

# POLLUSCOPE

Agence Nationale de la Recherche  
**ANR**

## Observatoire participatif de l'exposition individuelle à la pollution de l'air : première phase de tests et sélection des capteurs

Baptiste Languille - 1<sup>re</sup> année de doctorat

Valérie Gros<sup>1</sup>, Nicolas Bonnaire<sup>1</sup>, Cécile Honoré<sup>2</sup>, Christophe Debert<sup>2</sup>, Laurent Gauvin<sup>2</sup>, Salim Srairi<sup>3</sup>, Arnaud Gorin<sup>3</sup>

Basile Chaix<sup>4</sup>, Isabella Annesi-Maesano<sup>4</sup>, Mohamed Chachoua<sup>5</sup>, Cyril Ray<sup>6</sup>, et collaborateurs

Projet coordonné par Karine Zeitouni<sup>7</sup>

**SIRTA**

SITE INSTRUMENTAL DE RECHERCHE  
PAR TELEDETECTION ATMOSPHERIQUE

Journée du SIRTA

jeudi 29 juin 2017



**LSCE**

LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT  
& DE L'ENVIRONNEMENT

UNIVERSITÉ DE  
VERSAILLES  
ST-QUENTIN-EN-YVELINES  
université PARIS-SACLAY



1 - LSCE

2 - Airparif

3 - Cerema

4 - Inserm

5 - EIVP

6 - IRENAV

7 - david

# Plan de la présentation

## 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation

- Mesures et niveaux de pollution
- Concept du projet

## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

- Protocoles des tests
- Instruments de référence du SIRTA
- Résultats

## 3. Autres groupes de travail et suite du projet

- Groupe de travail « plateforme »
- Campagnes de mesures

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation

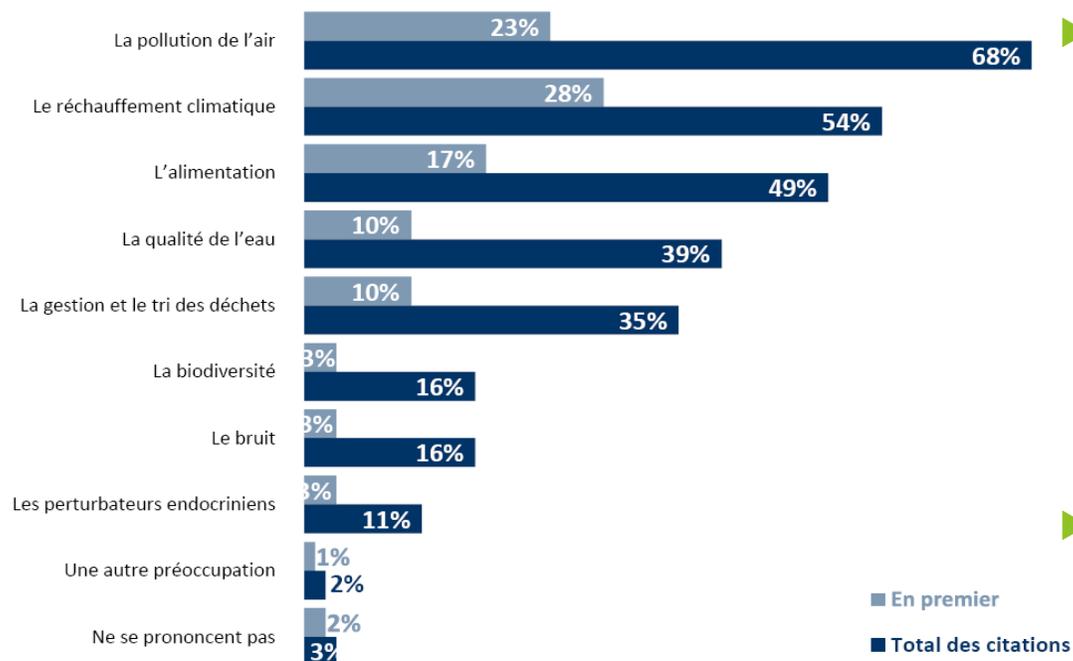


Épisode de pollution aux particules fines - le 8 déc. 2016  
Crédits : TANGOPASO Wikimedia Commons

- ▶ La pollution : une menace pour la santé
  - Monde : 7 millions de morts prématurées liées à la pollution de l'air en 2012<sup>1</sup>
  - France : 48 000 morts par an causées par les particules fines<sup>2</sup>
  - Île-de-France : 1,5 million de personnes exposées à une pollution dépassant les limites réglementaires<sup>3</sup>

1 - Organisation mondiale de la santé  
2 - Santepubliquefrance  
3 - Airparif

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation



Sondage Ifop pour AIRPARIF

De manière générale, en matière d'environnement, qu'est-ce qui vous préoccupe le plus ?

[https://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/sondage2014-ifop.pdf](https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/sondage2014-ifop.pdf)

## ► La pollution : une menace pour la santé

- Monde : 7 millions de morts prématurées liées à la pollution de l'air en 2012<sup>1</sup>
- France : 48 000 morts par an causées par les particules fines<sup>2</sup>
- Île-de-France : 1,5 million de personnes exposées à une pollution dépassant les limites réglementaires<sup>3</sup>

## ► Une préoccupation majeure des Franciliens

→ **Nécessité de mesurer la pollution pour mieux connaître les phénomènes qui la régissent**

1 - Organisation mondiale de la santé

2 - Santepubliquefrance

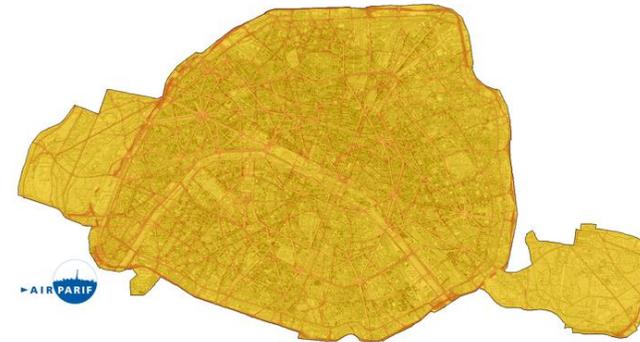
3 - Airparif

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation

## ► Le suivi de la pollution aujourd'hui : stations fixes et modélisation

### → Limitation :

- Peu de stations donc erreur d'interpolation
- Manque de mesure de l'air intérieur, des transports, etc.
- Incertitude sur quantification de l'exposition individuelle réelle...
- ... et donc sur l'impact de la pollution sur la santé



Carte de modélisation de PM10  
Crédits : Airparif



Station de mesures Airparif - place  
Basch, Paris  
Crédits : [www.respire-asso.org](http://www.respire-asso.org)

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation

## ► Le suivi de la pollution aujourd'hui : stations fixes et modélisation

### → Limitation :

- Peu de stations donc erreur d'interpolation
- Manque de mesure de l'air intérieur, des transports, etc.
- Incertitude sur quantification de l'exposition individuelle réelle...
- ... et donc sur l'impact de la pollution sur la santé

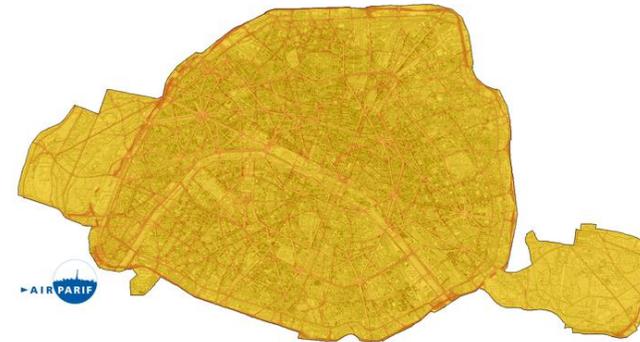
### → Intérêt des mini-capteurs :

- Bon marché donc achat de nombreux exemplaires
- Taille et poids réduits donc port toute la journée

(i) Meilleure représentativité

(ii) Mesure de l'exposition individuelle

(iii) Détermination de l'impact sanitaire



Carte de modélisation de PM10  
Crédits : Airparif



Station de mesures Airparif - place  
Basch, Paris  
Crédits : [www.respire-asso.org](http://www.respire-asso.org)

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation

## ► Le suivi de la pollution aujourd'hui : stations fixes et modélisation

### → Limitation :

- Peu de stations donc erreur d'interpolation
- Manque de mesure de l'air intérieur, des transports, etc.
- Incertitude sur quantification de l'exposition individuelle réelle...
- ... et donc sur l'impact de la pollution sur la santé

### → Intérêt des mini-capteurs :

- Bon marché donc achat de nombreux exemplaires
- Taille et poids réduits donc port toute la journée

### → Difficultés et intérêt du projet :

- Compromis entre performances et prix des mini-capteurs
- Utilisation des capteurs en mobilité et changement d'atmosphère
- Gestion et analyse des données en temps (presque) réel



Carte de modélisation de PM10  
Crédits : Airparif

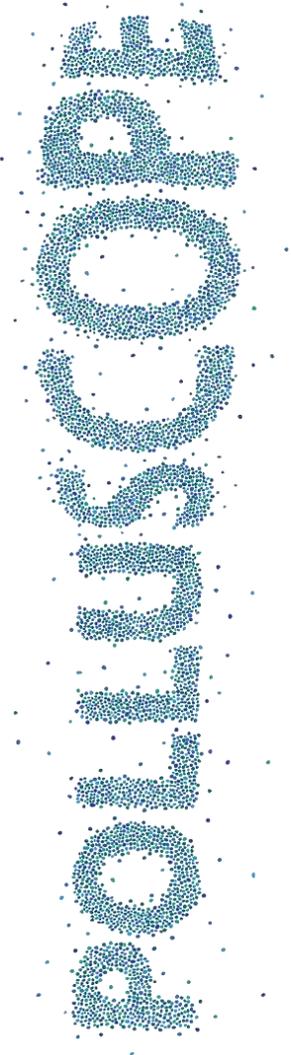


Station de mesures Airparif - place  
Basch, Paris  
Crédits : [www.respire-asso.org](http://www.respire-asso.org)



**Fiabilité des  
mini-capteurs ?**

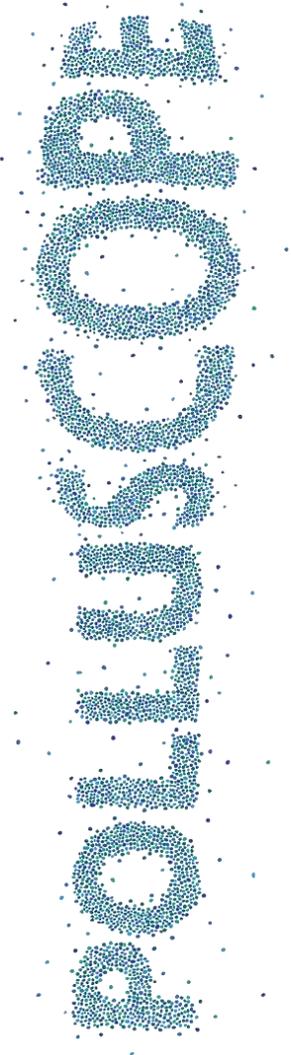
# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation



## Objectifs de Polluscope :

- ▶ **Concevoir** l'observatoire participatif de la qualité de l'air (volontaires, capteurs, architecture de gestion des données)
- ▶ **Mesurer** l'exposition individuelle et la variabilité spatio-temporelle de la pollution
- ▶ **Évaluer** la capacité de ces nouveaux capteurs à compléter les mesures fixes existantes
- ▶ **Déterminer** l'impact de la pollution sur l'état de santé des personnes atteintes de complications respiratoires et des témoins

# 1. Le projet Polluscope : contexte et présentation



## Calendrier de Polluscope (2016-2020) :

- ▶ Sept. - déc. 2016
  - Sélection de capteurs (étude biblio., salons, etc.)
- ▶ Jan. - sept. 2017
  - Tests des capteurs
- ▶ Fin 2017
  - Campagne de faisabilité des capteurs retenus
- ▶ Printemps, automne 2018
  - Campagne de mesures avec les volontaires sains
- ▶ Printemps, automne 2019
  - Campagne de mesures avec les patients

## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

- ▶ Rédaction du cahier des charges (fiabilité, poids, prix, autonomie, connectabilité, etc.)
- ▶ **30aine** de capteurs relevés et discutés parmi des centaines existants
- ▶ **10** capteurs testés (+ 3 en attente de tests)
- ▶ **7** polluants mesurés
  - ▶ Particules ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ )
  - ▶ Ozone ( $O_3$ )
  - ▶ Oxydes d'azote ( $NO$ ,  $NO_2$ )
  - ▶ COV totaux
  - ▶ Carbone suie
  - ▶ Formaldéhyde



Capteurs testés

## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs



Station de référence du SIRTA- LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE

### Protocoles de tests des capteurs :

1. Mesures **fixes** en parallèle des instruments de référence du SIRTA
  - Première appréciation de la fiabilité des capteurs en atmosphère réelle

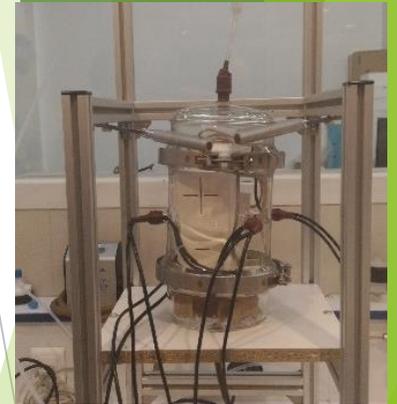
## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### Protocoles de tests des capteurs :

1. Mesures **fixes** en parallèle des instruments de référence du SIRTA
  - Première appréciation de la fiabilité des capteurs en atmosphère réelle
2. Mesures en **atmosphère contrôlée** (chambre Airparif)
  - Variations contrôlées de l'humidité et des niveaux d'oxydes d'azote et d'ozone
  - Appréciation de la fiabilité des capteurs lors de changements rapides d'atmosphère



Station de référence du SIRTA- LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE



Chambre atmosphère contrôlée - Airparif

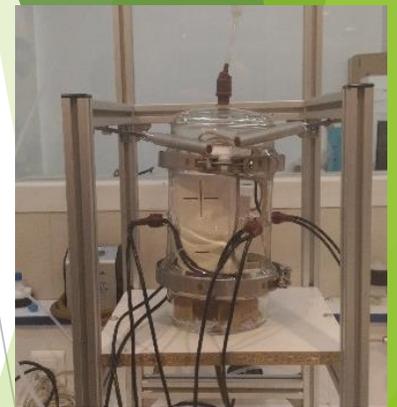
## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### Protocoles de tests des capteurs :

1. Mesures **fixes** en parallèle des instruments de référence du SIRTA
  - Première appréciation de la fiabilité des capteurs en atmosphère réelle
2. Mesures en **atmosphère contrôlée** (chambre Airparif)
  - Variations contrôlées de l'humidité et des niveaux d'oxydes d'azote et d'ozone
  - Appréciation de la fiabilité des capteurs lors de changements rapides d'atmosphère
3. Mesures de **reproductibilité/mobilité** (plusieurs exemplaires testés, capteurs portés)
  - (i) Mesures fixes : reproductibilité des capteurs
  - (ii) Capteurs portés : détermination de la capacité des capteurs à mesurer en mouvement



Station de référence du SIRTA- LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE



Chambre atmosphère contrôlée - Airparif



Capteurs portés toute la journée

# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

Présentation de la station de référence du SIRTA :

- ▶ Mesures en continu de la composition chimique des **gaz réactifs** et des **particules** sur la plateforme expérimentale du LSCE (bât. 705, zone 5 du SIRTA)



- ▶ Réseaux de recherche nationaux et internationaux



Prog. EU-ACTRIS-2  
(2015-2019)

- ▶ Plateforme de calibration métrologique (Aerosol Chemical Monitor Calibration Centre - ACMCC)
- ▶ Station de fond régional/périurbaine de suivi de la pollution en Île-de-France

# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

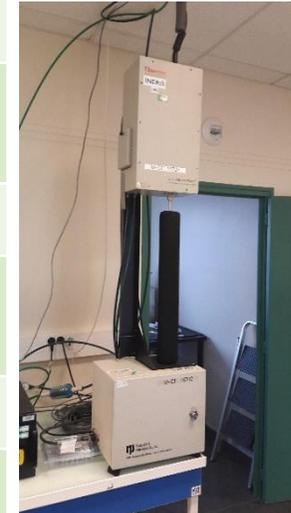
Protocoles de tests des capteurs :

1. Mesures **fixes** en parallèle des instruments de référence du SIRTA

| Instrument        | Polluant  | Pas de temps $\Delta t$ (min) |
|-------------------|---|-------------------------------|
| T200UP (Teledyne) | Oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ )  | 1                             |
| T400U (Teledyne)  | Ozone ( $\text{O}_3$ )  | 1                             |
| TEOM - FDMS       | Particules ( $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2,5}$ , $\text{PM}_1$ )                           | 15                            |
| AE 33 (Magee)     | Carbone suie  | 1                             |
| Sunset            | Carbone organique et élémentaire ( $\text{PM}_{2,5}$ )  | 1 jour                        |
| SMPS              | Particules (distribution en taille)   |                               |
| ACSM              | $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ , MO ( $\text{PM}_1$ ) | 30                            |
| GC/MS             | COV   | 4 prélèvements/sem            |
| ...               |   |                               |



Station de référence du SIRTA - LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE



15

En partant du haut dans le sens horaire :  
T200UP, T400U, AE33, TEOM

# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

Protocoles de tests des capteurs :

1. Mesures **fixes** en parallèle des instruments de référence du SIRTA



Station de référence du SIRTA - LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE

| Instrument        | Polluant                          | Pas de temps Δt (min) |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| T200UP (Teledyne) | Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) | 1                     |

|                  |  |  |
|------------------|--|--|
| T400U (Teledyne) |  |  |
| TEOM - FDMS      |  |  |

**→ Sélection de résultats**

|               |   |                    |
|---------------|---|--------------------|
| AE 33 (Magee) | Carbone suie  | 1                  |
| Sunset        | Carbone organique et élémentaire (PM <sub>2,5</sub> )   | 1 jour             |
| SMPS          | Particules (distribution en taille)   |                    |
| ACSM          | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , MO (PM <sub>1</sub> ) | 30                 |
| GC/MS         | COV   | 4 prélèvements/sem |
| ...           |   |                    |

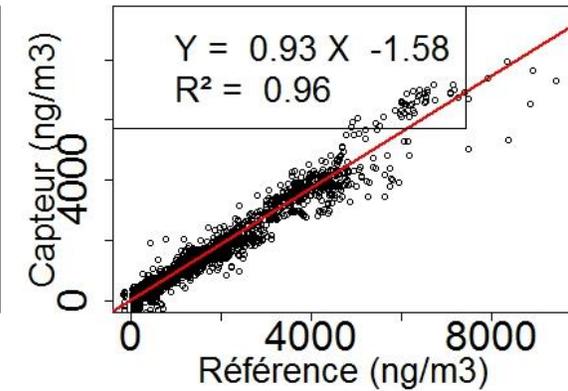
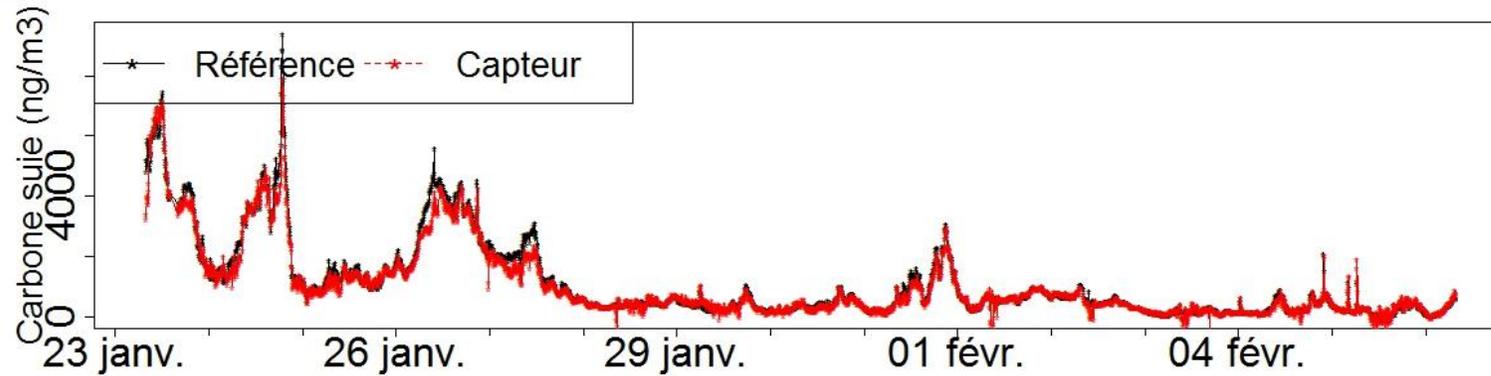


16

En partant du haut dans le sens horaire : T200UP, T400U, AE33, TEOM

## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

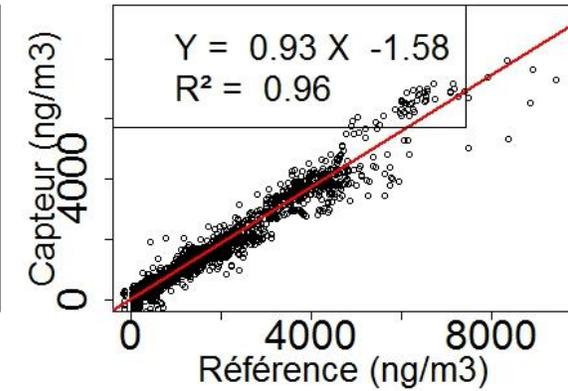
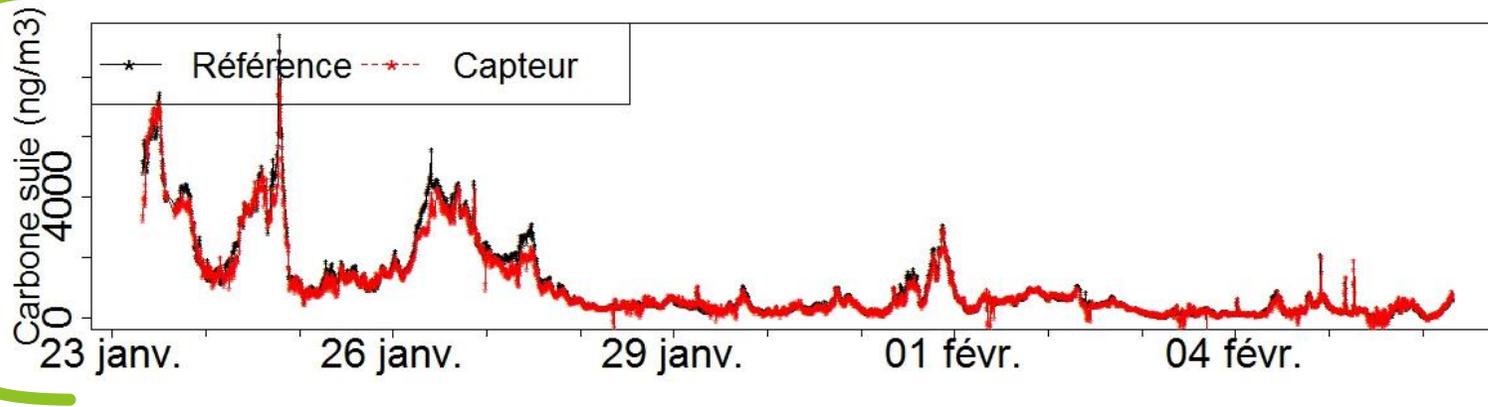
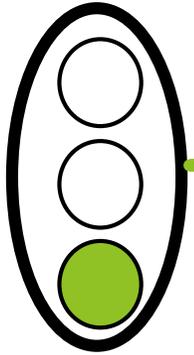
### i - Tests fixes - capteurs juxtaposés aux appareils de référence



## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### i - Tests fixes - capteurs juxtaposés aux appareils de référence

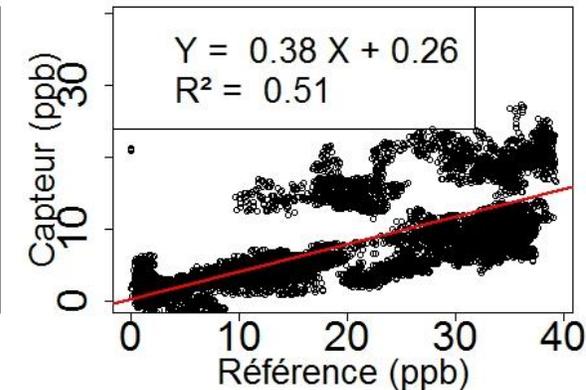
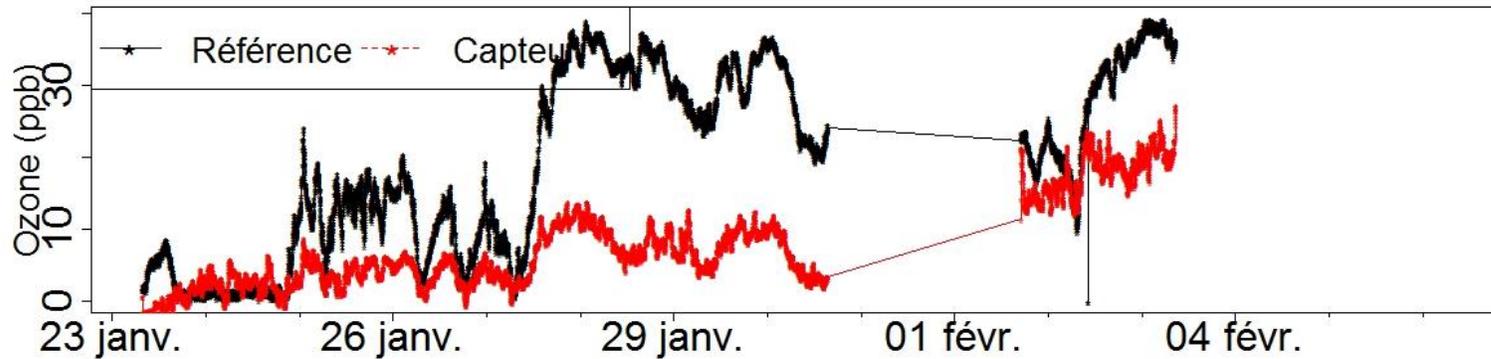
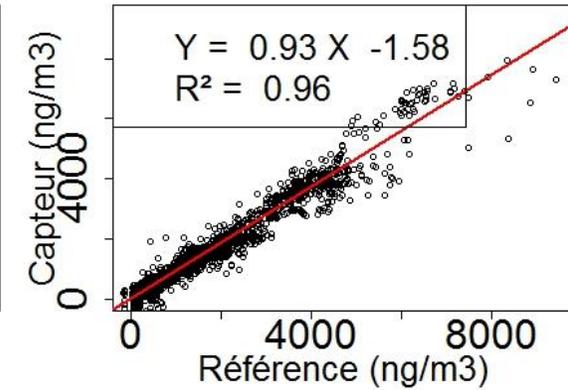
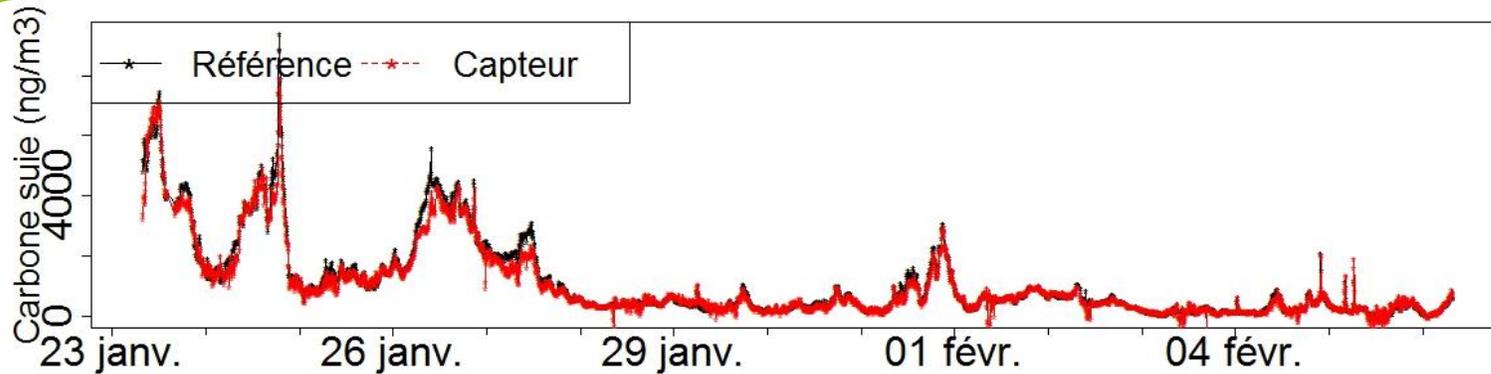
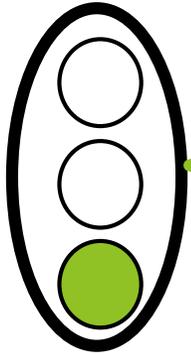
Bon accord :  
capteur retenu



# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

## i - Tests fixes - capteurs juxtaposés aux appareils de référence

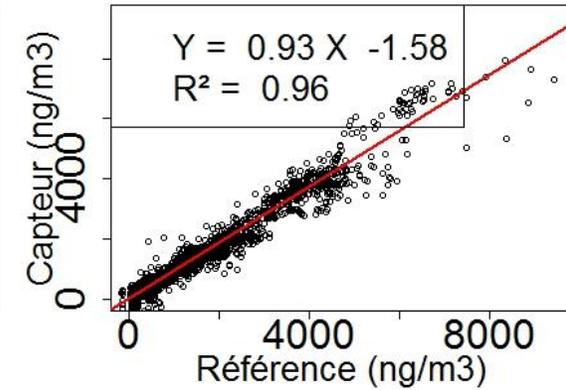
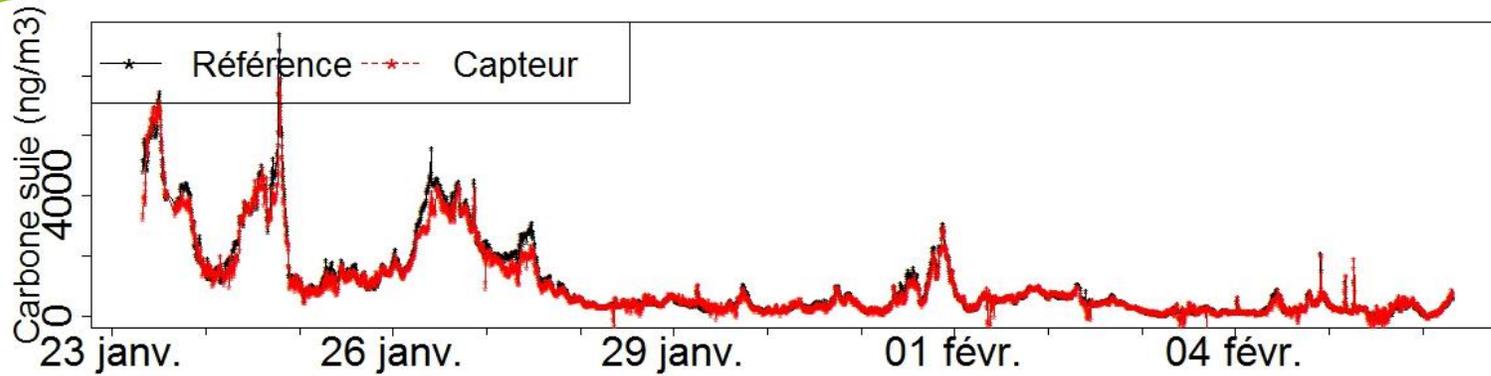
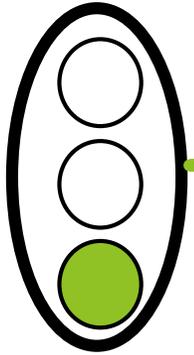
Bon accord :  
capteur retenu



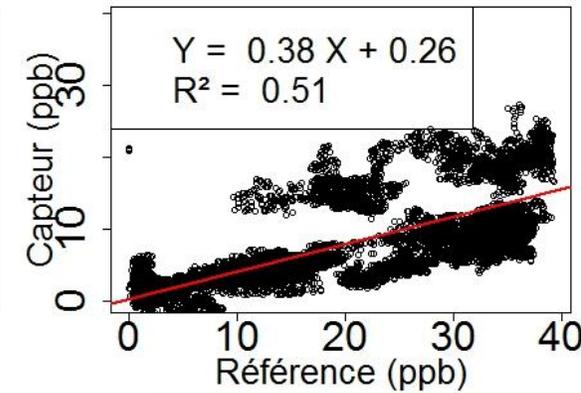
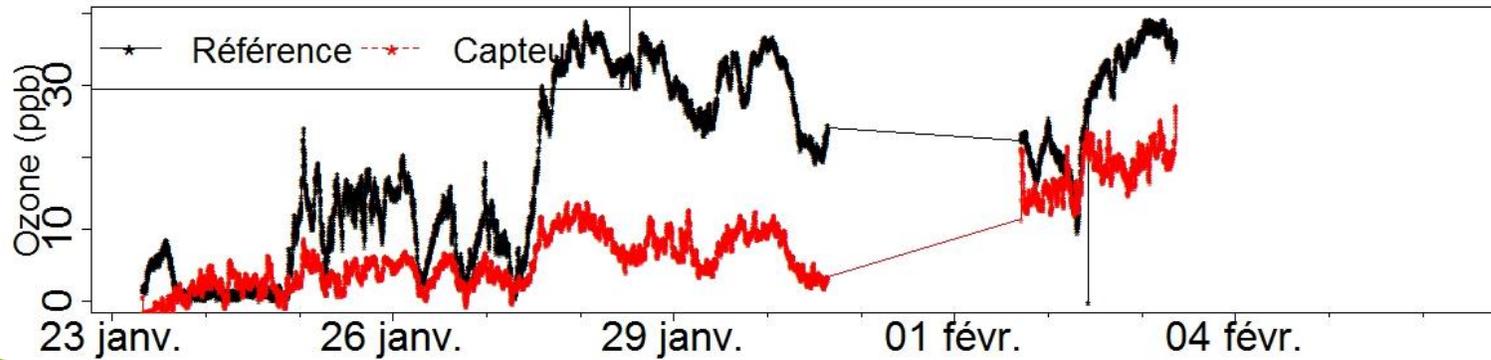
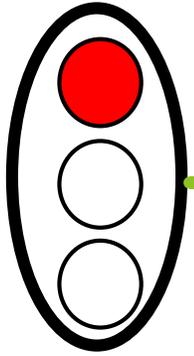
# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

## i - Tests fixes - capteurs juxtaposés aux appareils de référence

Bon accord :  
capteur retenu



Valeurs aberrantes :  
capteur non retenu

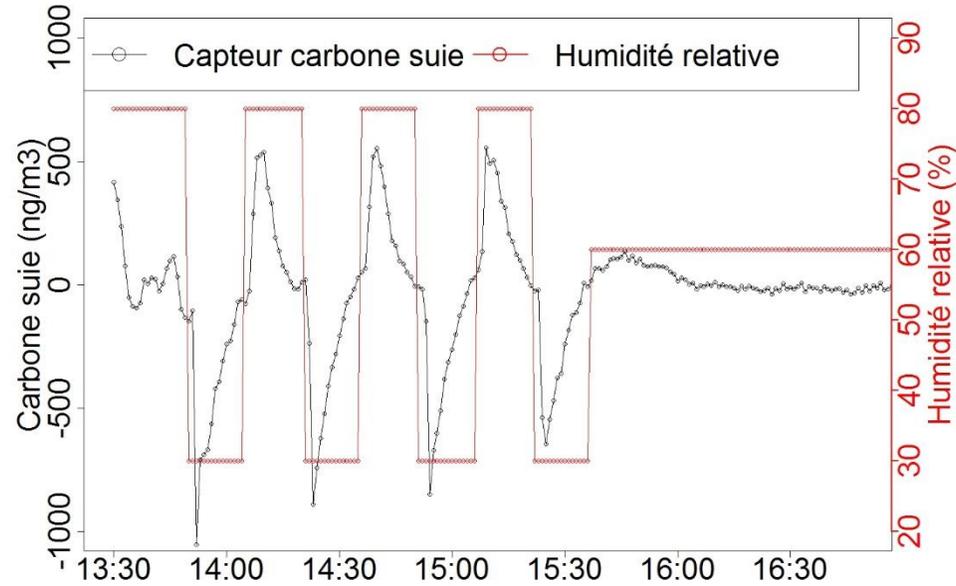


# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

## ii - Tests en chambre

### 2 types de test

- Variations de l'humidité :

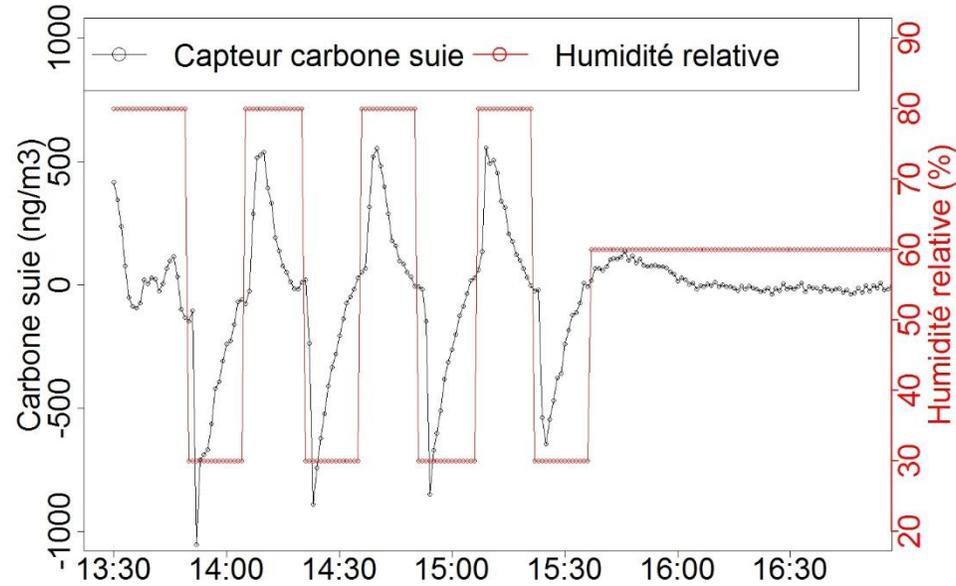
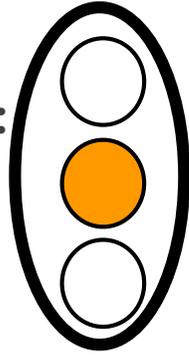


# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

## ii - Tests en chambre

### 2 types de test

- Variations de l'humidité :
  - ▶ capteur sensible

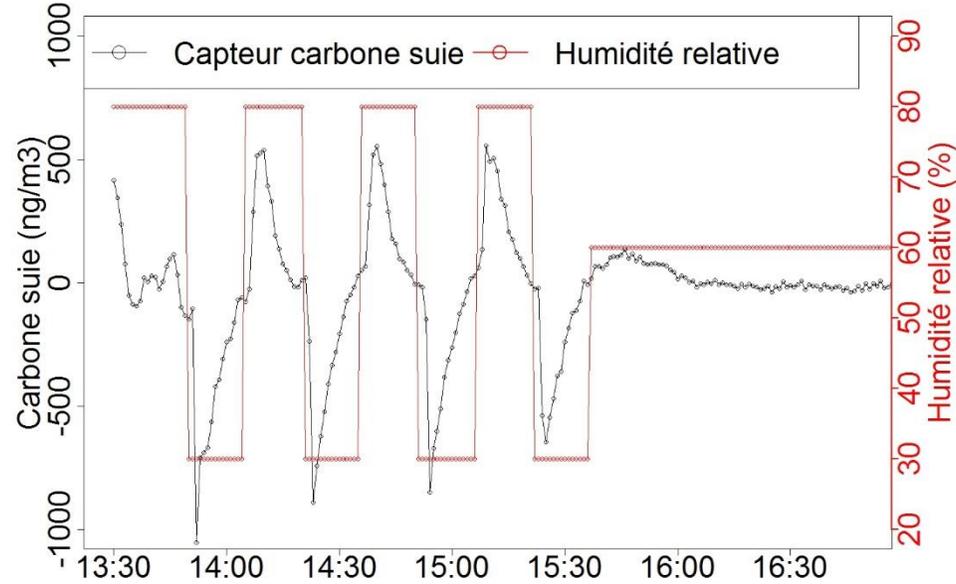
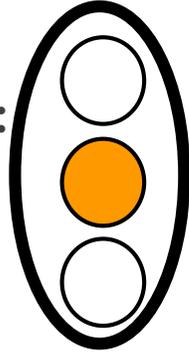


# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

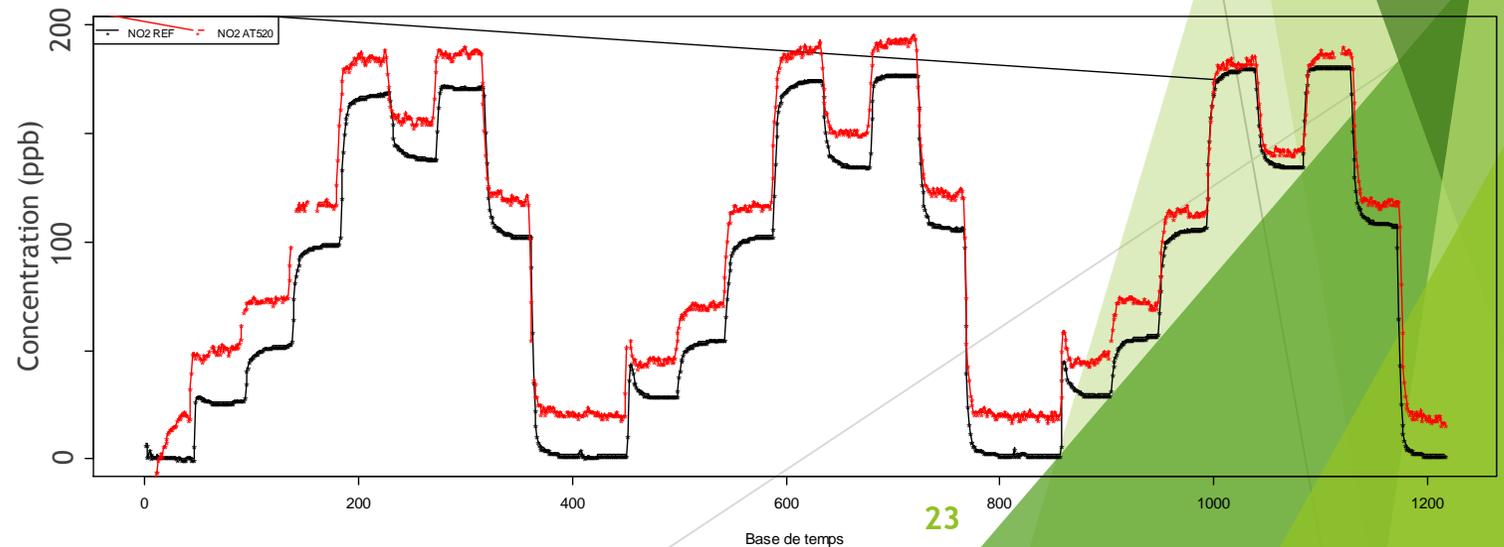
## ii - Tests en chambre

### 2 types de test

- Variations de l'humidité :
  - ▶ capteur sensible



- Variations des niveaux de NO<sub>x</sub> :

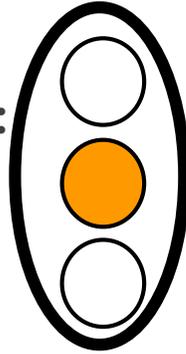


# 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

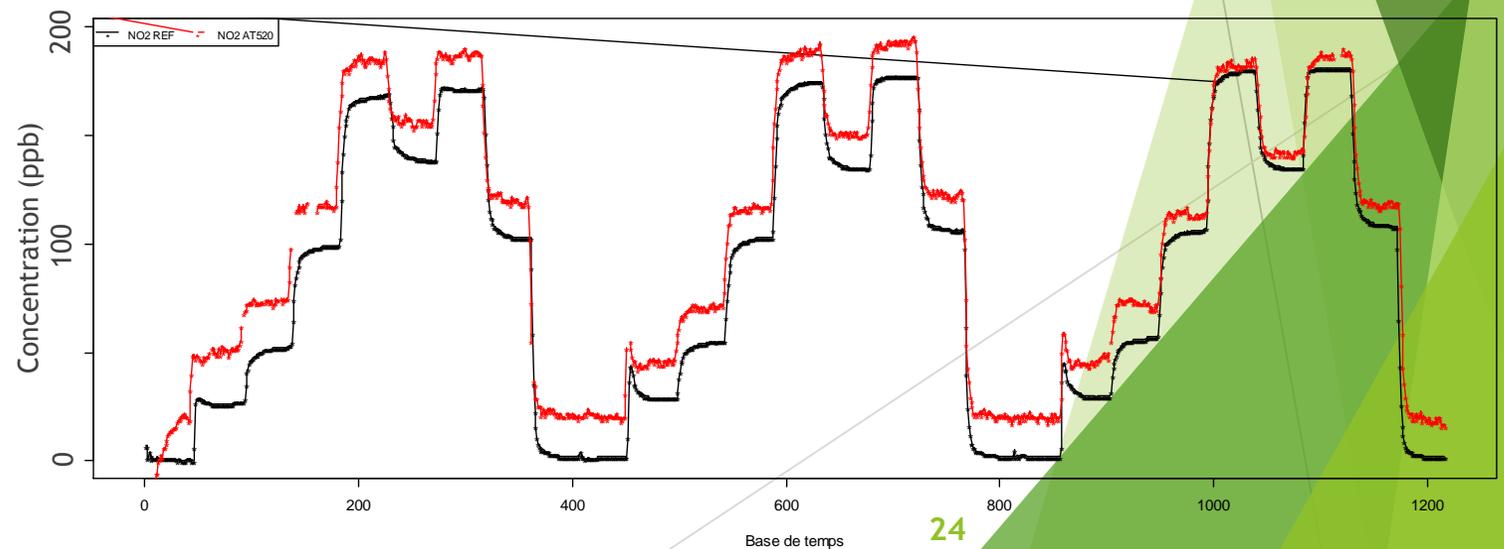
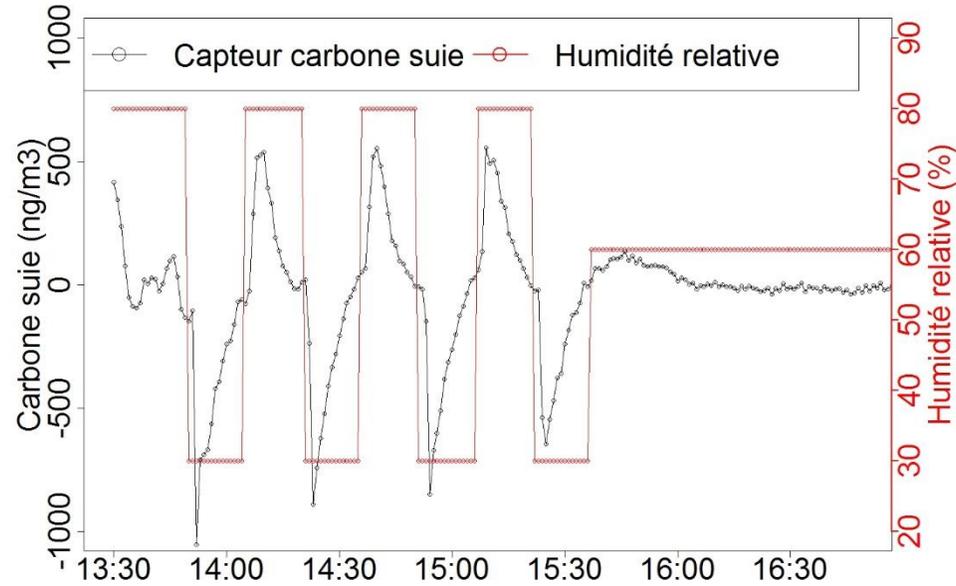
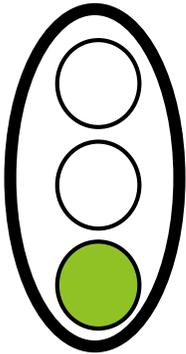
## ii - Tests en chambre

### 2 types de test

- Variations de l'humidité :
  - ▶ capteur sensible



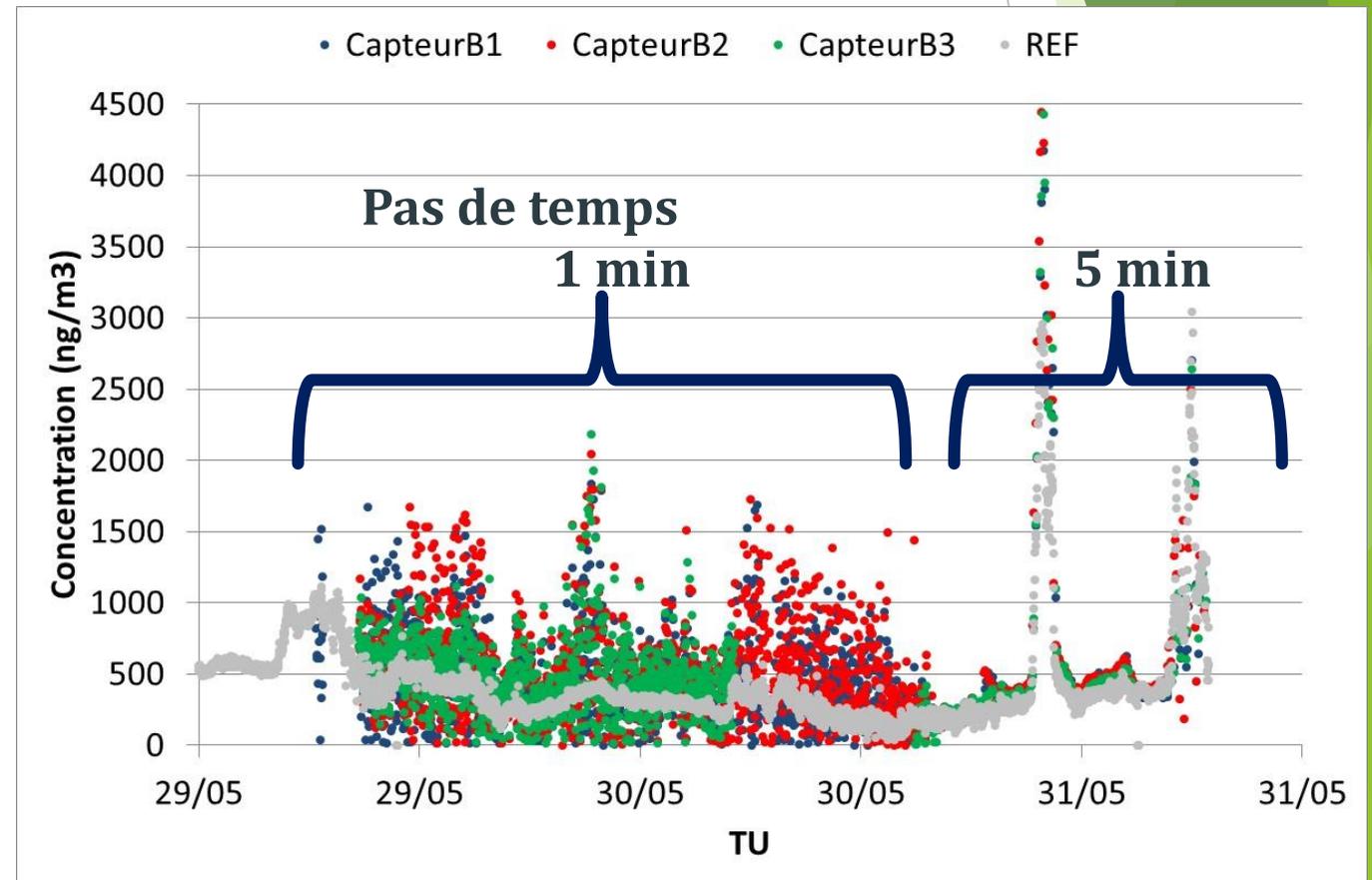
- Variations des niveaux de NO<sub>x</sub> :
  - ▶ capteur réactif...
  - ▶ ...même si décalage par rapport à la référence



## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### iii - Tests de reproductibilité/mobilité

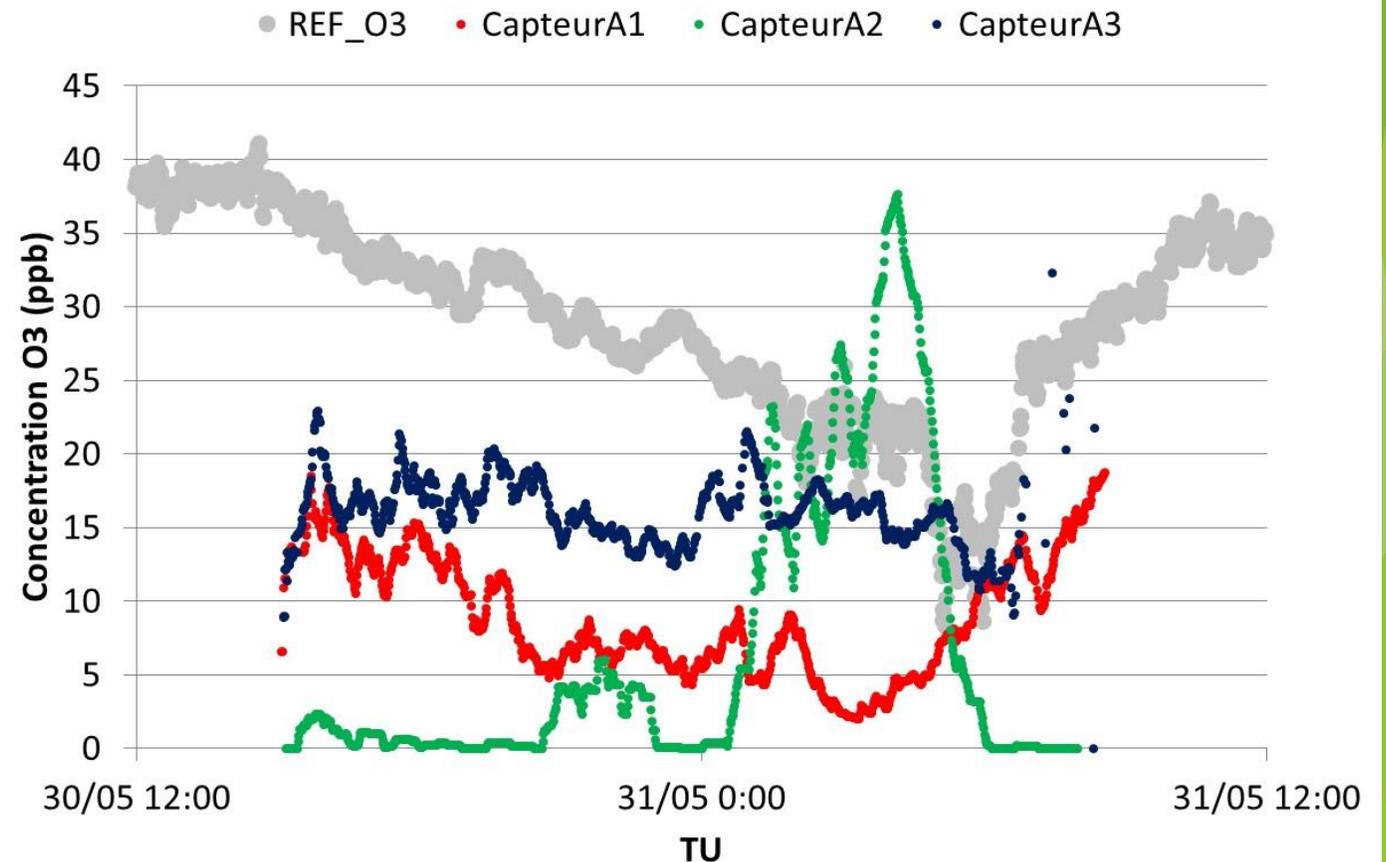
- Bonne reproductibilité entre les trois exemplaires



## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

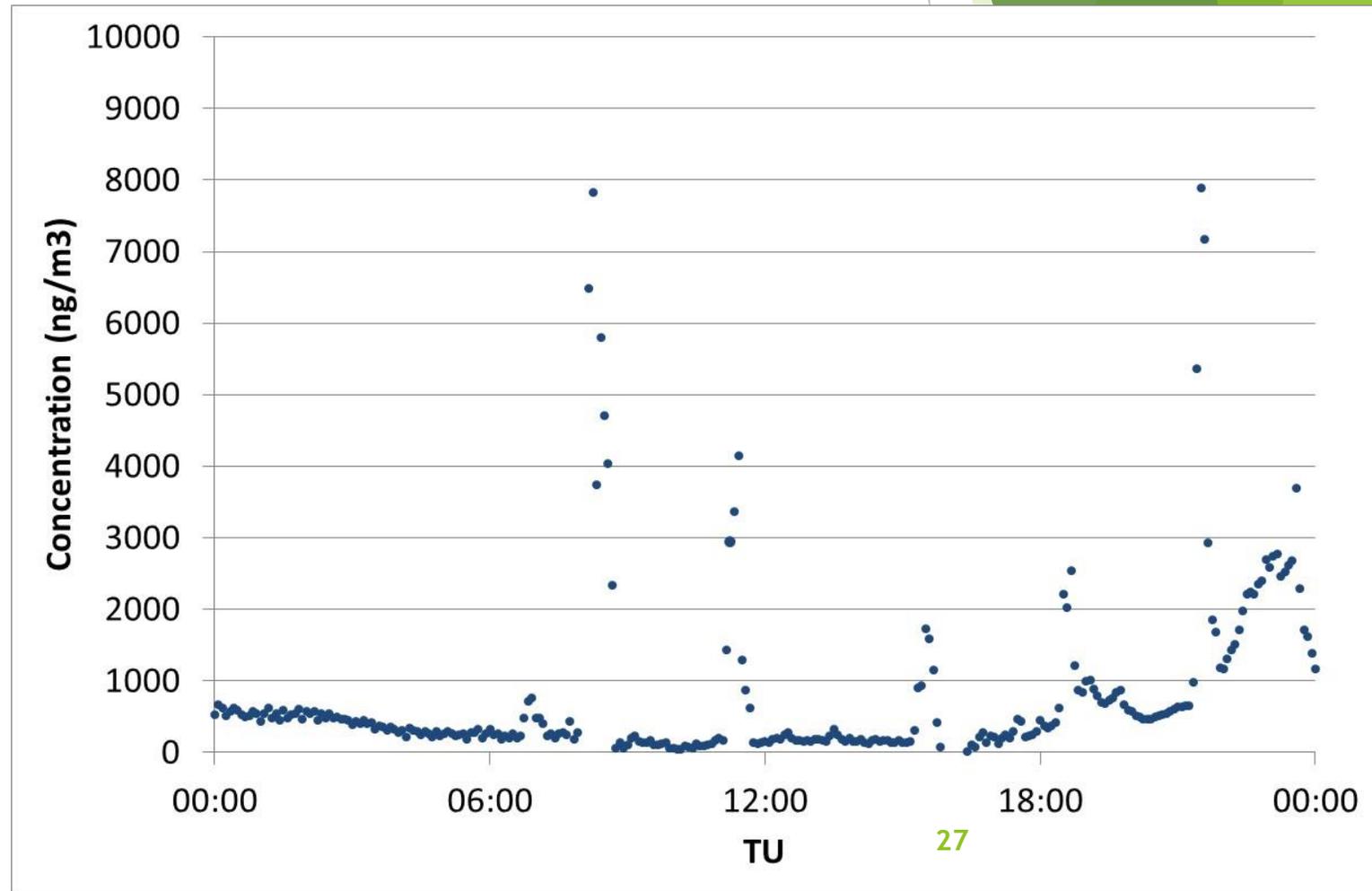
### iii - Tests de reproductibilité/mobilité

- Mauvaise reproductibilité entre les trois exemplaires



## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### iii - Tests de reproductibilité/mobilité

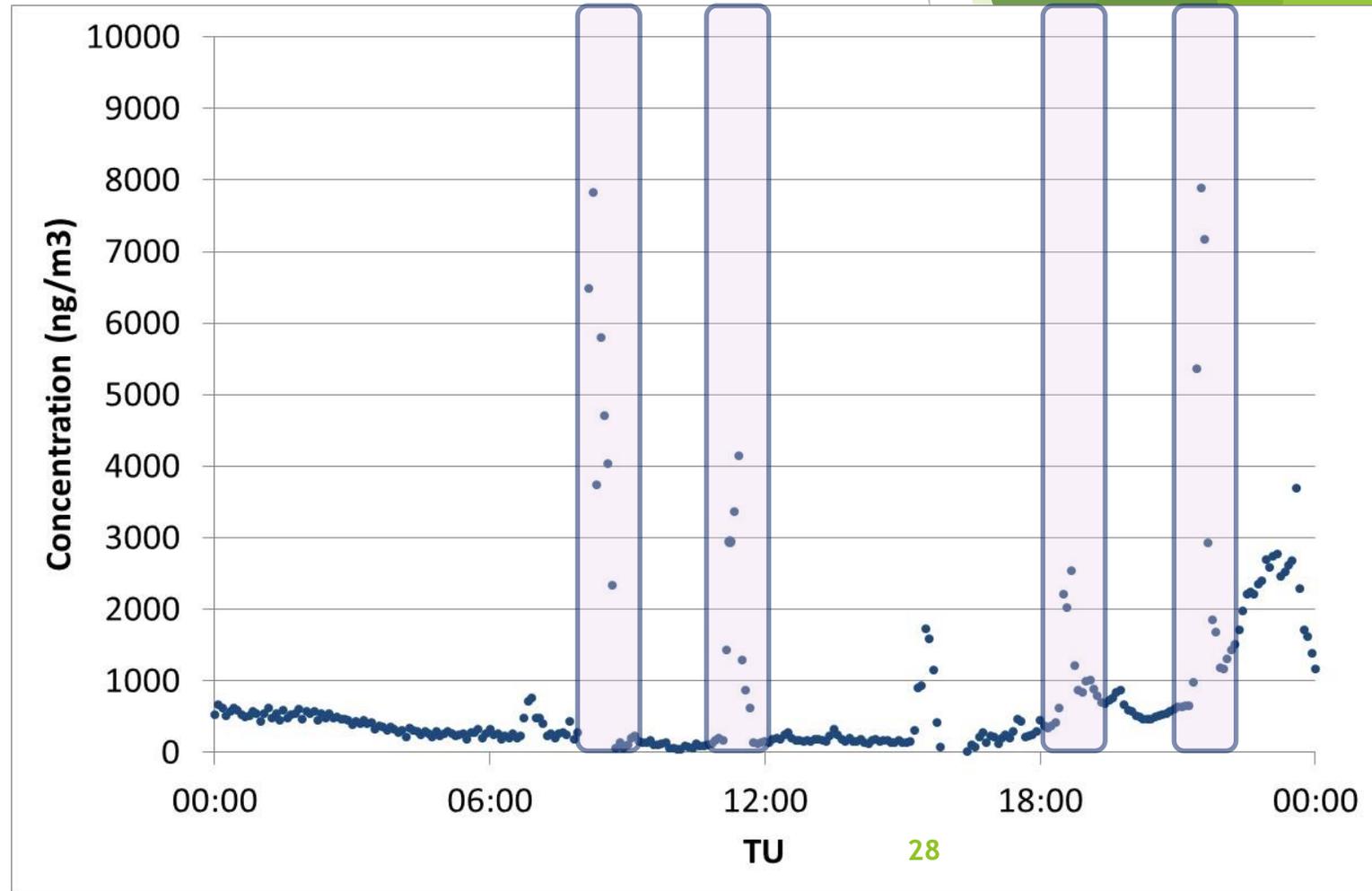


## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

### iii - Tests de reproductibilité/mobilité



Trajets en voiture



## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

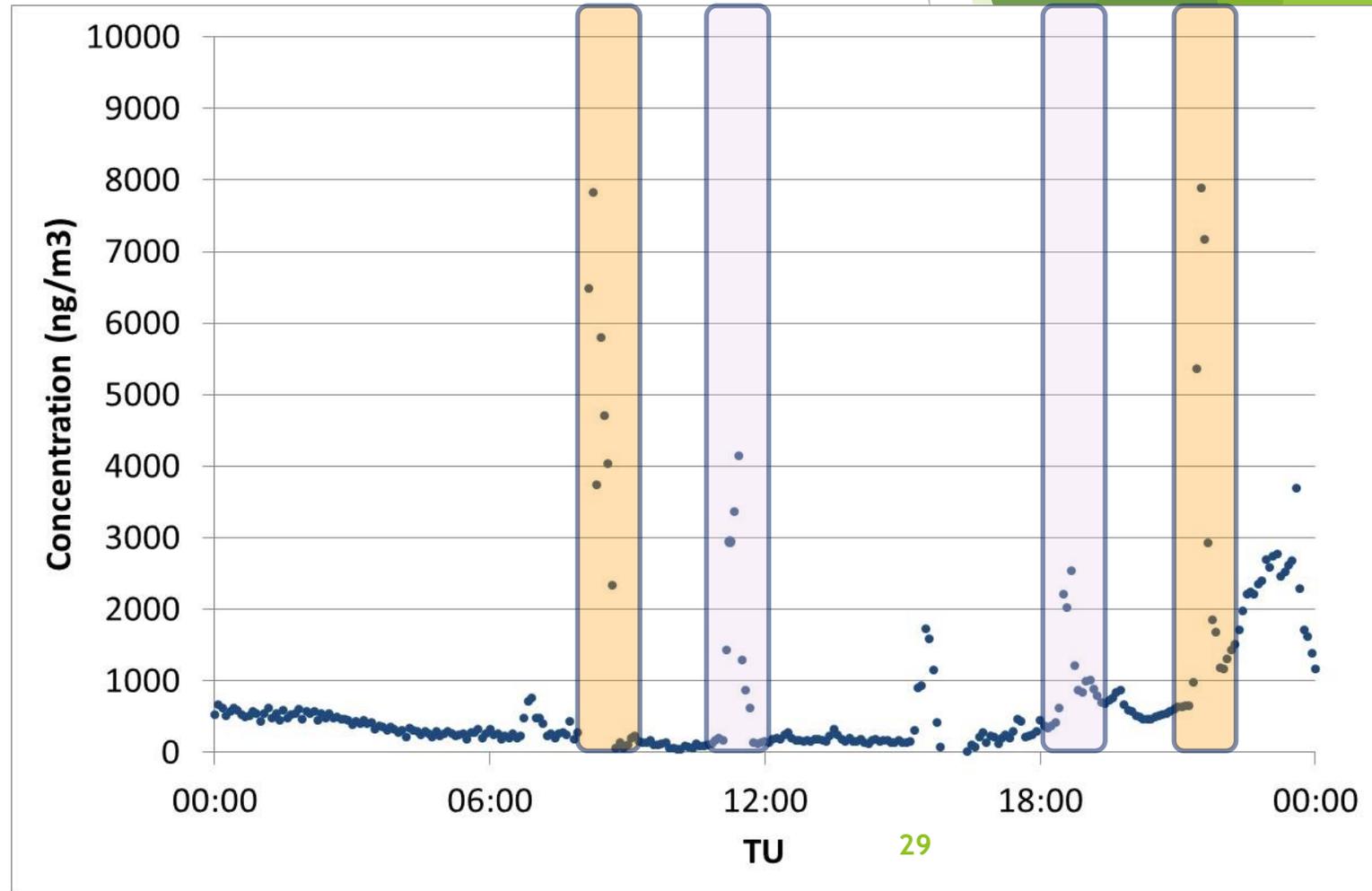
### iii - Tests de reproductibilité/mobilité



Trajets en voiture



Garage en sous-sol

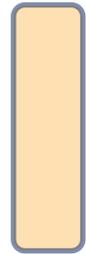


## 2. La première phase du projet : tests et sélection des capteurs

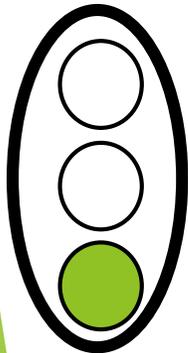
### iii - Tests de reproductibilité/mobilité



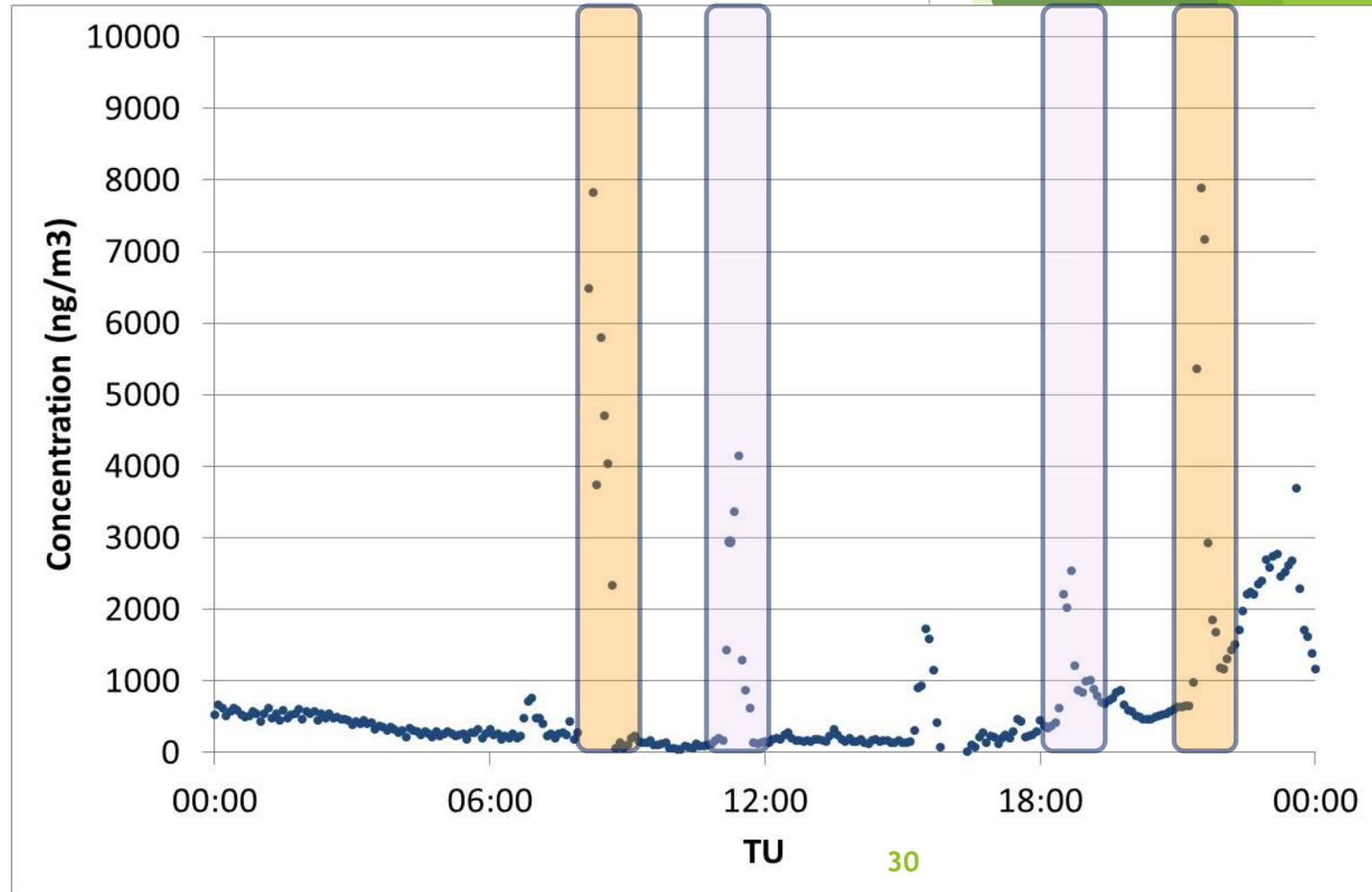
Trajets en voiture



Garage en sous-sol



→ Perception des changements de milieu



# Première conclusion des tests

- ▶ Résultats contrastés entre les différents capteurs
- ▶ Difficulté à trouver des capteurs suffisamment fiables...
- ▶ ...sauf pour le carbone suie :
  - Très bon accord avec la référence ( $R^2 = 0,96$ )
  - Perception des changements d'atmosphère
  - Mais cher et non connecté
- ▶ Prospection à poursuivre pour les autres polluants

## Prochaines étapes du groupe « capteurs »

- ▶ **Sélection finale des capteurs (jusqu'à fin 2017)**
  - Test des derniers capteurs
  - Campagne de faisabilité des capteurs retenus

# 3. Autres groupes de travail et suite du projet

## Architecture fonctionnelle innovante de la plateforme

Acquisition des données :  
récupération automatique

Traitement des données et enrichissement

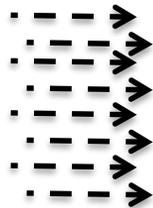
Analyse et fouille des  
données...

...et communication

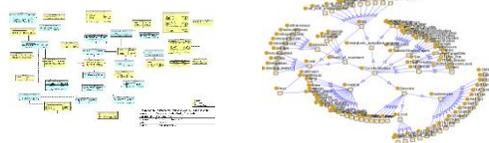
Données des capteurs



Données  
brutes



Représentation des données et modèles



Intégration



Transformation



Nettoyage



Stockage



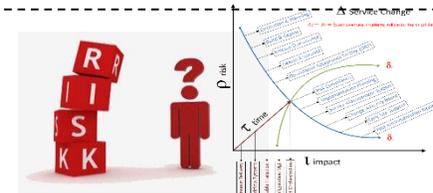
Enrichissement



Représentation



Sources de données externes



Évaluation des risques sanitaires

Which class?



Classifier (model)

Unseen Data

Profils d'exposition



Caractérisation des milieux et activités



Modèles de qualité de l'air



Applications



Accès public



Accès professionnel

# 3. Autres groupes de travail et suite du projet

## Architecture fonctionnelle de la plateforme

Acquisition des données :  
récupération automatique

Traitement des données et enrichissement

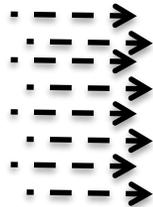
Analyse et fouille des  
données...

...et communication

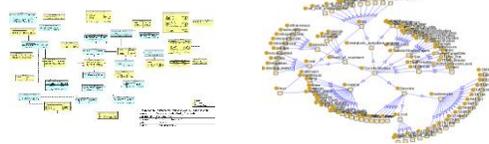
Données des capteurs



Données  
brutes



Représentation des données et modèles



Intégration



Transformation



Nettoyage



Stockage



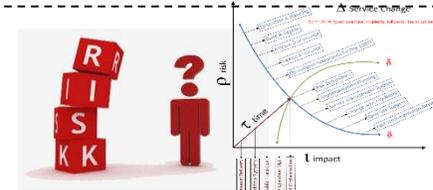
Enrichissement



Représentation



Sources de données externes



Évaluation des risques sanitaires

Which class?



Classifier (model)

Unseen Data

Profils d'exposition



Caractérisation des milieux et activités



Modèles de qualité de l'air



Applications



Accès public



Accès professionnel



Confidentialité de  
l'identité des  
participants

# 3. Autres groupes de travail et suite du projet

## ► Campagnes de mesures

- Volontaires - 80 personnes (printemps - automne 2018)
- Patients atteints de complications respiratoires (printemps - automne 2019)

## ➔ Convergence des différents groupes de travail

- Capteurs
- Plateforme
- Santé

# Merci de votre attention



Station de référence du SIRTA- LSCE  
Crédits : équipe CAE, LSCE