83	397	0,75	0,54	0,72	0,98	0,97	0,77
S6 1248	1 020	0,87	307	0,84	0,65	0,83	0,99	0,99	0,84

- Critères d'évaluation variant de 0 (mauvais) à 1 (excellent)
- Indice global dans l'ensemble très satisfaisant (IPI > 0,70)
- Peu de perte de données (Presence)
- Bonne reproductibilité
- Bonne corrélation linéaire (Pearson) par rapport à la référence
- Bonne justesse par rapport à la référence (Match factor & RMSE)



# PM : PM 2,5

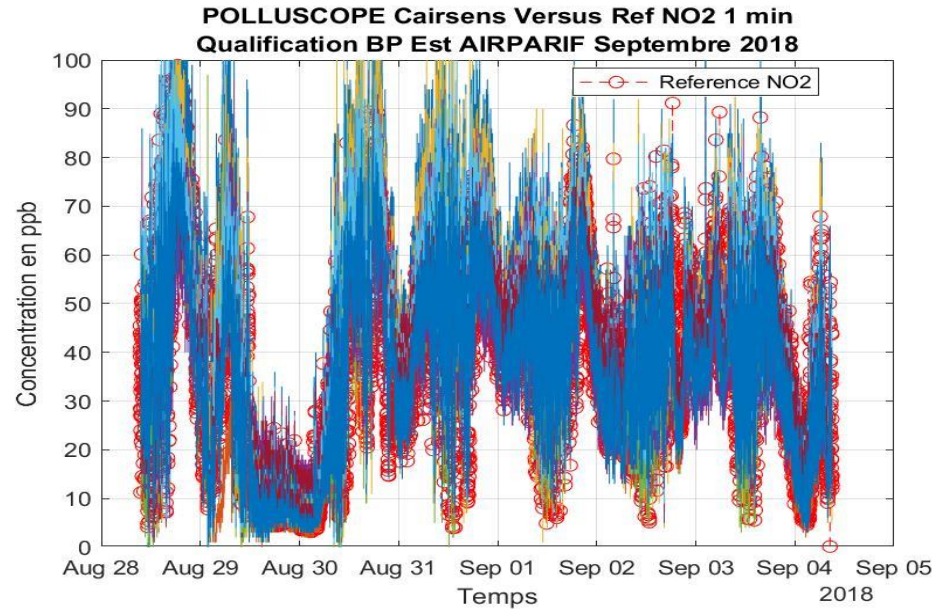
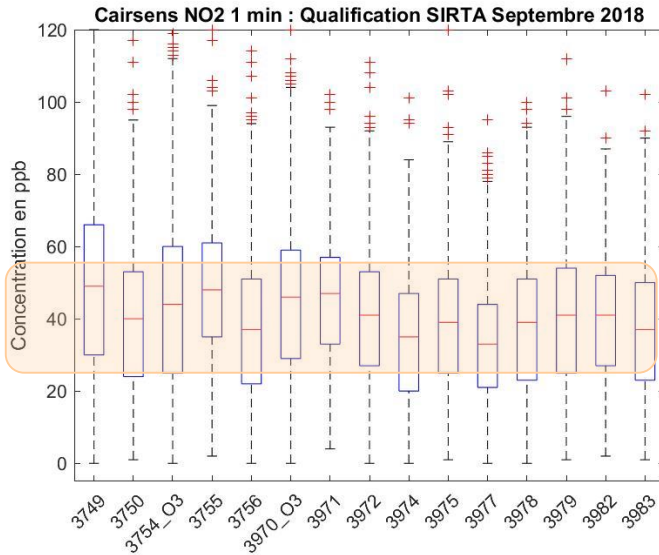
- Bonne reproductibilité
- Même variabilité entre les capteurs et la référence (LFE) et entre PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> & PM<sub>10</sub>
- Justesse moyenne, mais satisfaisant pour ce type de capteur (Match<0,5)
- Même à basse concentration le capteur conserve sa bonne variabilité
- Quelques capteurs défectueux : sur des plages de temps courtes des valeurs « Outlier »
- Capteur satisfaisant pour les trois classes de taille (IPI > 0,65)
- Meilleure performance en PM<sub>2,5</sub>
- Bonne couverture temporelle



Capteurs	Mean Value	Match	RMSE	Pearson	Kendall	Spearman	Presence	LFE	IPI
CANARIN 1	8,50	0,53	4,6	0,93	0,80	0,93	1,00	1,00	0,81
CANARIN 2	7,59	0,22	5,1	0,79	0,76	0,90	1,00	0,99	0,71
CANARIN 3	9,12	0,39	5,5	0,88	0,76	0,90	1,00	1,00	0,76
CANARIN 4	7,71	0,47	4,1	0,93	0,79	0,93	1,00	1,00	0,80
CANARIN 5	8,50	0,60	4,6	0,94	0,80	0,94	1,00	1,00	0,82
CANARIN 6	7,74	0,56	3,9	0,91	0,78	0,92	1,00	1,00	0,81
CANARIN 7	8,81	0,22	7,0	0,67	0,72	0,88	1,00	0,99	0,67
CANARIN 8	8,78	0,22	5,6	0,86	0,77	0,91	1,00	0,99	0,73
CANARIN 9	8,00	0,53	4,3	0,93	0,79	0,93	1,00	1,00	0,81
CANARIN 10	9,33	0,23	6,4	0,81	0,76	0,90	1,00	0,99	0,71
CANARIN 11	6,10	0,25	3,6	0,81	0,76	0,90	1,00	0,99	0,73
CANARIN 13	7,22	0,25	4,1	0,81	0,75	0,89	1,00	0,99	0,73
CANARIN 14	8,31	0,37	4,5	0,91	0,79	0,92	1,00	1,00	0,78
CANARIN 16	8,99	0,29	5,8	0,82	0,75	0,89	1,00	0,99	0,73
CANARIN 17	9,11	0,22	6,8	0,71	0,72	0,86	1,00	0,98	0,68



# NO<sub>2</sub>



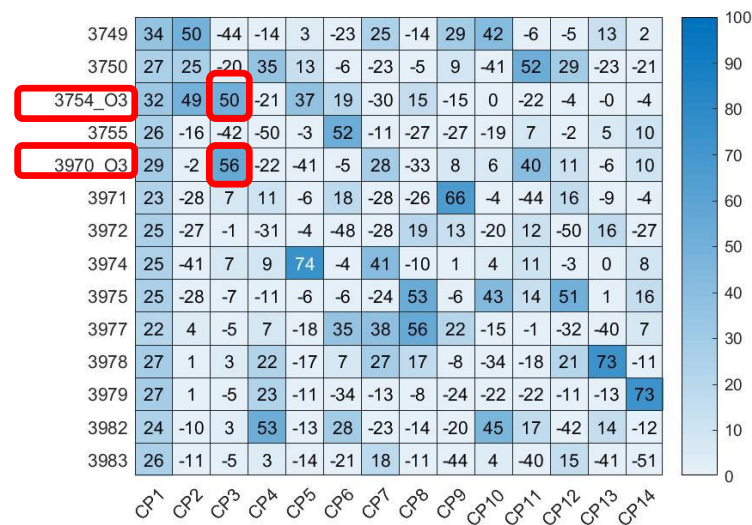
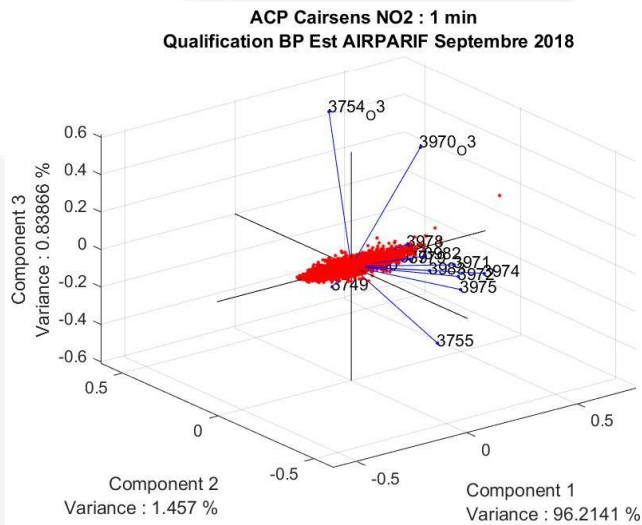
- Bonne représentativité
- Dispersion des capteurs (de 700m)
- Bonne couverture géographique Est (station AIRPARIF)
- Aides Refs supérieures à 20 ppb
- Qualification (soit 20 ppb) (Match > 0,60)
- Bonne couverture temporelle malgré variabilité contrastée (changement d'humidité)
- sans leur scrubber O<sub>3</sub>

Capteurs	Mean Value	Match	RMSE	Pearson	Kendall	Spearman	Presence	LFE	IPI
3749	49	0,65	19	0,76	0,58	0,75	1,00	0,99	0,76
3750	39	0,62	13	0,78	0,59	0,77	1,00	0,99	0,77
3754_O3	44	0,55	16	0,75	0,57	0,75	1,00	0,98	0,75
3755	48	0,57	17	0,75	0,56	0,73	1,00	1,00	0,75
3756	37	0,68	14	0,75	0,57	0,75	0,94	0,99	0,76
3970_O3	44	0,60	15	0,77	0,57	0,75	1,00	0,99	0,76
3971	45	0,68	14	0,76	0,57	0,74	1,00	1,00	0,78
3972	40	0,62	13	0,75	0,56	0,73	1,00	0,99	0,76
3974	34	0,67	15	0,73	0,55	0,71	1,00	0,99	0,75
3975	38	0,65	13	0,76	0,57	0,74	1,00	0,99	0,77
3977	33	0,65	14	0,75	0,57	0,74	1,00	0,99	0,76
3978	38	0,64	13	0,78	0,59	0,76	1,00	0,99	0,77
3979	40	0,68	13	0,78	0,59	0,77	1,00	0,99	0,78
3982	39	0,69	12	0,79	0,60	0,77	1,00	0,99	0,79
3983	36	0,68	13	0,78	0,59	0,76	1,00	0,99	0,78



# NO<sub>2</sub> : Variance

- Limitation de OUTIL SET : nécessité d'avoir une mesure de référence
- Exploratoire à valider : analyses en composantes principales



- La composante 1 représente 96 % de la variance, chaque capteur participant à parts égales : bonne reproductibilité entre les capteurs
- La composante 3 avec 0,8 % de la variance permet peut-être de différencier les capteurs qui ont fonctionné sans scrubber O<sub>3</sub>



# QUALIFICATION DES CAPTEURS : CHAMBRE

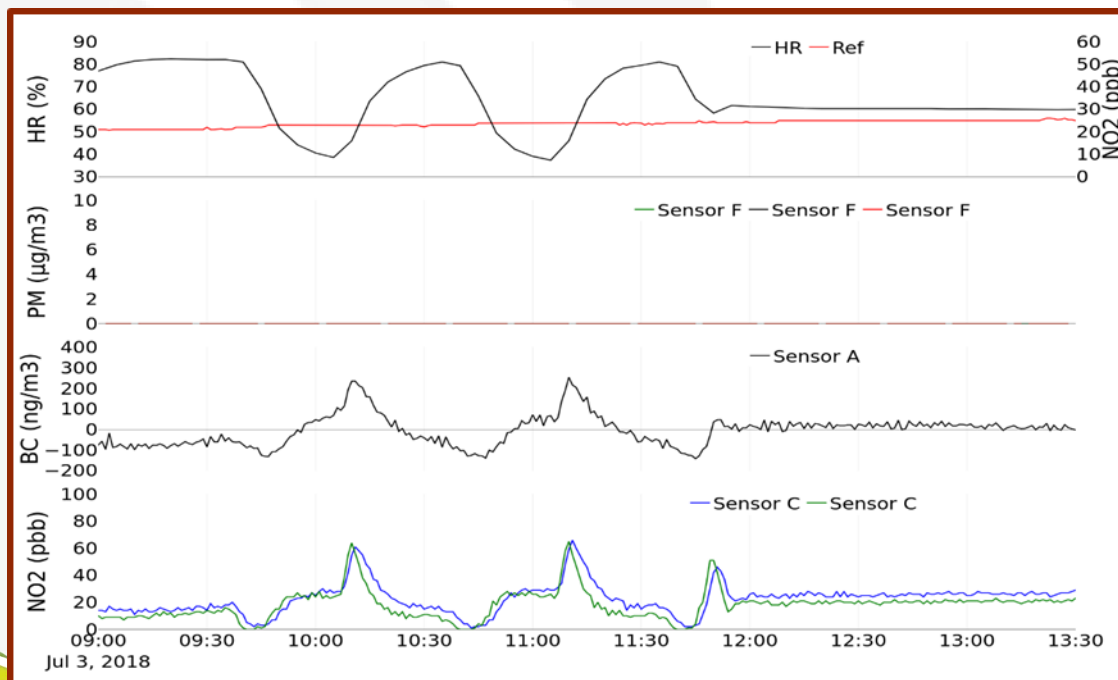
Test en chambre chez Airparif

Variations d'humidité (40 %, 80 % HR)

PM: pas d'influence

BC: léger artefact

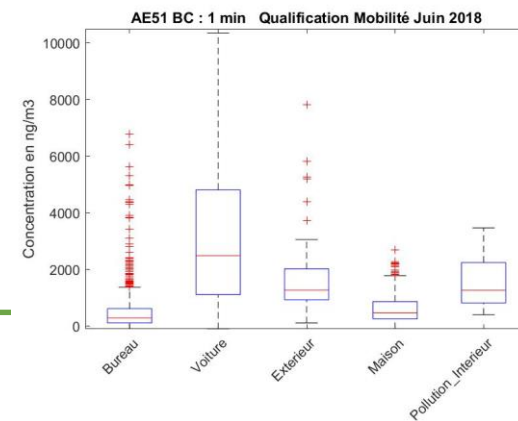
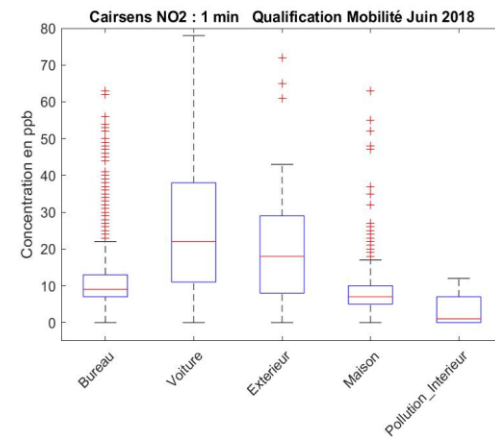
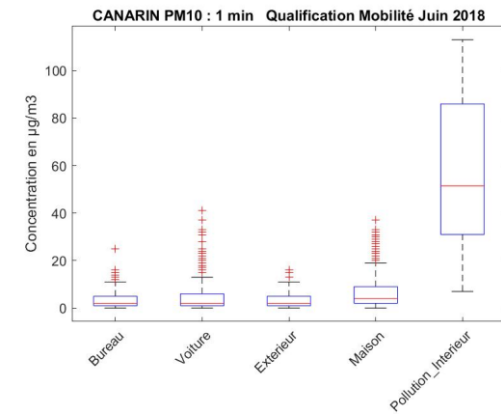
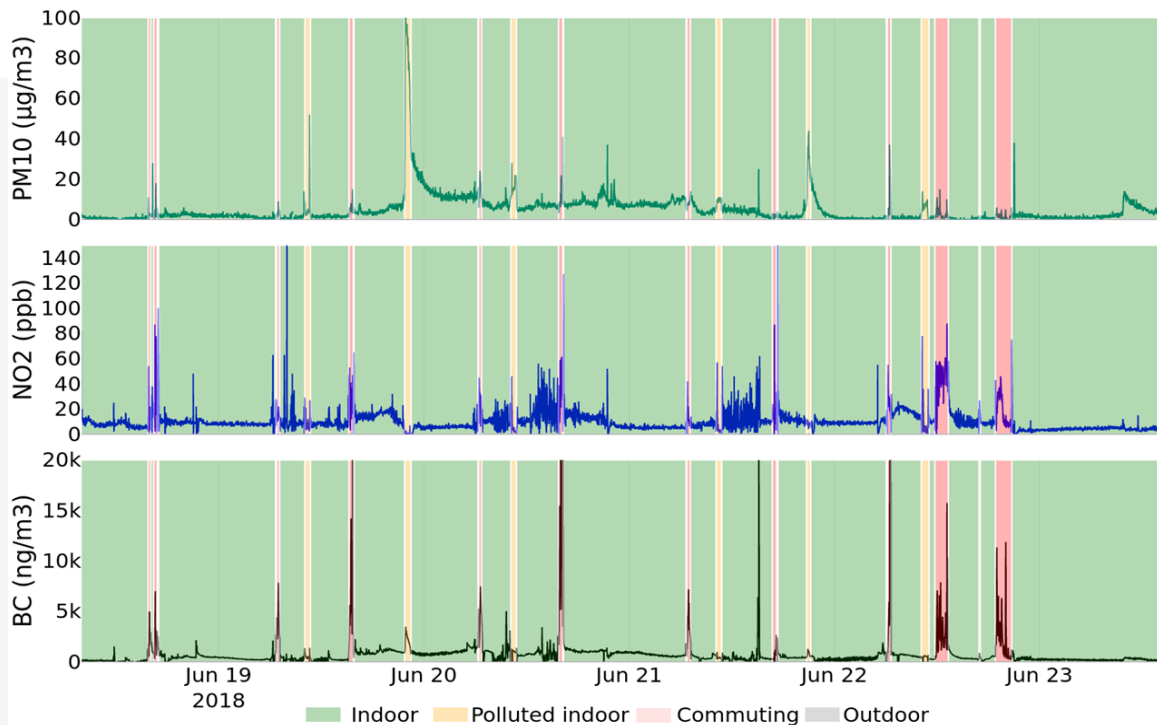
NO<sub>2</sub>: significatif artefact ( $\approx 20$  ppb)





# QUALIFICATION DES CAPTEURS : MOBILITE

- Peu de pertes de données
- Réponse aux événements de pollution, bonne cohérence entre les capteurs
- Signal peu bruité la majorité du temps



- **Caractérisation des différents environnements**
- **Déploiement réussi des capteurs en mobilité**



# Conclusion et perspectives

---

2017 : sélection des capteurs

2018 : qualification des capteurs

2019 : début de la campagne de terrain

PM capteur fonctionnant mieux en mode PM25

BC bruité à la minute, mais permet de revenir à une valeur correcte en moyenne cinq minutes.

On peut valider la qualification de ces trois capteurs

Pour les campagnes de terrain d'environ trois mois, les capteurs seront qualifiés en début de campagne et en fin de campagne pendant une semaine.

