

Campagnes de mesure par capteurs : validation de modèles de prédiction de la pollution de l'air à Besançon et Dijon

Sophie Pujol, Frédéric Mauny, Pablo Campargue-Rodriguez, Anaïs Detournay, Karine Lefevre, Sandjema Youssouf, Mathieu Boilleaut, Thomas Morand, Nadine Bernard

Journée
Capteurs
OSU-DIPEE

21 octobre 2021

Air - santé
Variabilité climatique et environnement
Ressources en eau
Contamination - gestion des sols

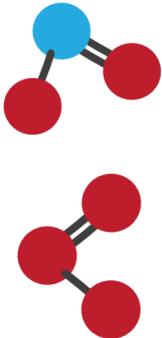


Contexte

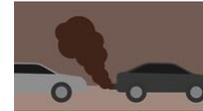
Etude PubPrivLands (PIA Axe 2 – ISITE-BFC)

Evaluation de l'exposition de la population à la pollution de l'air dans les villes de Dijon et Besançon

Trois polluants étudiés :

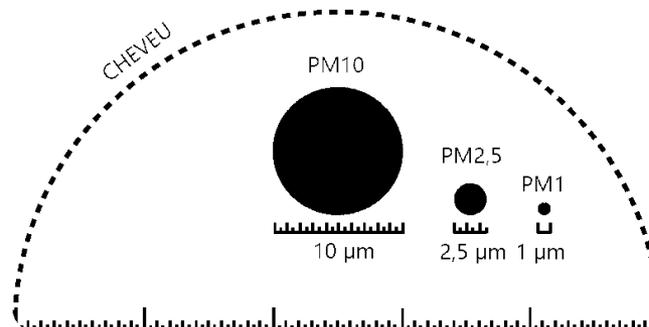


- Dioxyde d'azote (NO_2)



- Ozone (O_3) polluant « secondaire »

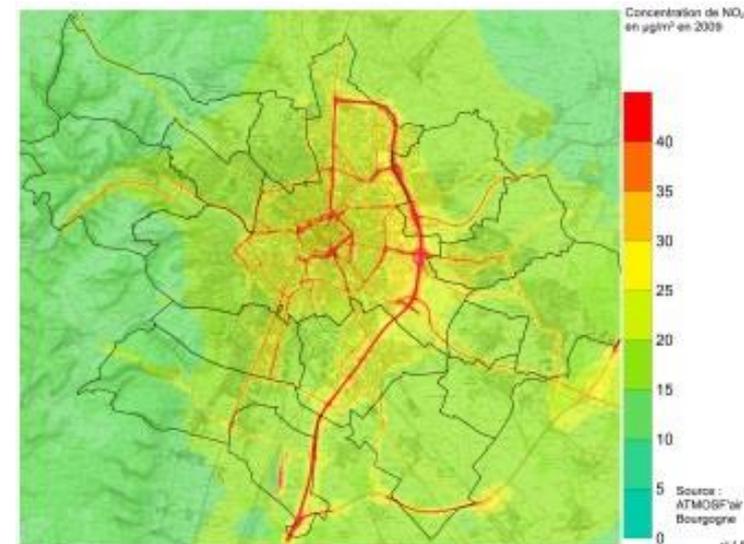
- Particules en suspension dans l'air (« *Particulate Matter* »)
 - diamètre inférieur à $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10})
 - diamètre inférieur à $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$)



Développement des modèles de prévision de pollution de l'air sur les unités urbaines de Dijon et Besançon

Modélisation en 3 phases

- 1) Evaluation des émissions de polluants
 - Inventaire par secteur d'activité
 - Calcul des émissions annuelles du trafic routier, pour chaque axe routier, logiciel Circul'Air (AASQA)
- 2) Logiciel ADMS Urban (CERC)
 - Modélisation de la diffusion des polluants
- 3) Validation des modèles
 - Campagnes de mesure des concentrations dans chaque ville, NO_2 , O_3 , PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$
 - 1 campagne par saison (météo, chauffage...)



Objectif

Réaliser des campagnes de mesures saisonnières et annuelles de la pollution de l'air :

- au dioxyde d'azote (NO_2),
- à l'ozone (O_3),
- aux particules en suspension dans l'air (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$)

à l'échelle des unités urbaines de Dijon et Besançon

en vue de la validation des modèles de prévision.

Méthode

Stations de référence



Association agréée de surveillance de la qualité de l'air, mesure en continu

- NO_2 , NO_x : analyseur à chimiluminescence
- O_3 : analyseur d'ozone par absorption dans l'UV
- PM : analyseur BAM (Business Activity Monitoring)

Caractéristiques techniques du BAM

Technologie	JAUGE BÊTA
Gamme de mesure	PM10 PM2.5
Fréquence d'échantillonnage	60 minutes
Etalonnage	Possible et normé

Tête de prélèvement PM_{10}



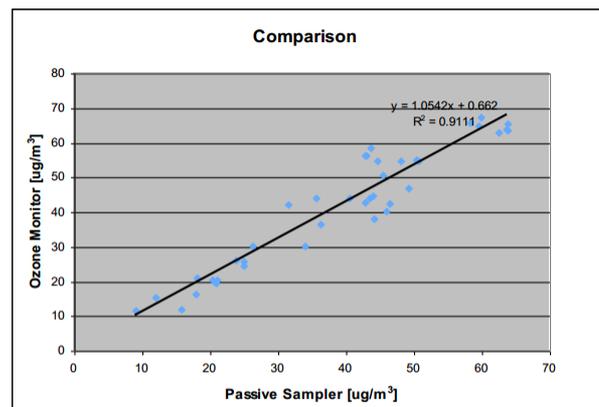
BAM 1020 Met One

Mesure NO₂ et O₃ par échantillonneurs passifs

- 800 échantillonneurs passifs répartis dans les 2 villes, utilisation de doublons et blancs d'analyse
- Dosage par spectrométrie de masse
- Fiabilité par rapport aux stations fixes, technique éprouvée et documentée



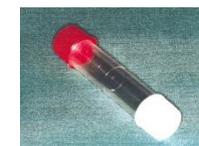
Period of accreditation:
01.04.2019 until 31.03.2024
(1st accreditation: 27.03.1996)



The diagram shows the linearity of the calibration function under laboratory conditions.



Patch O₃



Tube passif NO₂

Méthode

Mesure PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_{10} par Capteur Next PM

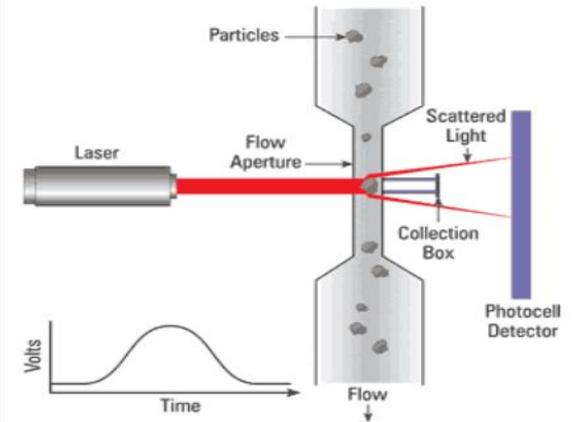


Micro-station (Capte)



Capteur NextPM
(TERA sensor)

Principe de fonctionnement



Caractéristiques techniques des capteurs

Mode de détection	Optique
Données mesurées	PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_{10} , $\mu g / m^3$ & pcs /L Température, °C Humidité relative, %
Gamme de mesure quantitative	0 - 1000 $\mu g / m^3$
Fréquence d'échantillonnage	1 mesure par minute

Méthode

Mesure $PM_{1,}$ $PM_{2,5}$ PM_{10} par Capteur Next PM

① Pré-test



Répartition des 38 Capteurs PM sur 2 stations de référence :

- 19 à Dijon (Péjoces)
- 19 à Besançon (Prévoyance)

Récupération des données mesurées à distance

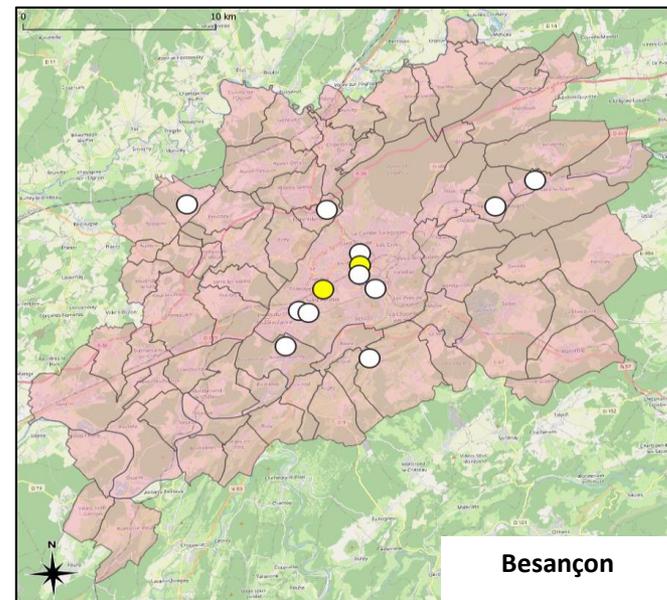
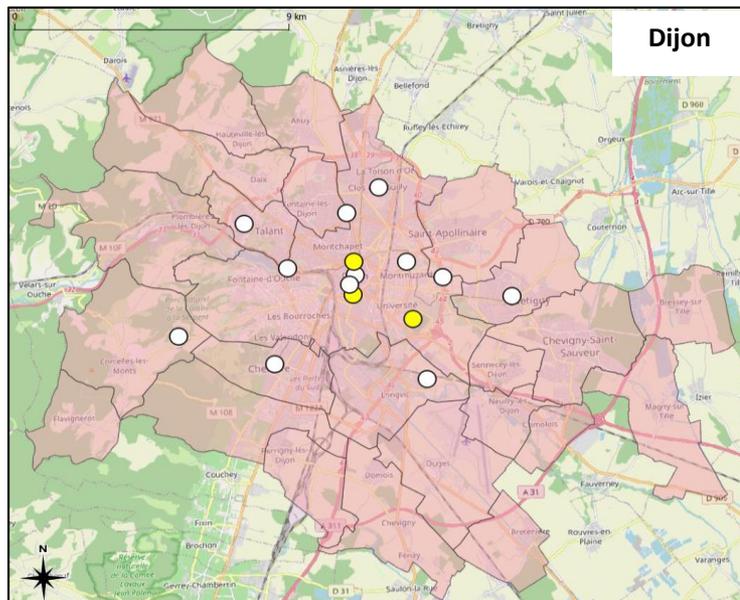
Comparaison avec les mesures de la station de référence

Méthode

Mesure PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_{10} par Capteur Next PM

② Phase de mesure

- Distribution des 38 capteurs sur 28 sites de mesure (Besançon + Dijon), choix de zones de densité de trafic différente, en espaces ouverts
- Mesures de décompte et de concentration en PM_{10} et $PM_{2,5}$
- Fréquence d'acquisition : 1 minute



○ Capteur PM ● Capteur PM + station de référence

Méthode

Mesure PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_{10} par Capteur Next PM

③ Méthodologie d'évaluation

**Evaluer la
fiabilité des
capteurs**

- Critère « Pente »
- Critère « R^2 »
- Critère « MAPE »
- Critère « RMSE »

⇒ valeur idéale : 1

⇒ coefficient de détermination : proche de 1

⇒ erreur absolue moyenne, en pourcentage : $MAPE < 5\%$

⇒ erreur quadratique moyenne : RMSE faible

Méthode

Mesure PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_{10} par Capteur Next PM

③ Méthodologie d'évaluation

Evaluer la fiabilité des capteurs

- Critère « Pente »
- Critère « R^2 »
- Critère « MAPE »
- Critère « RMSE »

Identifier les paramètres de variabilité

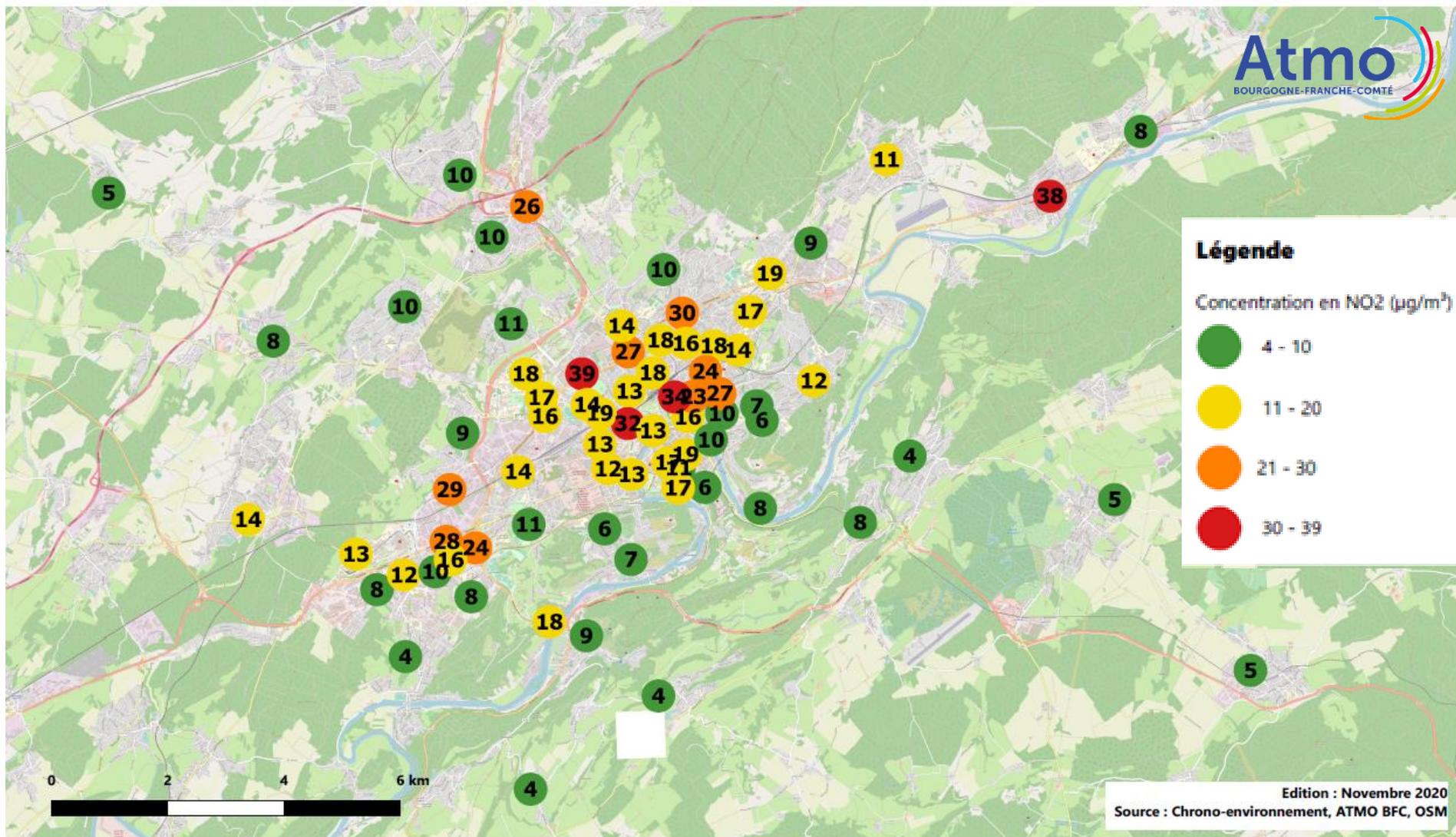
- Humidité relative
- Température

Correction des mesures

- Régression linéaire simple :
 - $Y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_1$
- Régression linéaire multiple :
 - $Y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i}$

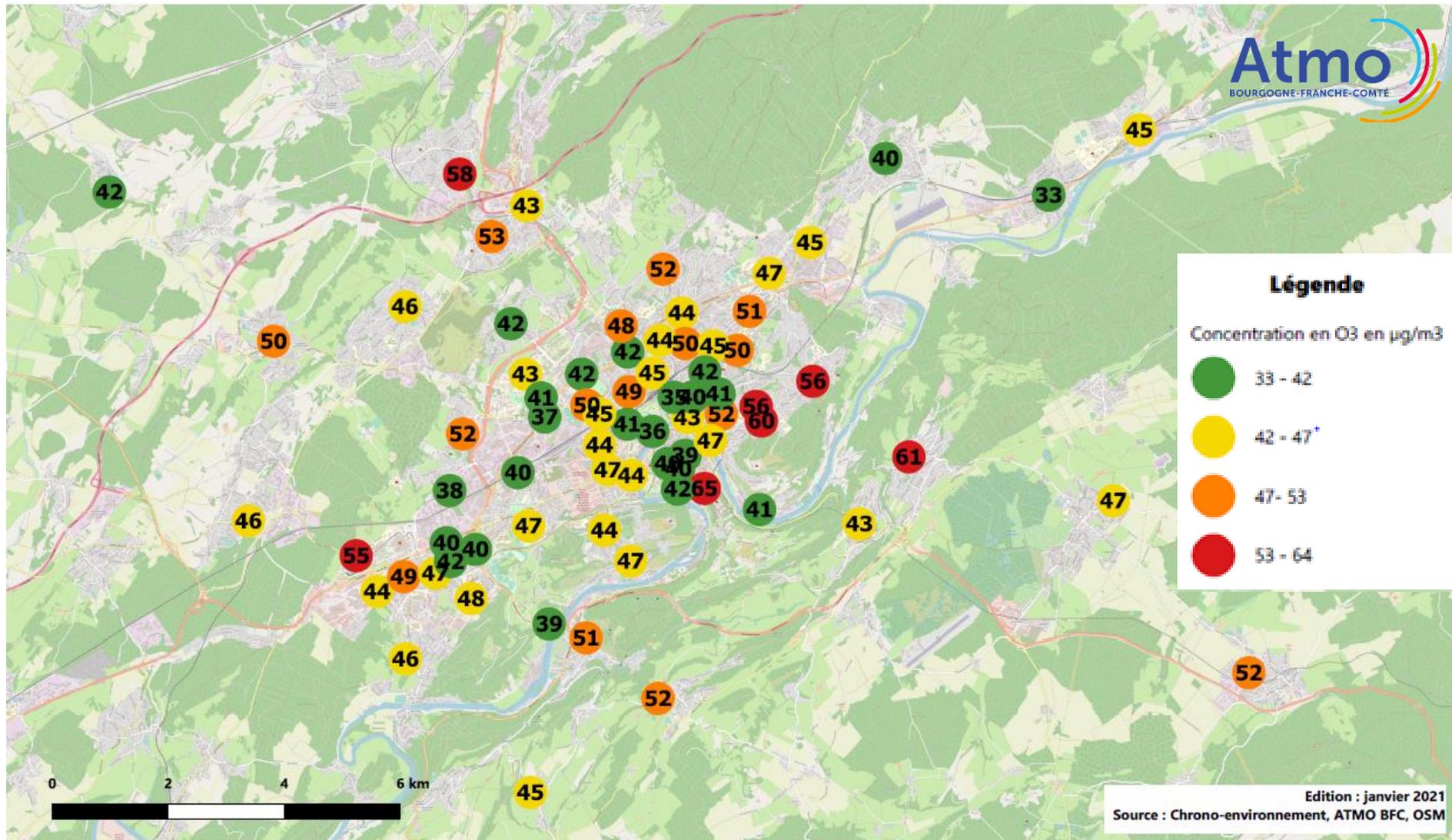
Résultats - Campagne de mesure NO₂ et O₃ sur échantillonneurs passifs

Résultats aux points de mesure, concentrations moyennes en NO₂ (µg/m³) - série automnale



Résultats - Campagne de mesure NO₂ et O₃ sur échantillonneurs passifs

Résultats aux points de mesure, concentrations moyennes en O₃ (µg/m³) - série automnale



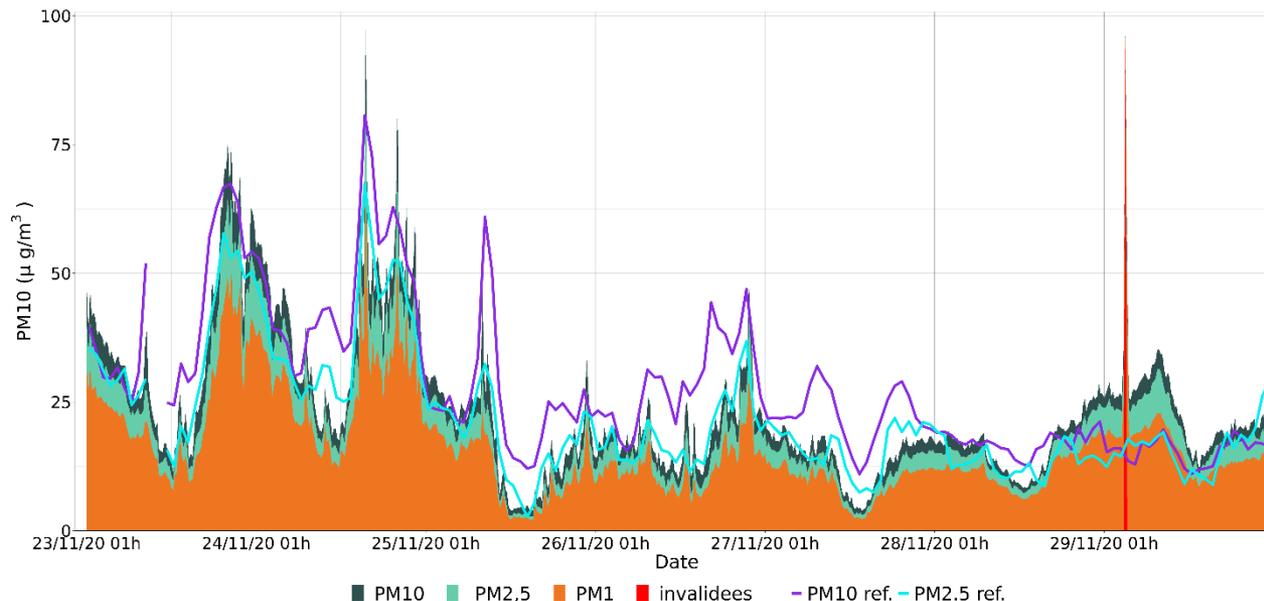
Résultats - Mesure PM par capteurs

① Pré-test

Dysfonctionnements rencontrés :

- Codes défauts des appareils
- Problèmes d'alimentation
- Mesures aberrantes (valeurs absolues, %PM1)
- Sous-estimation des concentrations (variable dans le temps)
- Mauvaise reproductibilité des mesures

invalidation

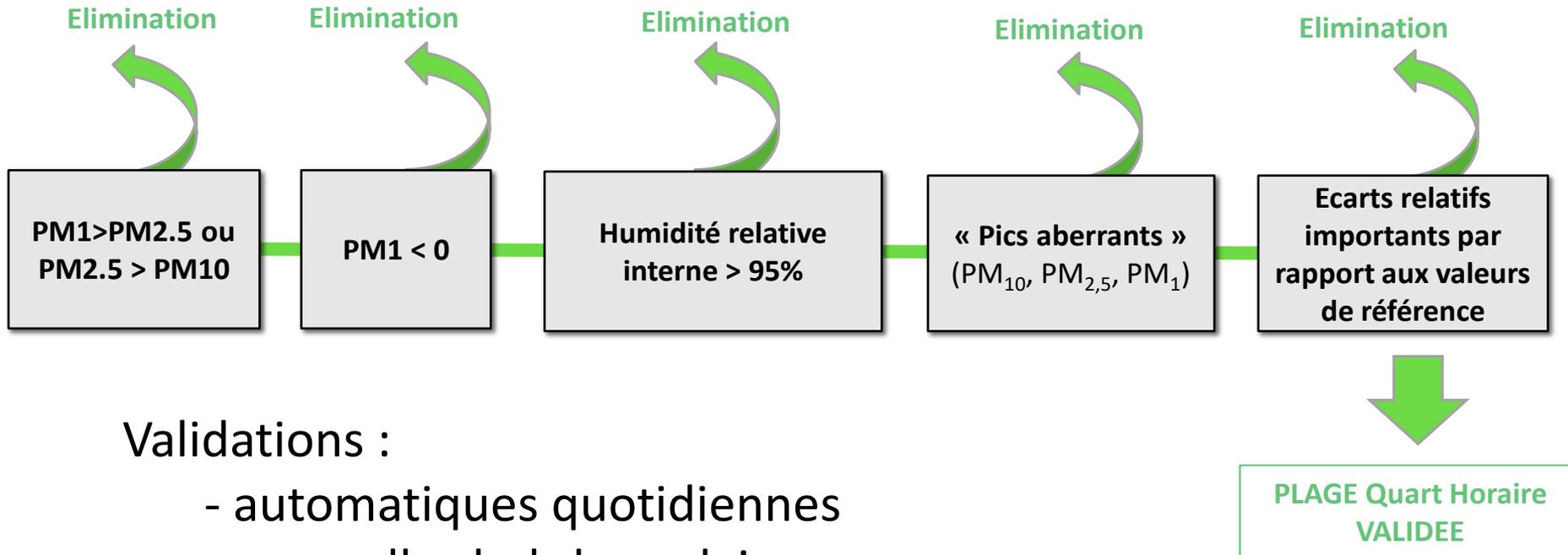


Données : Atmo Bourgogne-Franche-Comté

Comparaison entre mesures capteurs PM et mesures de référence (Prévoyance)

Résultats - Mesure PM par capteurs

② Schéma de validation des mesures



Validations :

- automatiques quotidiennes
- manuelles hebdomadaires

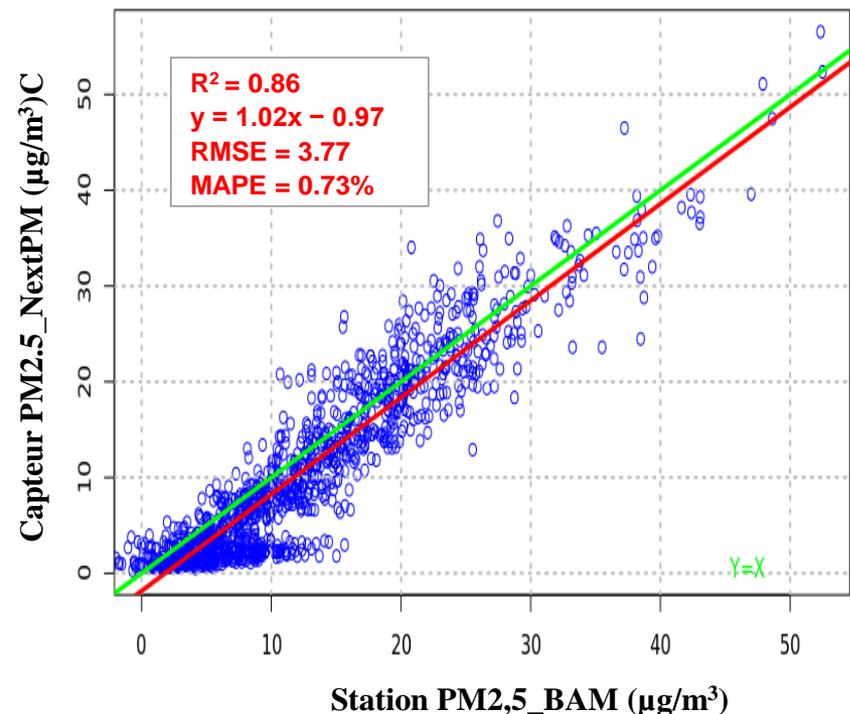
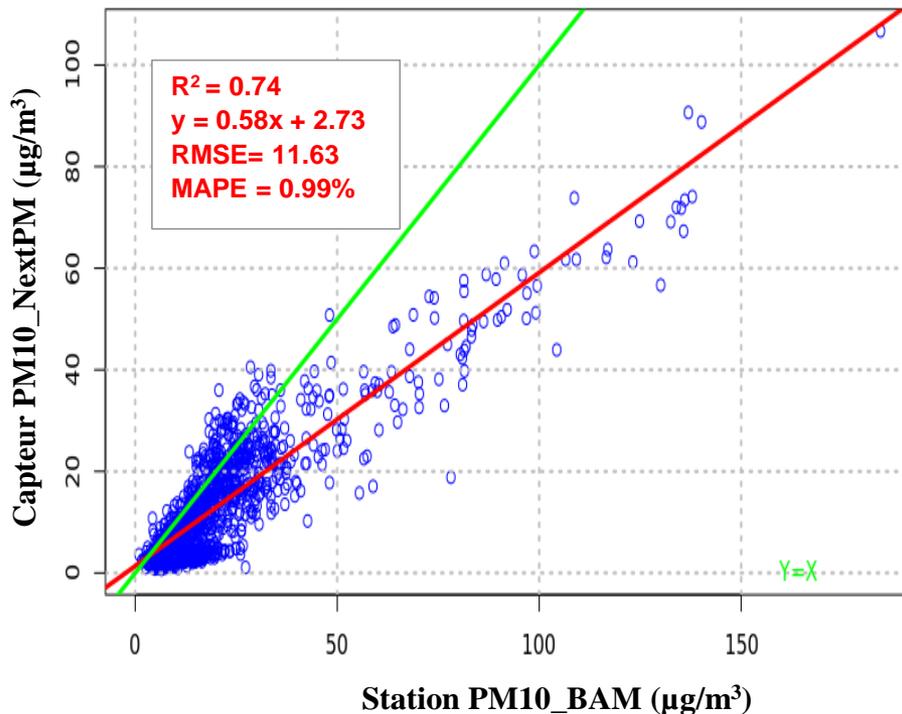
→ 2,6 % de données invalidées

→ 9,8 % de données manquantes

→ 87 % de données exploitables

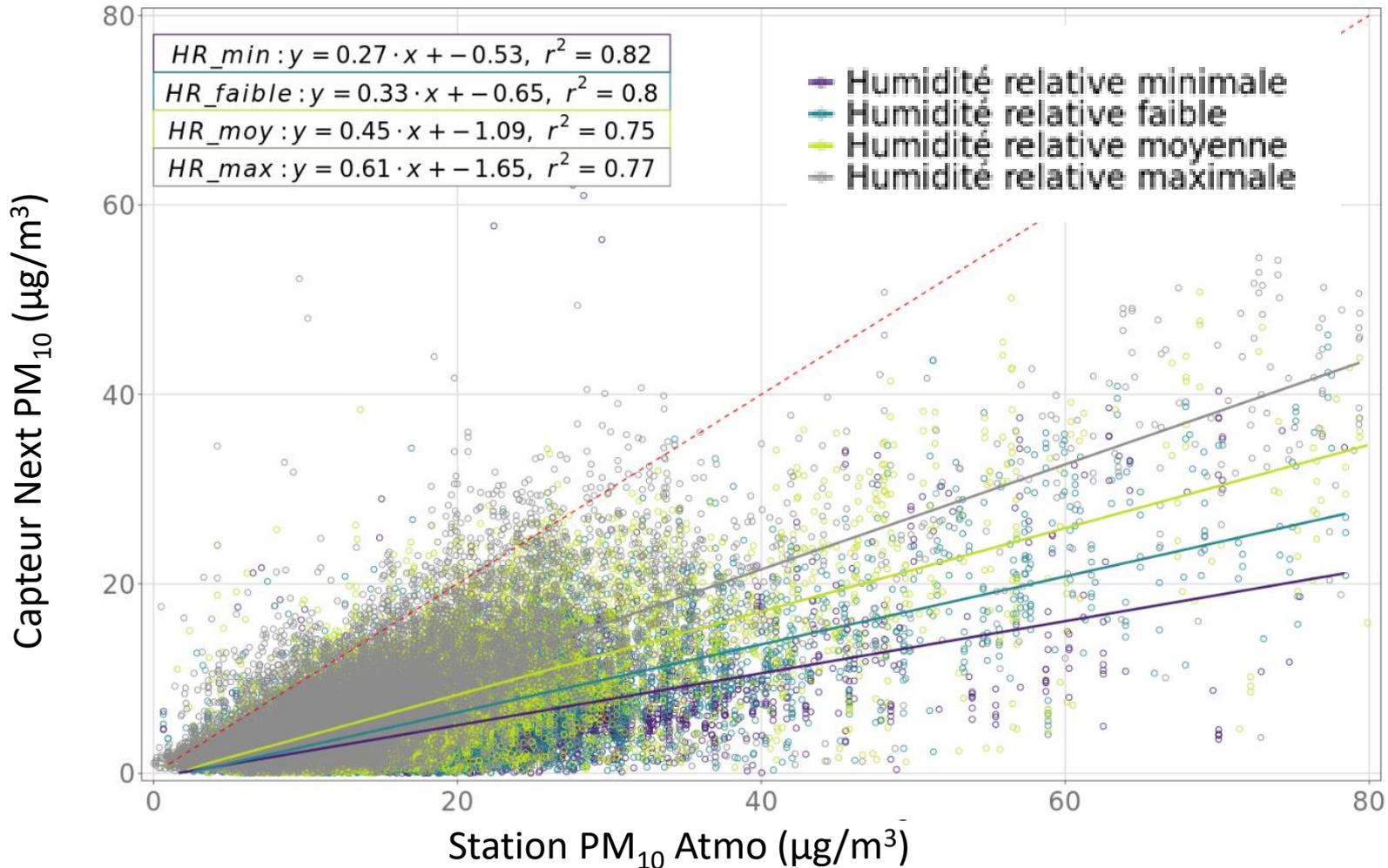
Résultats - Mesure PM par capteurs

③ Comparaison des mesures obtenues par capteur NextPM et par station de référence (BAM)



Résultats - Mesure PM par capteurs

④ Comparaison des mesures obtenues par capteur Next PM et par station de référence BAM en fonction de l'humidité relative

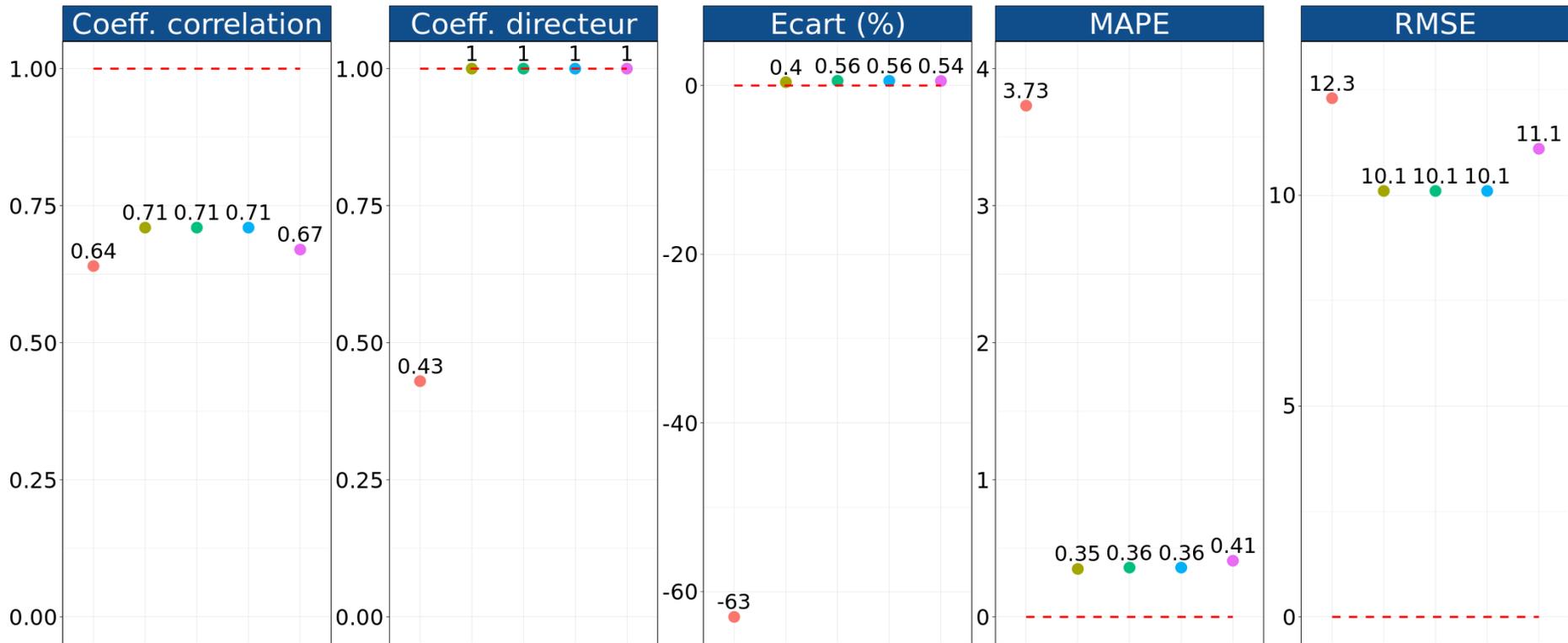


Résultats - Mesure PM par capteurs

PM₁₀

Methodes

- Donnees brutes
- Simple
- Multiple HR
- Multiple HR et T
- Multiple T



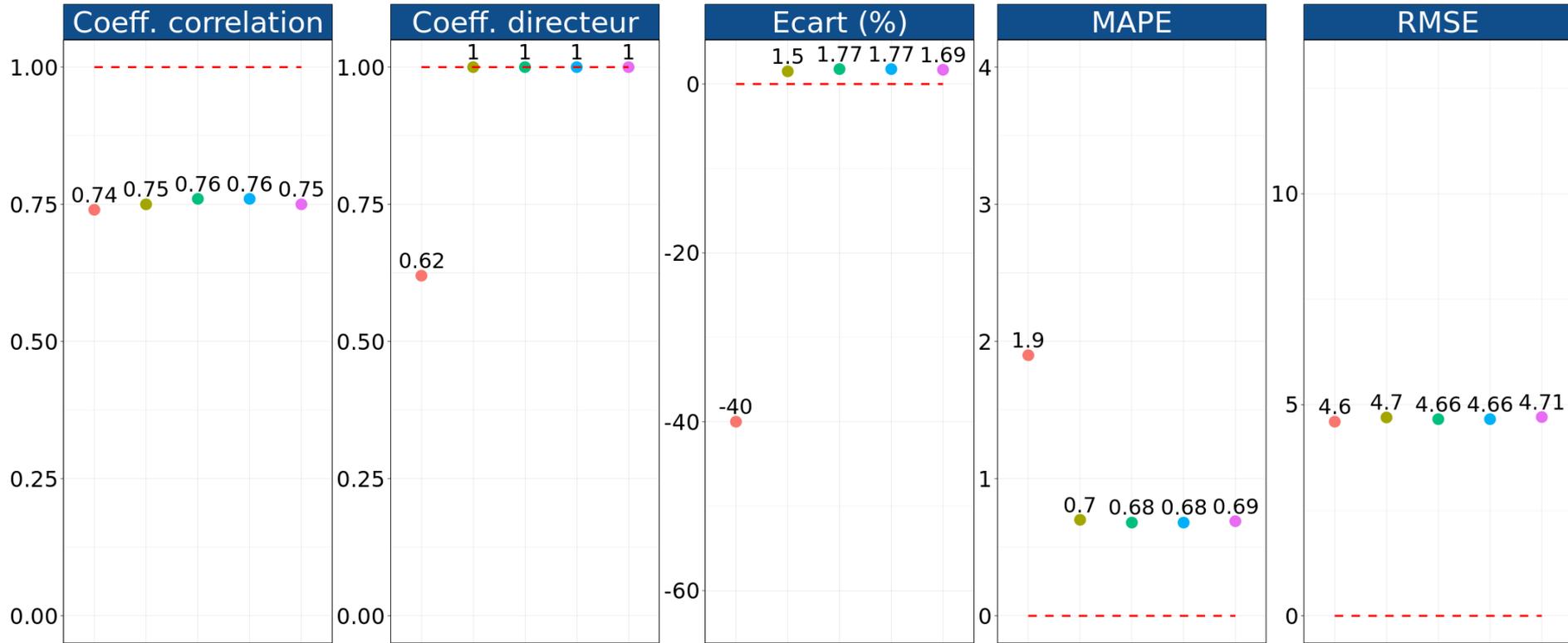
Bilan des critères statistiques obtenus pour chacune des méthodes de corrections proposées

MAPE = erreur absolue moyenne en pourcentage ; RMSE = erreur quadratique moyenne

Résultats - Mesure PM par capteurs

PM_{2,5}

- Methodes
- Donnees brutes
 - Simple
 - Multiple HR
 - Multiple HR et T
 - Multiple T



Bilan des critères statistiques obtenus pour chacune des méthodes de corrections proposées

MAPE = erreur absolue moyenne en pourcentage ; RMSE = erreur quadratique moyenne

Conclusion

Mesure NO₂ et O₃ par échantillonneurs passifs

- Technique éprouvée et bien documentée
- Modélisation de cartes de pollution en cours

Mesure PM₁₀ et PM_{2,5} par capteurs

- Matériel sensible à l'humidité relative et à la température → à prendre en compte dans la correction des données (correction en fonction de la saison)
- Données reproductibles après renvoi au constructeur : calibrages réguliers pour vérifier l'absence de dérive (rotations de 2 mois)
- Traitement des données et modélisation en cours

Perspectives

Mesure de la pollution aux PM en intérieur (espace clos)

Etude de la composition chimique des particules (activation neutronique)

Remerciements

Jean-Marc Sarrazin, Aymeric Agostini, Felinda Pirtac,
Hélène Tissot, Thomas Bagot, Stéphane François, Francis
Schweitzer

Le personnel technique de Dijon Métropole et Grand
Besançon Métropole

Journée Capteurs OSU-DIPEE



Air- santé
Variabilité climatique et environnement
Ressources en eau
Contamination-gestion des sols

21 octobre 2021