

AtmoSud

Inspirer un air meilleur



FORUM RÉGIONAL

L'USAGE DES MICROCAPTEURS DANS LA SURVEILLANCE

Intervenant(s) :

-  Laetitia MARY
-  Responsable Action Territoriale
-  06.63.92.20.44
-  Lletitia.mary@atmosud.org

09h30 - Ouverture de séance

Pierre-Charles MARIA – Président d'AtmoSud

09h40 – Les capteurs: des outils évolutifs – *AtmoSud*

Du Module Air au Nebule Air Pro avec le Living Lab

10h10 - Le traitement de la donnée: vers une performance proche de la référence

Quelle maîtrise de la chaîne de mesure - *AtmoSud*

11h10 – Les capteurs au cœur de l'observatoire et de l'action locale

AtmoSud et témoignage d'acteurs

11h50 – Le service d'AtmoSud

Un usage, un service, une valeur

12h15 - Clôture de séance

Pierre-Charles MARIA – Président d'AtmoSud



LES CAPTEURS: DES OUTILS ÉVOLUTIFS

LES CAPTEURS DÉVELOPPÉS

La transparence au service de l'air

AirCarto

2019

Un capteur mobile open-source

Capteur mobile AirCarto
Ateliers de montage

Air Living Lab

Codéveloppement open-source
AtmoSud / AirCarto / Associations

2019

Codévelopper et produire des capteurs open-source :

2020/2021

Module Air pédagogiques (DIAMS)
Module Air connectés (écoles)
Ateliers de montage participatifs (écoles)



2022

Module Air à visée de diagnostic (next-pm)

International
Microsensors Challenge
AIRLAB

AtmoSud

Afficher la qualité de l'air de manière simple et intuitive

2016

Concept d'affichage de la qualité de l'air à l'arrière d'un véhicule

2017 :
JTA de
Marseille

Premiers prototypes Module Air : capteur intérieur open-source connecté et géolocalisé (CO₂ + PM)

2018 :
Forum Air 24
(The Camp)

Objectif : produire un Module Air pouvant être plus largement diffusé

2019

Module Air



CHALLENGE MICROCAPTEUR AIR LAB (AIRPARIF)

International
Microsensors Challenge
*AIRLAB

Un outil d'aide aux choix de microcapteurs : Intercomparaison des microcapteurs

Capteurs fixes intérieurs ou extérieurs, capteurs mobiles, testé sur les critères de

- Précision de mesure
- Utilité
- Coûts
- Facilité d'utilisation
- Encombrement

Le Module Air a participé à la dernière édition du challenge (2023)

Module Air

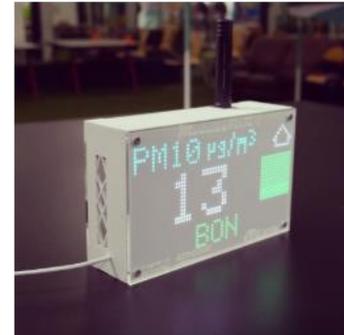
Use for which sensor performance was best: IA-A



Jury's opinion

The AirCarto Module Air is a low-cost multipollutant sensor for indoor air quality awareness applications. It can be purchased assembled or as a DIY kit. With a fair overall performance it can be an interesting choice for pedagogical projects.

Evaluation



Measured pollutants

- CH₂O
- CO
- CO₂
- H₂S
- NH₃
- NO
- BC
- NO₂ (NO_x)
- O₃
- PM₁
- PM_{2.5}
- PM₁₀
- SO₂
- Particle number (concentration)
- WB

Other measurements

- Temperature
- Humidity
- Odours
- GPS
- Atmospheric pressure
- Luminosity
- Acoustic comfort
- Anemometer

Entreprise/Company
AirCarto SAS
2021
49 Rue Nau
13006 Marseille, France.



N° SIREN 90388552300014
aircarto.fr
 @aircarto
 @AirCarto Aircarto

LES CAPTEURS DÉVELOPPÉS

La transparence au service de l'air

AirCarto

2019

Un capteur mobile open-source

Capteur mobile AirCarto
Ateliers de montage



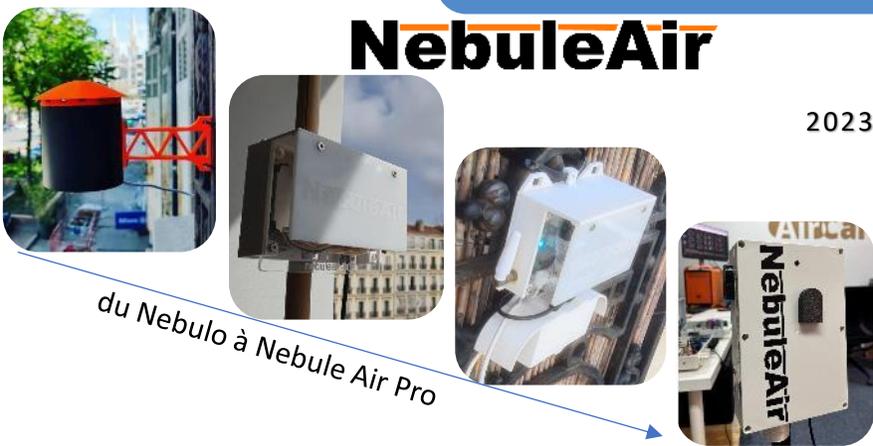
2021

monter un capteur fixe extérieur open-source

Capteur extérieur Nebulo



NebuleAir



du Nebulo à Nebule Air Pro

Air Living Lab

Codéveloppement open-source
AtmoSud / AirCarto / Associations

2019

Codévelopper et produire des capteurs open-source :

2020/2021

Module Air pédagogiques (DIAMS)
Module Air connectés (écoles)
Ateliers de montage participatifs (écoles)



2022

Module Air à visée de diagnostic (next-pm)



2023/2024

Nebule Air : capteur extérieur connecté
Openairmap : interface de visualisation



2025

Module Air Mini
Nebule Air PM + NO₂
Mobile Air (4G)



Nebule Air Pro (+ multipolluants, bruit, 4G)
Module Air Pro (+ formaldéhyde, 4G)

2026 et au-delà, tant d'autres évolutions à venir !

AtmoSud

Afficher la qualité de l'air de manière simple et intuitive

2016

Concept d'affichage de la qualité de l'air à l'arrière d'un véhicule

2017 : JTA de Marseille

Premiers prototypes Module Air : capteur intérieur open-source connecté et géolocalisé (CO₂ + PM)

2018 : Forum Air 24 (The Camp)

Objectif : produire un Module Air pouvant être plus largement diffusé

2019

Module Air



Évolution au cours du temps

LES CAPTEURS DÉVELOPPÉS

Intérieur, extérieur, mobile, expérimental, pédagogique, pro...



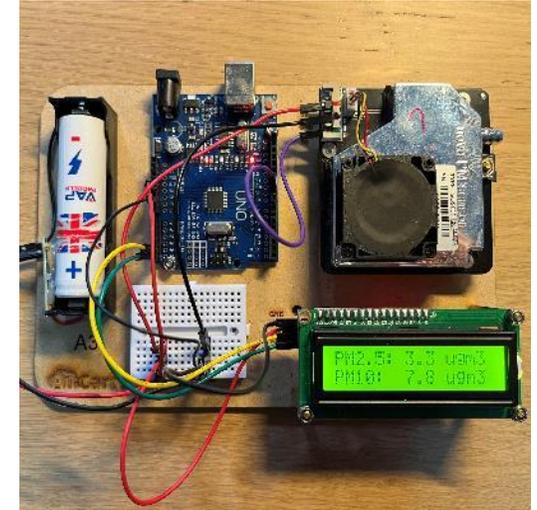
Mobile Air



NebuleAir



Module Air



Kit pédagogique



Module Air Pro
(en cours)

AIR LIVING LAB : CRÉATIVITÉ, RIGUEUR SCIENTIFIQUE, EXPÉRIMENTATIONS

AtmoSud

Expertise : enjeux, besoins, rigueur scientifique, contrôle métrologique, correction, utilisation



Soutenu par :



AirCarto

Créativité : développements hardware et software, design, production, commercialisation

Air Living Lab

S'inspirer les uns des autres : Echange, coopération, interaction, appropriation

Projets divers (européens, ADEME...)

Opportunités de développement

Capt Air Citoyen



Mise à disposition opérationnelle

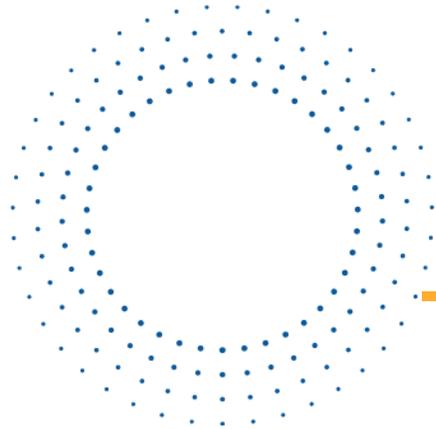


Expérimentation des versions bêta



LE TRAITEMENT DE LA DONNÉE

VERS UNE PERFORMANCE PROCHE DE LA RÉFÉRENCE



MAÎTRISE DE LA CHAÎNE DE LA MESURE À L'EXPLOITATION



Choix Sensors : 

Partenariat  

Living Lab : AtmoSud-AirCarto-CAN

Sensorthèque

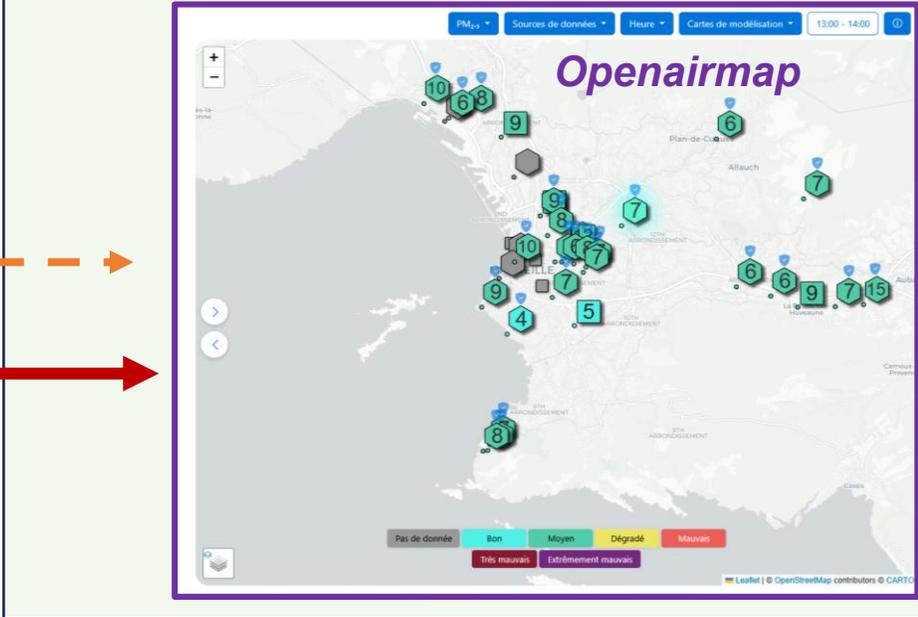
1- Elaboration de capteurs OpenSource

Capteurs communautaires

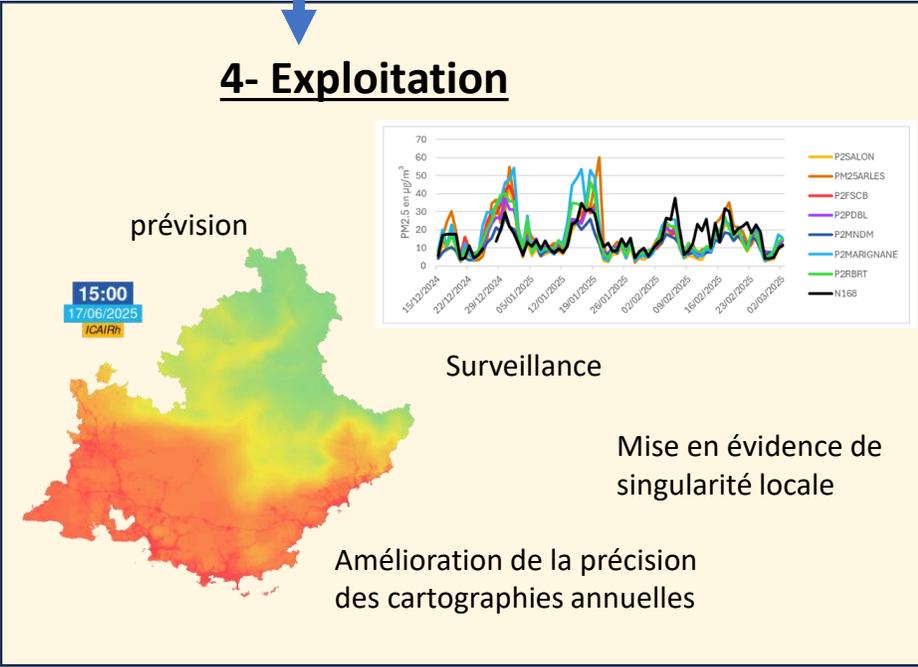
 **MicroSpot**

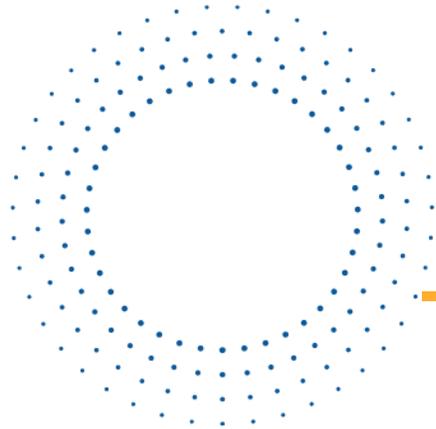


2- Traitement de la data



3 - Visualisation



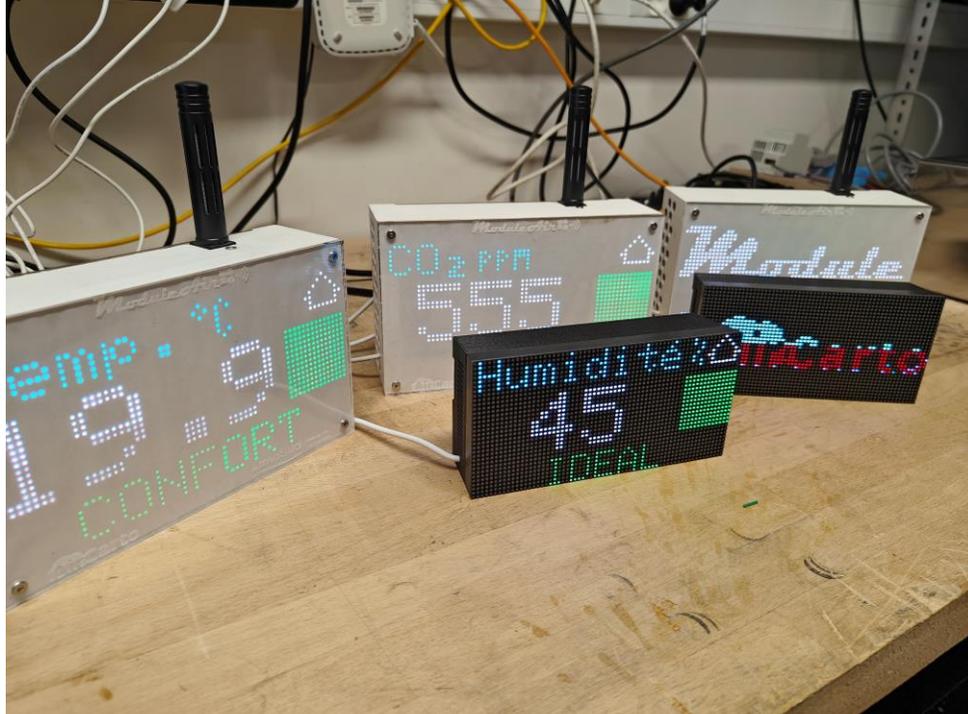


LE CONTRÔLE QUALITÉ

UNE QUALIFICATION AVANT LA CORRECTION

LE CONTRÔLE QUALITÉ (QA/QC)

- I- S'assurer du bon fonctionnement des appareils
- II- Isoler les comportements atypiques
- III- Déterminer les corrections à apporter



12 jours de production de données

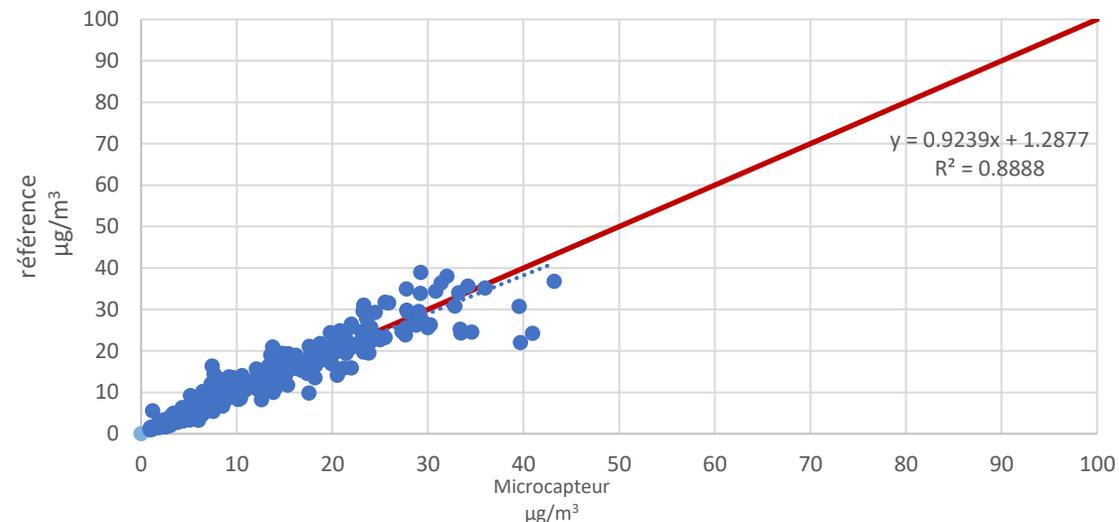
Entre octobre et mars pour des gammes plus importantes

RÉSULTATS ET CATÉGORIES

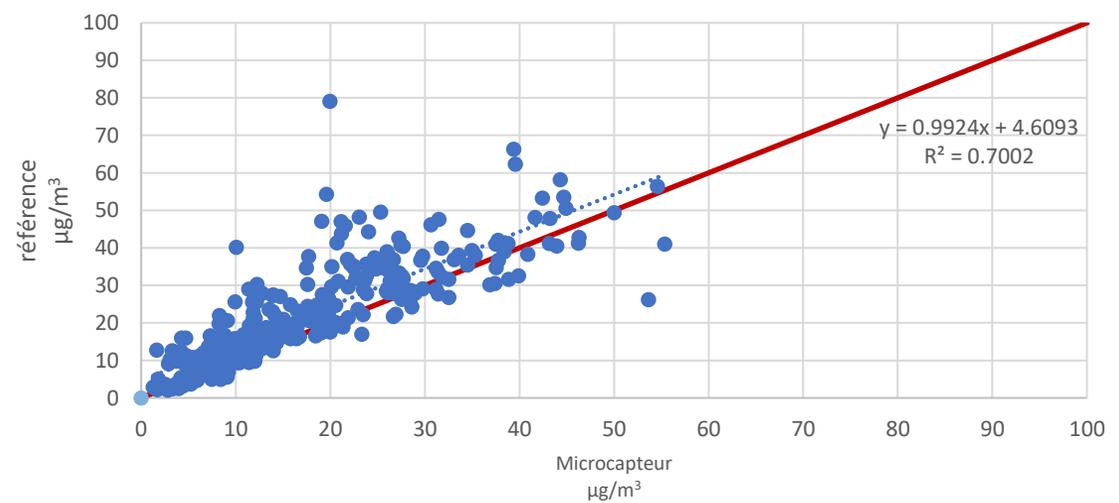
Division A : performances compatibles avec celles requises pour de la mesure indicative.

Division B : performances moyennes mais compatibles avec celles requises pour l'estimation objective.

Division C : performances compatibles avec une utilisation pour de la mesure informative, sensibilisation.

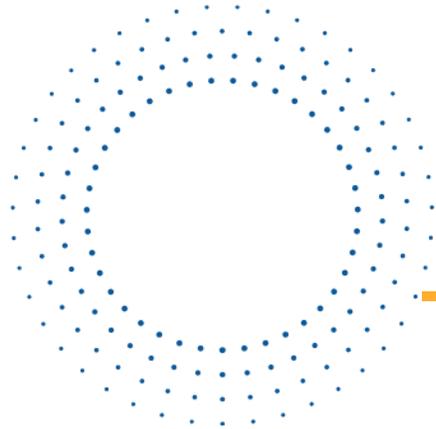


Mesure indicative | Division A



Mesure informative | Division C

		PM2,5		
		Division A	Division B	Division C
TERRAIN	Reproductibilité	$u(bs,s) < 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Pente	$0,7 \leq 1,3$	$0,5 \leq 0,7$ ou $1,3 \leq 1,5$	$p < 0,5$ ou $p > 1,5$
	Linéarité	$R^2 \geq 0,75$	$0,5 \leq R^2 \leq 0,75$	$R^2 \leq 0,5$
	MAPE	$< 50\%$	de 50% à 100%	$> 100\%$
COMPATIBILITE DR 2008/50/EC	Saisie minimale de données	$\geq 90\%$	de 14% à 90%	$< 14\%$
	Incertitude terrain (DQO@LV)	$U \leq 50\%$ ($U \leq 25\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$50 < U \leq 100\%$ ($25 < U \leq 50\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$100 < U \leq 200\%$ ($50 < U \leq 100\mu\text{g}/\text{m}^3$)



MÉTHODE DE CORRECTION

CONTRÔLE QUALITÉ: QUALIFICATION ET CORRECTION DE CHAQUE CAPTEUR
CORRECTION EN TEMPS RÉEL : AVEC DES MESURES DE RÉFÉRENCE

RÉPONSE BRUTE DES MICROCAPTEURS

Variabilité liée au capteur & environnement

Microcapteurs testés:

- Nebule Air - Next PM (Tera Sensor)
- PurpleAir

Réponse propre à chaque microcapteur

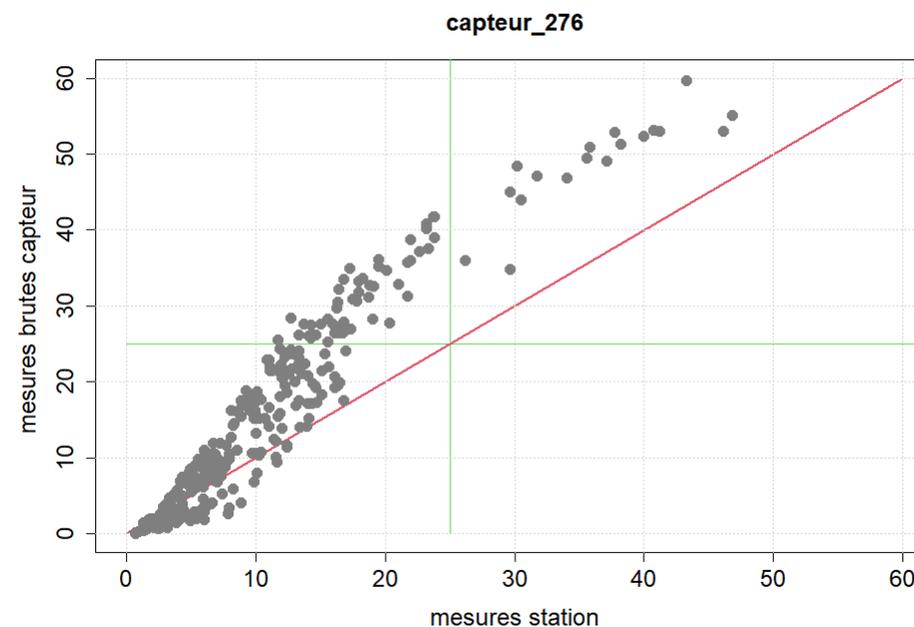
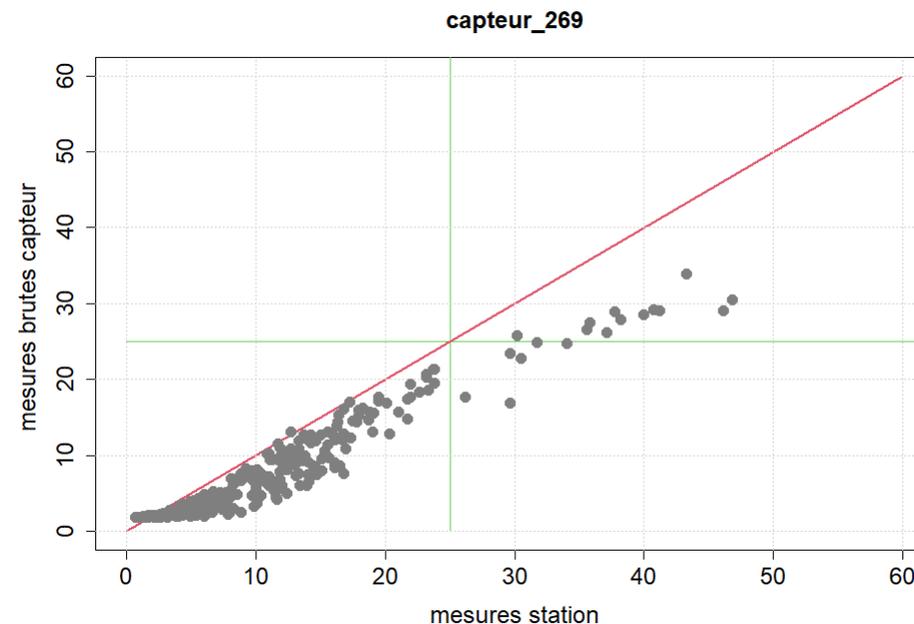
- linéaire
- non-linéaire

Comportement dépend de l'environnement :

- Météo : humidité
- Nature des particules
- Saison



Next PM Tera



CONTRÔLE QUALITÉ: QUALIFICATION ET CORRECTION DE **CHAQUE CAPTEUR**

12 jours d'inter-comparaison avec un analyseur de référence proche du lieu de déploiement :

- Analyse de la réponse de chaque capteur par rapport à la référence
- Décision de **conserver le capteur** ou pas
- Construction d'un modèle de **correction polynomiale ou linéaire** propre à chaque microcapteur

Correction 1 : $y=ax^N+b$



Microcapteurs sur le toit d'une station de référence – Marseille Longchamp

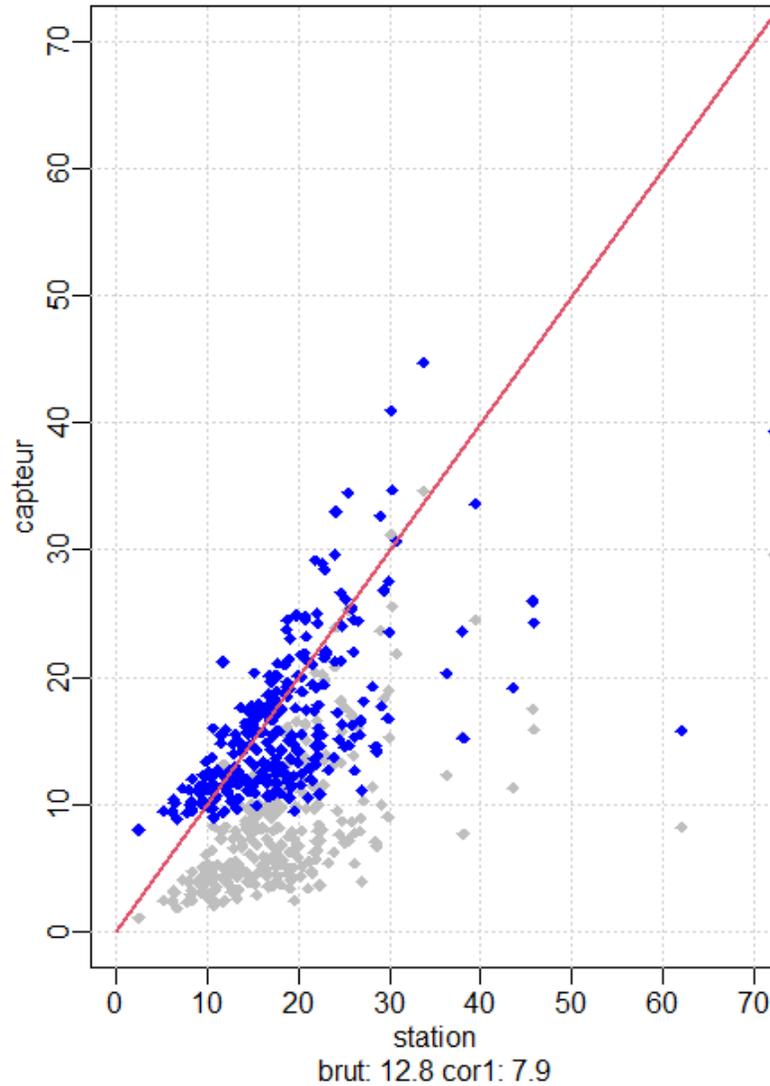
PM10 : CORRECTION 1

CONTRÔLE QUALITÉ : QUALIFICATION ET CORRECTION DE CHAQUE CAPTEUR

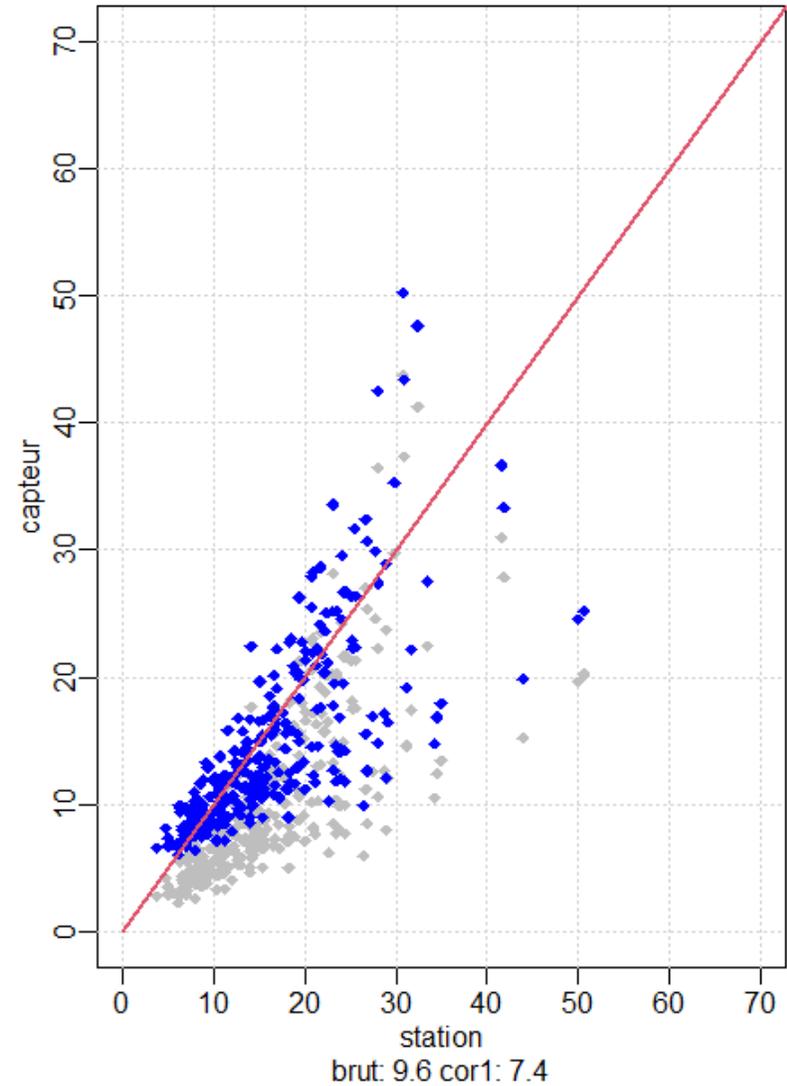
Mesures microcapteur
brutes (gris),
corrigées (bleu)
vs. station de référence

moyennes jours en PM10

Aix_roy_rene



Marseille_cinq_av

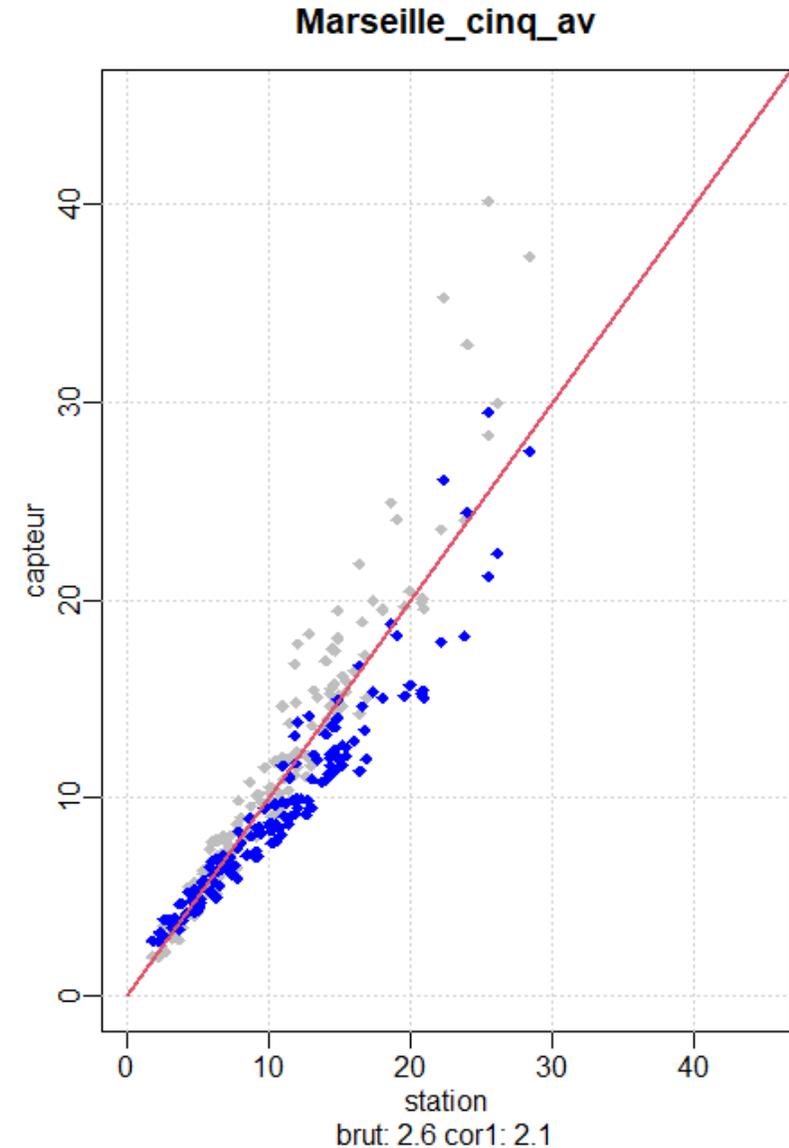
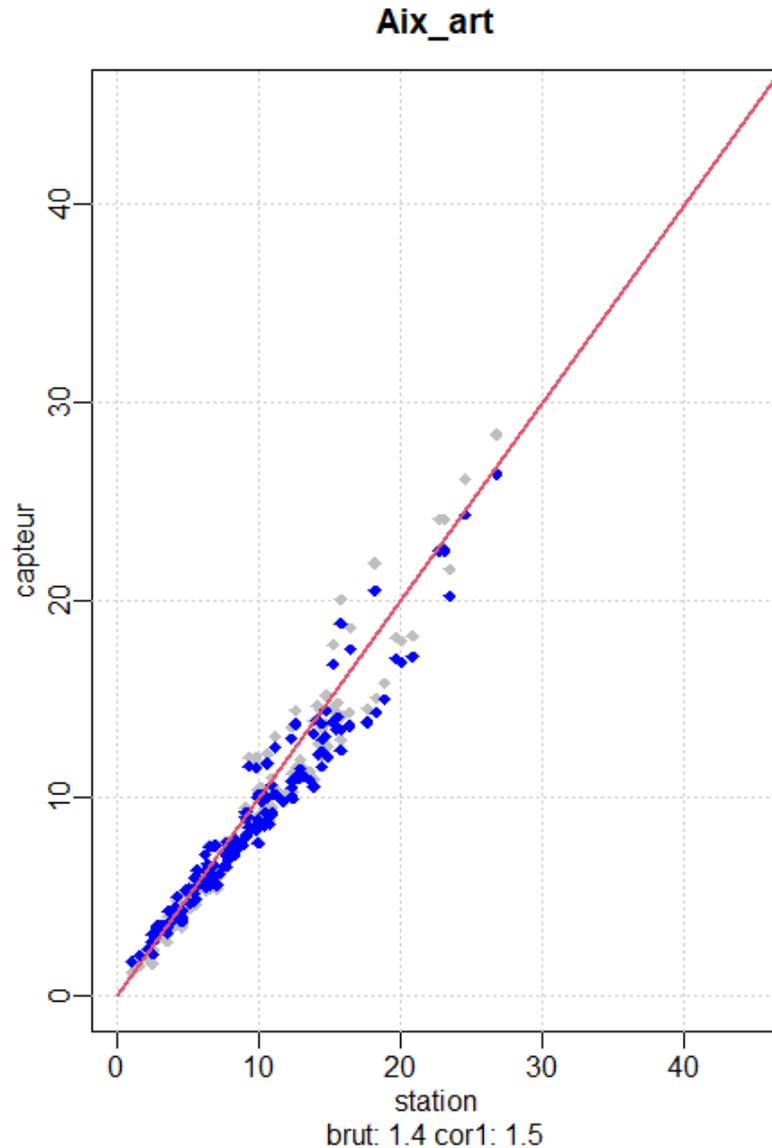


PM2,5 : CORRECTION 1

CONTRÔLE QUALITÉ : QUALIFICATION ET CORRECTION DE CHAQUE CAPTEUR

Mesures microcapteur
brutes (gris),
corrigées (bleu)
vs. station de référence

moyennes jours en PM2,5

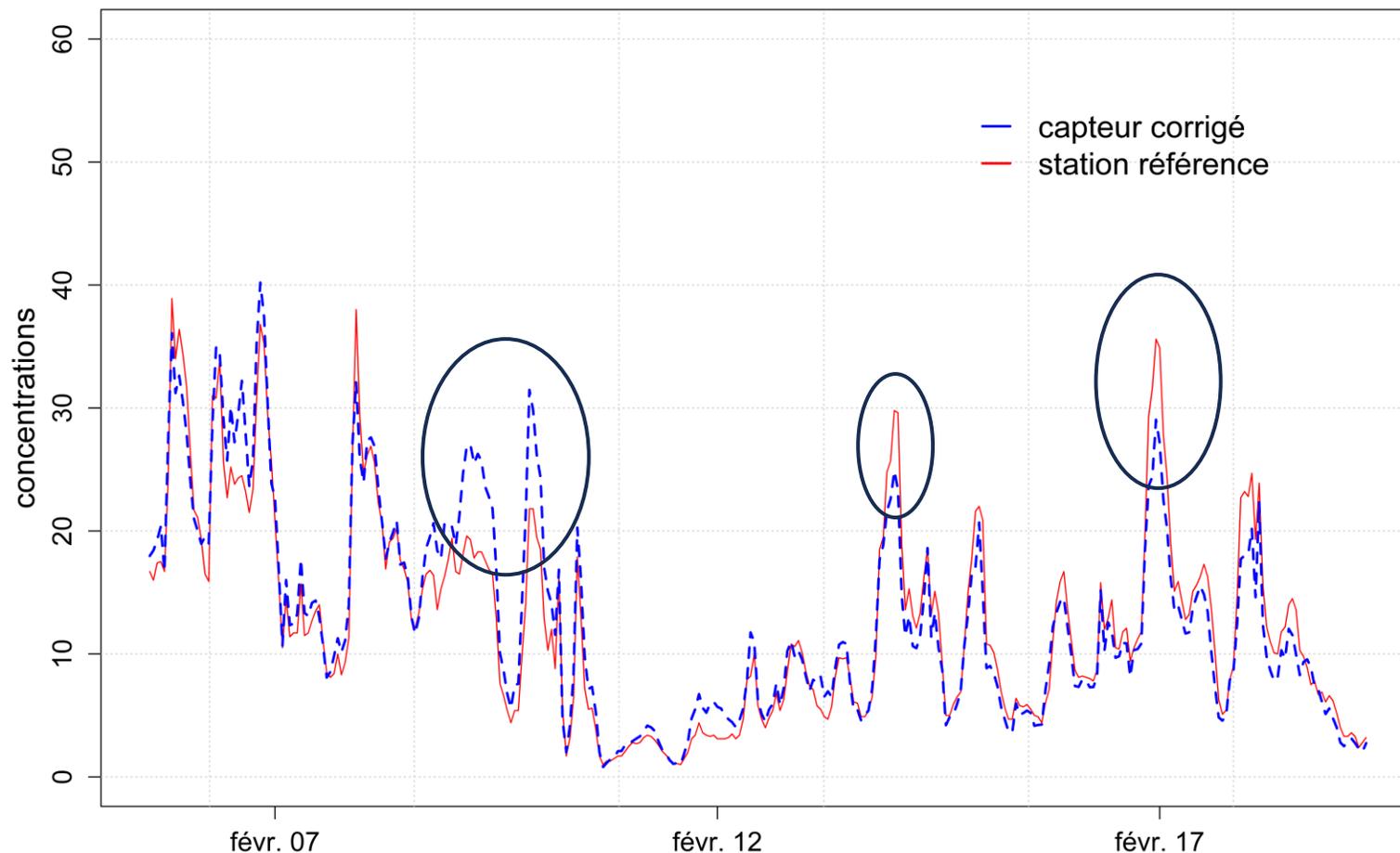


CORRECTION 2 : EN TEMPS RÉEL AVEC DES MESURES DE RÉFÉRENCE

POUR TENIR COMPTE DE L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

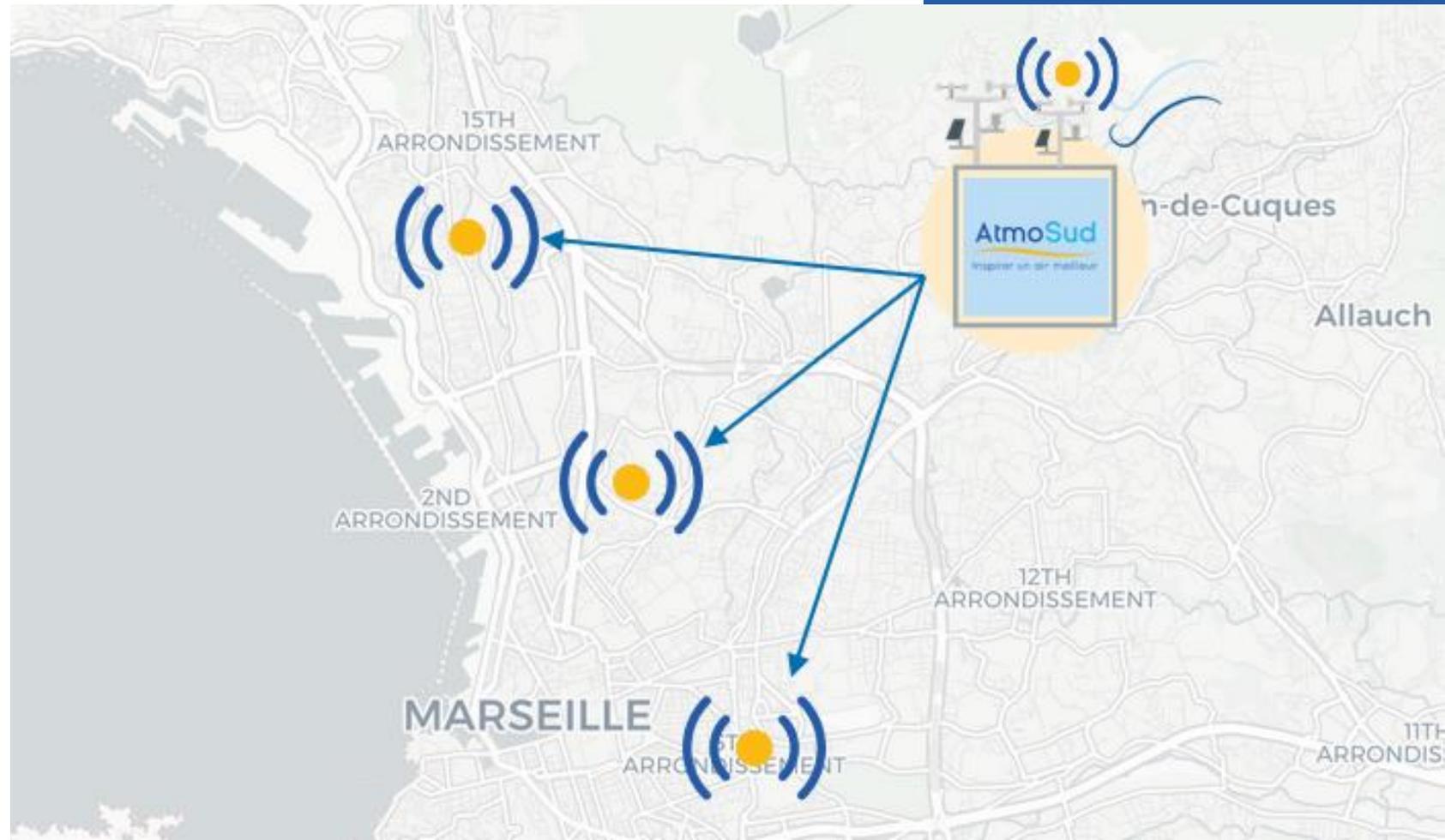
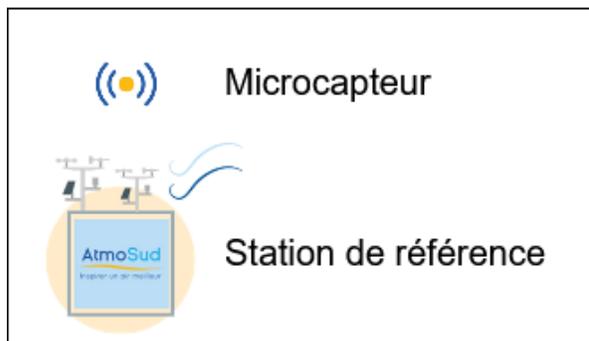
- Réponse métrologique du capteur dépend :
 - Météo : humidité
 - Nature des particules
 - Saison
- des surestimations ou sous-estimations ponctuelles
- Une nécessaire deuxième correction en temps réel basée sur un couple capteur/référence dans même bassin d'air

Série temporelle PM2.5



CORRECTION 2 : DISPOSITIF DE CORRECTION EN TEMPS RÉEL

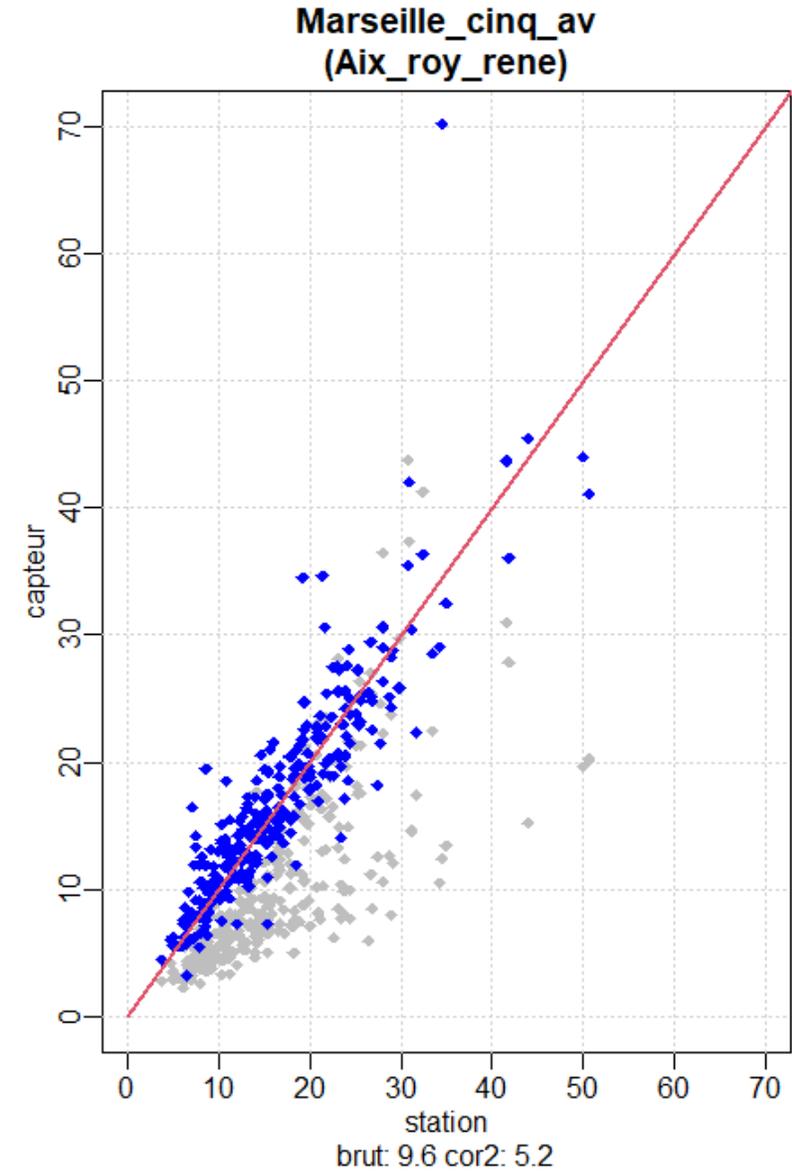
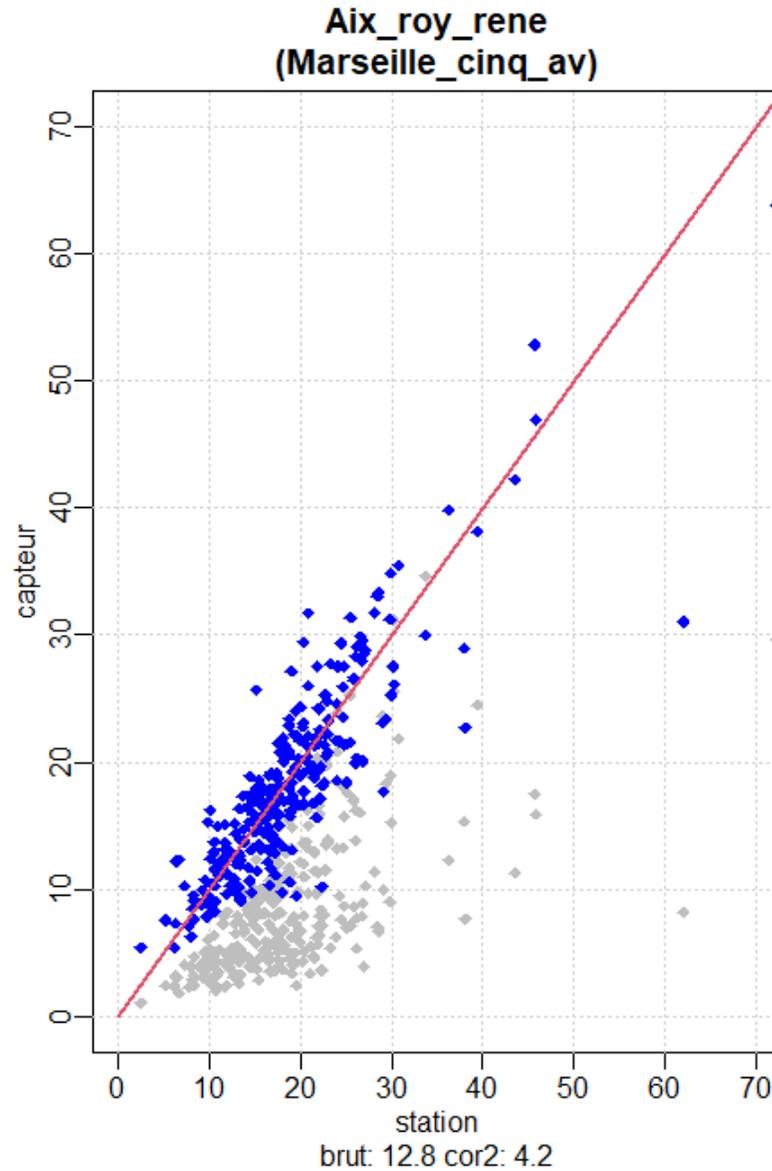
- Corriger le biais du microcapteur à partir d'un couple microcapteur/station de référence :
ratio de mesures station/capteur calculé sur les 3 dernières heures
- Couple situé à proximité des capteurs déployés : **même bassin d'air**



PM10 : CORRECTION 2 EN TEMPS RÉEL AVEC DES MESURES DE RÉFÉRENCE

Mesures microcapteur
brutes (gris)
corrigées (bleu)
vs. station de référence

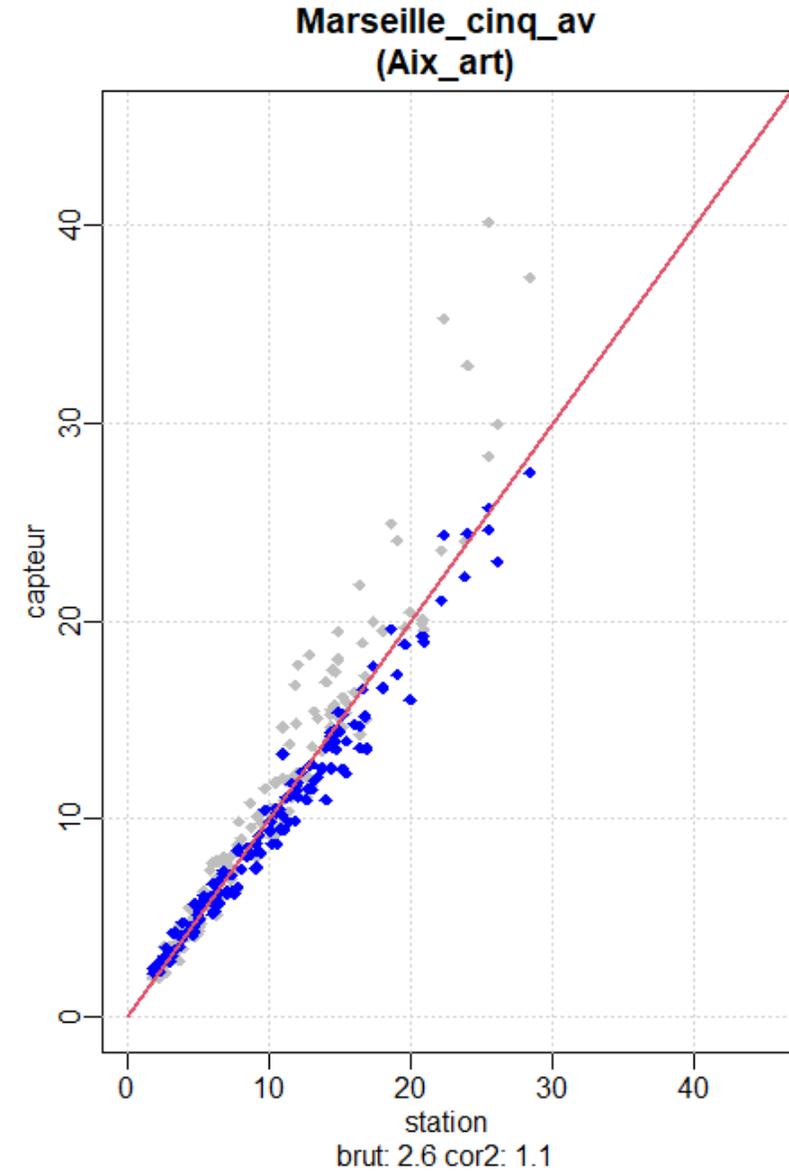
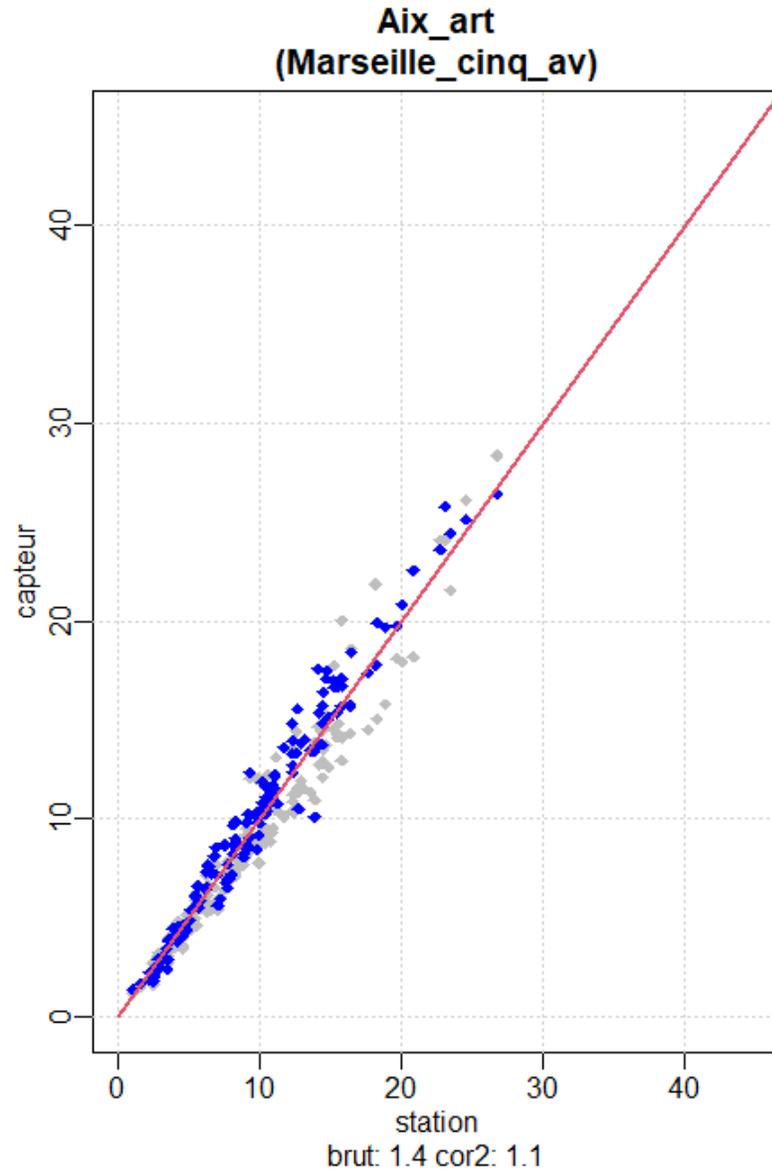
moyennes jours en PM10



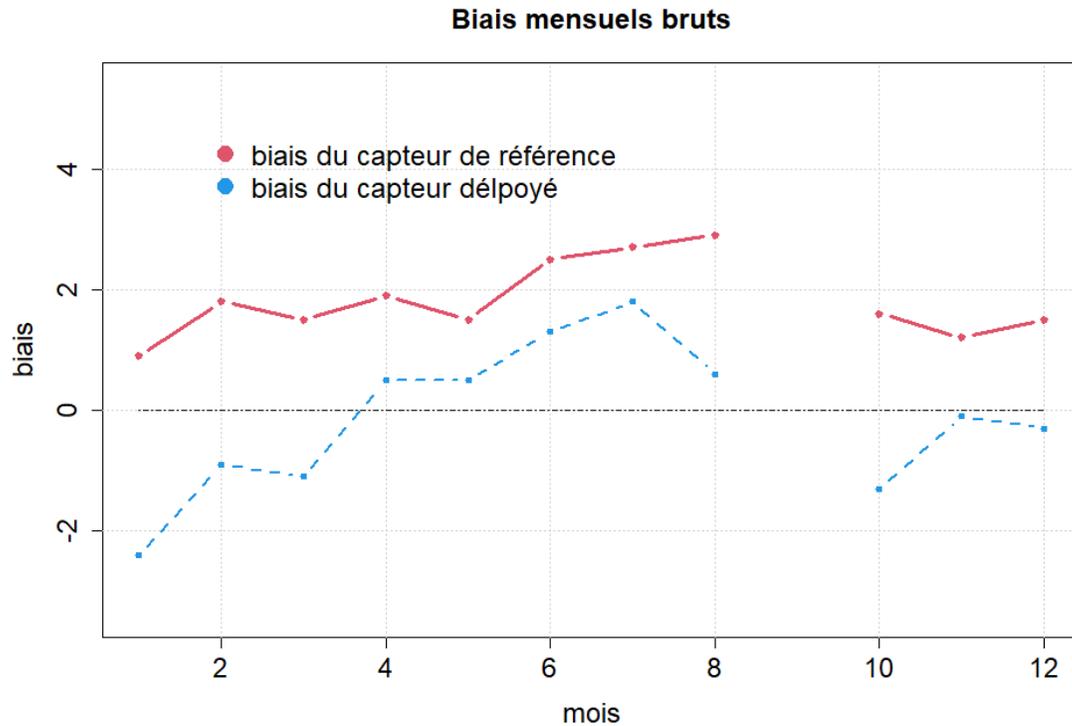
PM2,5 : CORRECTION 2 EN TEMPS RÉEL AVEC DES MESURES DE RÉFÉRENCE

Mesures microcapteur
brutes (gris)
corrigées (bleu)
vs. station de référence

moyennes jours en PM2,5

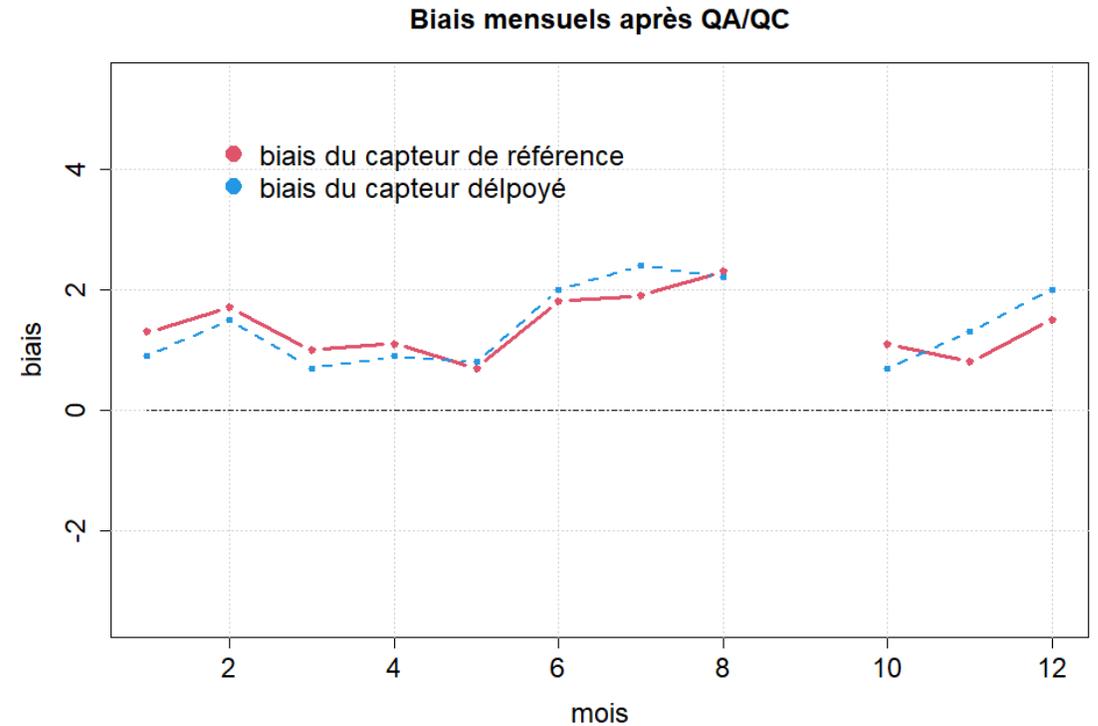


POURQUOI DEUX CORRECTIONS SUCCESSIVES ?



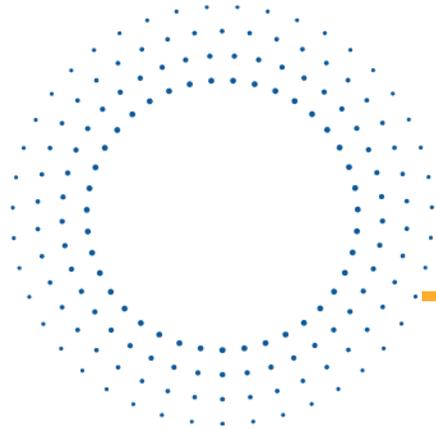
Avant le contrôle qualité, les biais mensuels en PM2.5 sont très différents.

Le microcapteur de référence ne peut pas corriger correctement le microcapteur déployé.



Après le contrôle qualité, les biais mensuels en PM2.5 sont proches.

Le microcapteur de référence peut alors corriger correctement le microcapteur déployé.



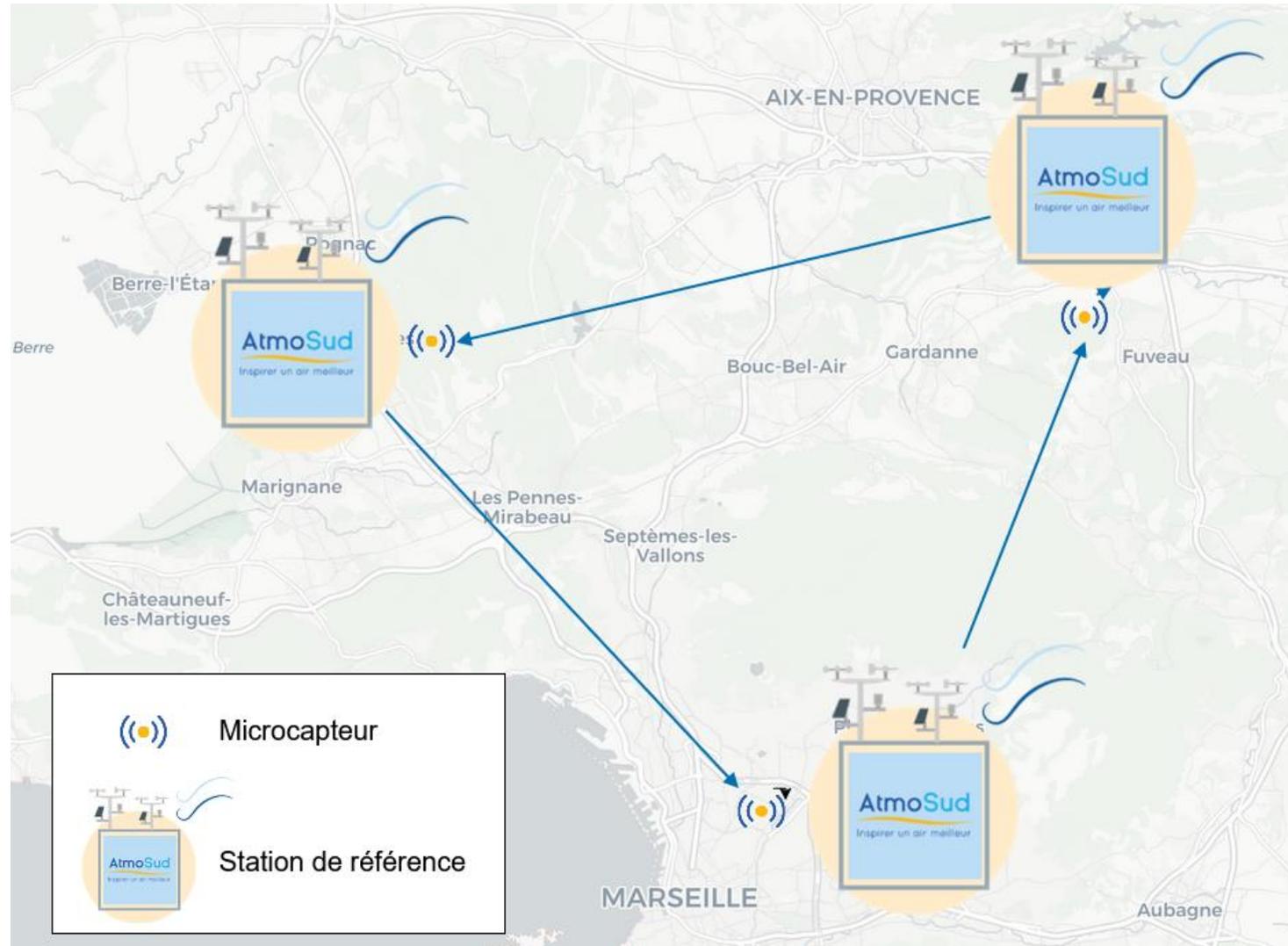
EVALUATION DES PERFORMANCES

INCERTITUDES

ÉVALUATION DES PERFORMANCES

Protocole expérimental : plusieurs sites munis de **couples** microcapteur/station de référence dans un **même bassin d'air** :

- Aix-en-Provence
- Marseille
- Marignane
- **Correction croisée** entre les couples
- **Evaluation de la qualité** des mesures après correction



PM10 : INCERTITUDES ÉLARGIES

Incertitudes horaires

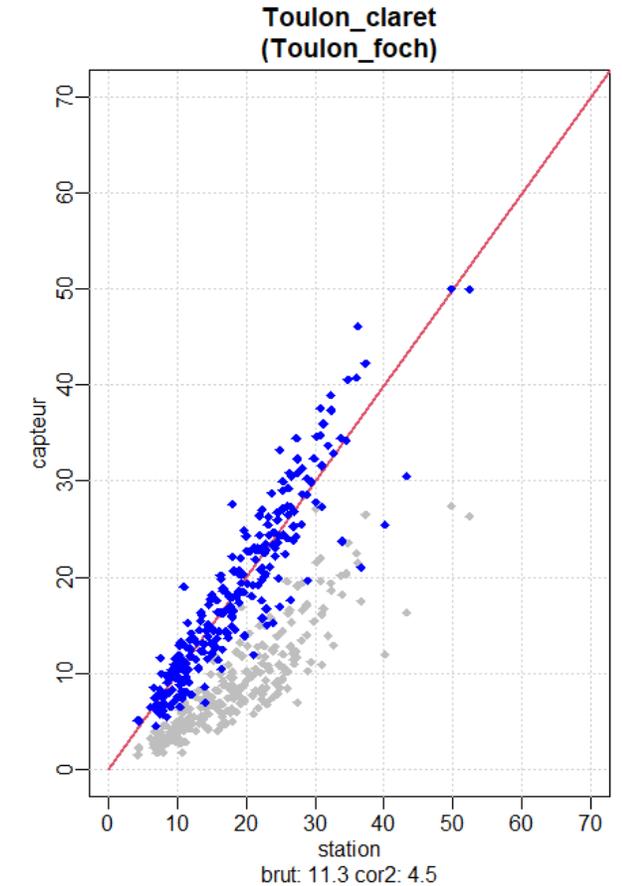
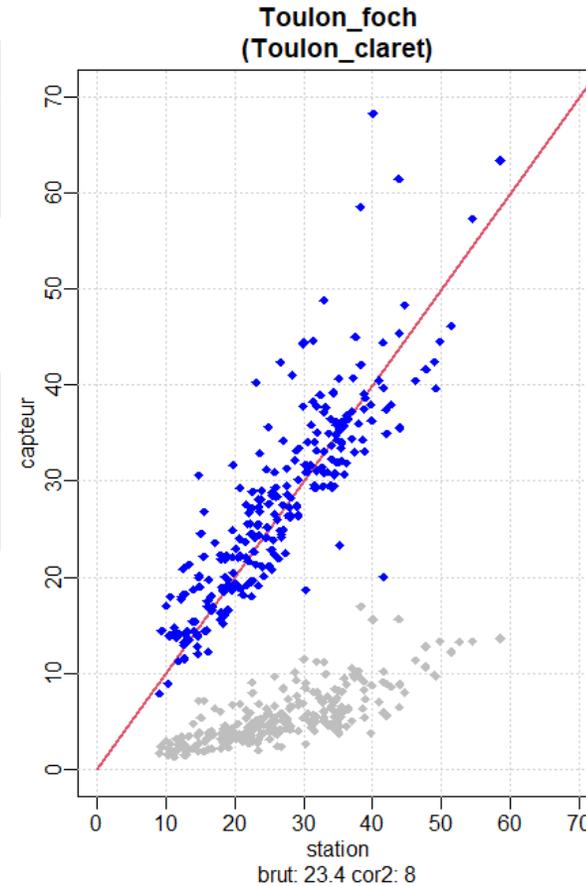
Valeur	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude élargie	69 %	63 %

Incertitudes journalières

Valeur	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude élargie	39 %	28 %

Incertitudes annuelles

	MAE	q10	q90
Biais	8 %	-24 %	19%



Biais moyen moyenne annuelle à **20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

PM2,5 : INCERTITUDES ÉLARGIES

Incertitudes horaires

Valeur	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude élargie	30 %	26 %

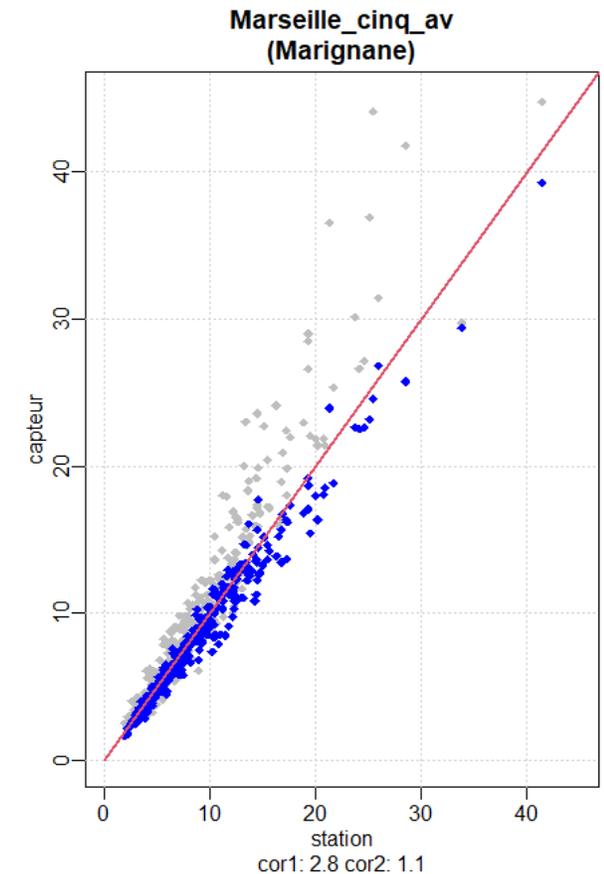
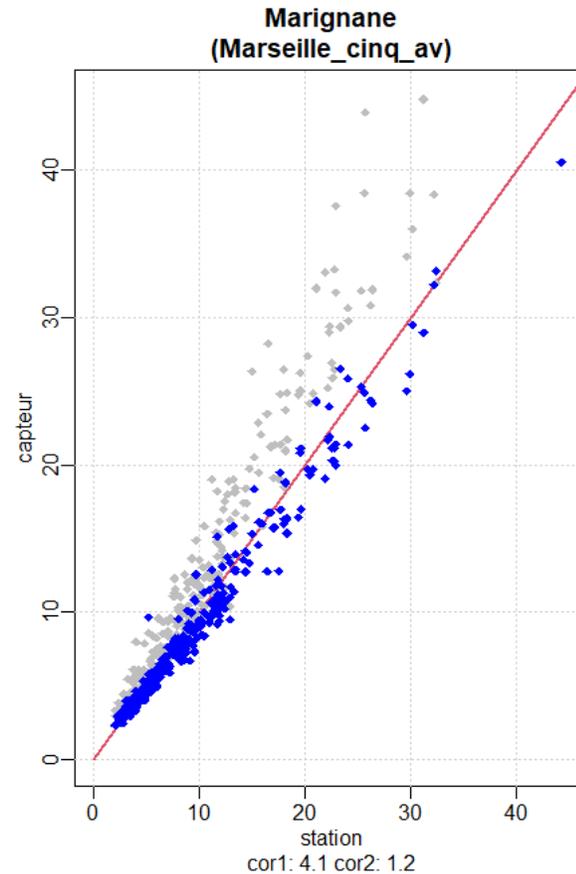
Incertitudes journalières

Valeur	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Incertitude élargie	18 %	12 %

Incertitudes annuelles

	MAE	q10	q90
Biais	4 %	-9 %	7 %

Biais moyen moyenne annuelle à **10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

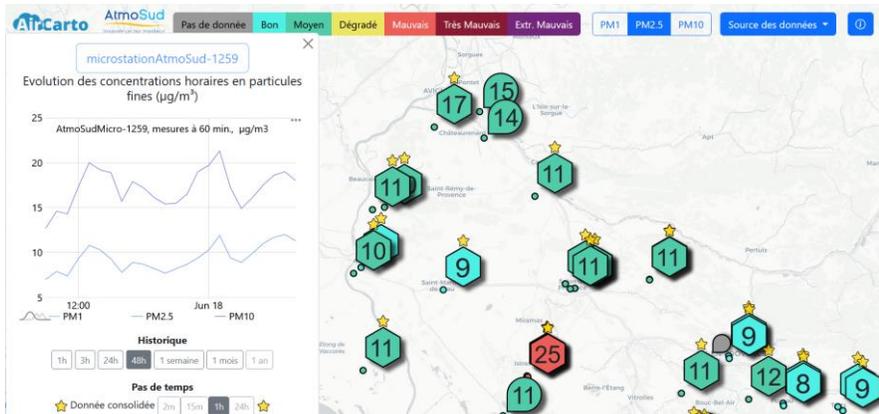


GRANDES ÉTAPES

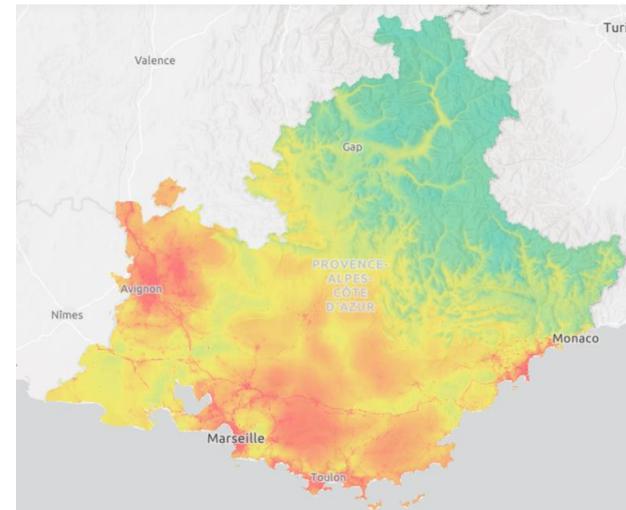
- L'ensemble des process est réalisé par la base de données μ spot



- Services:



Diffusion OpenAirMap

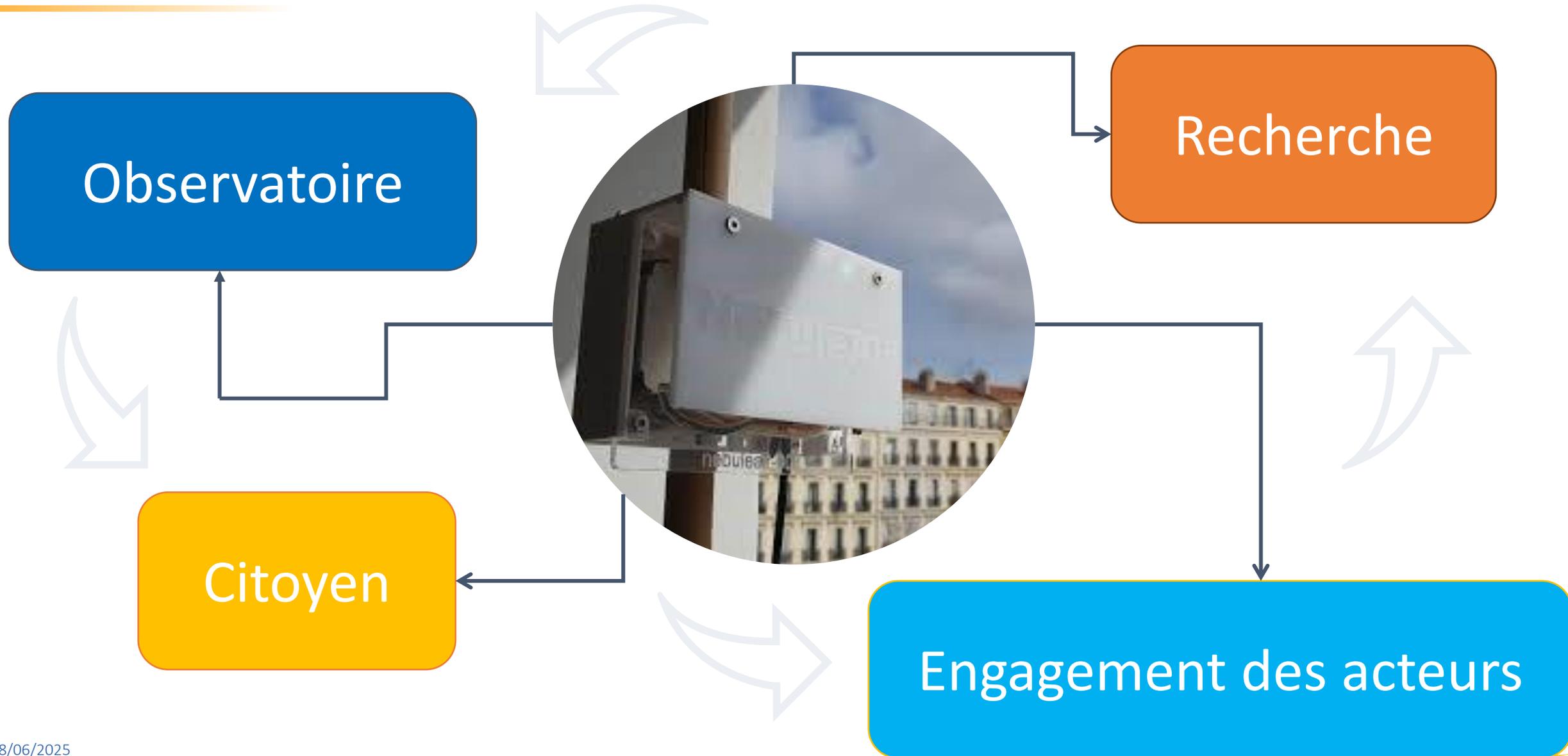


Assimilation cartes HD
(horaires, journalières et annuelles)

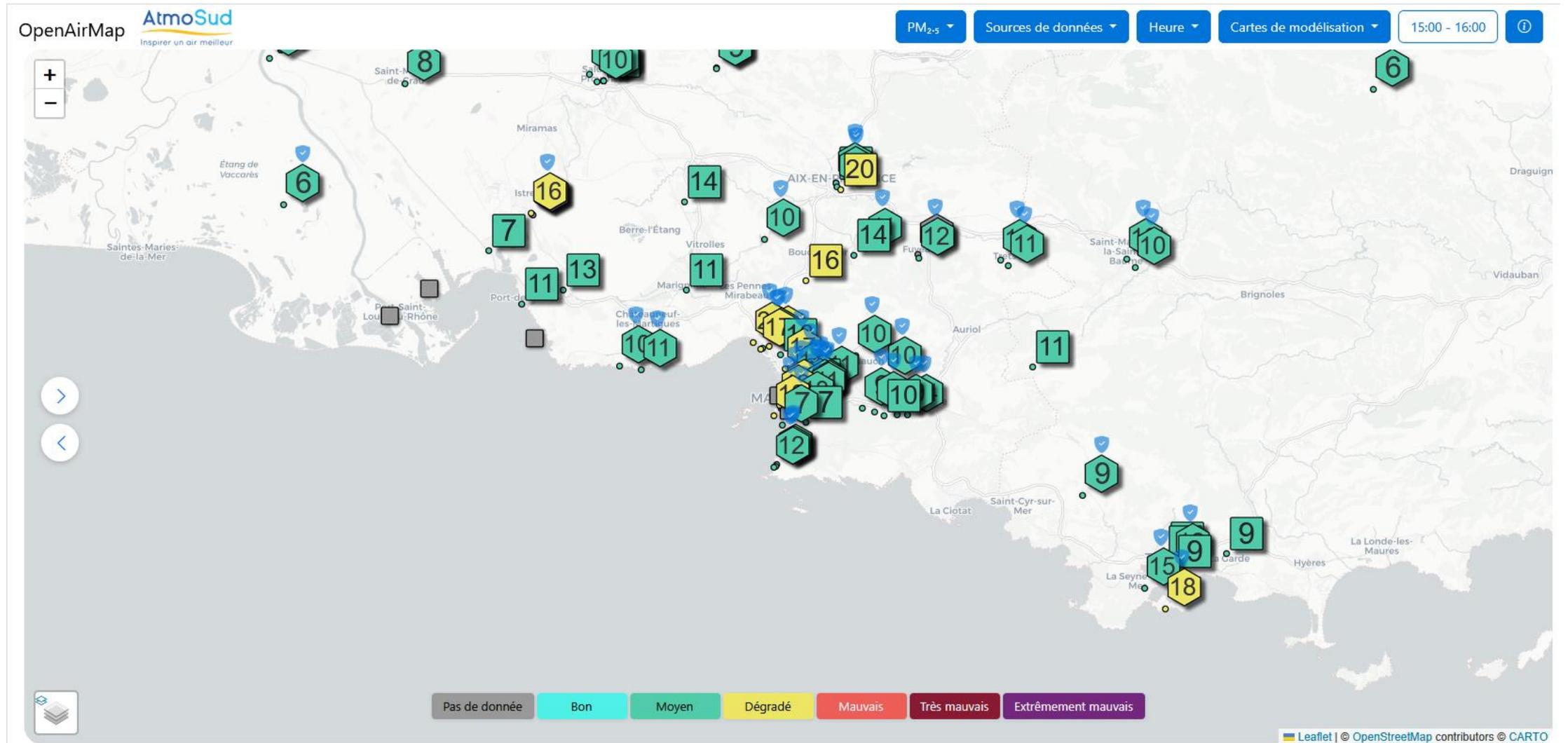


LES CAPTEURS AU CŒUR DE L'OBSERVATOIRE ET DE L'ACTION LOCALE

UN ÉLÉMENT ESSENTIEL DANS LA SURVEILLANCE D'ATMO SUD



UNE NOUVELLE PLATEFORME POUR L'OBSERVATOIRE PARTICIPATIF



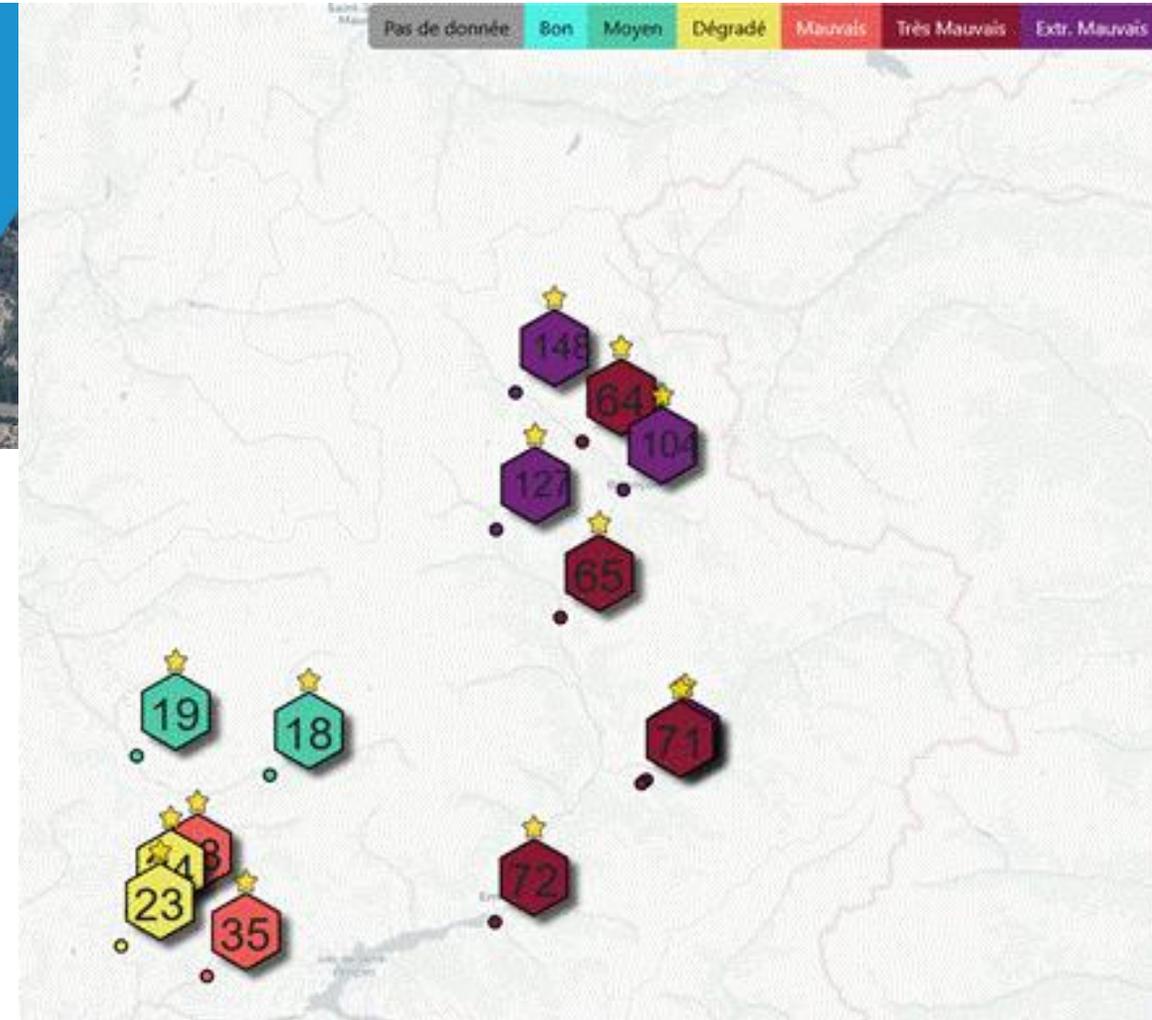
OBSERVATIONS DE PHÉNOMÈNES SINGULIERS

Accueil > Actualités > Episode de particules fines sur les Hautes-Alpes en provenance du Canada

EPISODE DE PARTICULES FINES SUR LES HAUTES-ALPES EN PROVENANCE DU CANADA

- Impact sur la station de Briançon : $94 \mu\text{g} / \text{m}^3$
- Pas d'impact sur la station de Gap : $27 \mu\text{g} / \text{m}^3$
- Pas d'impact sur les autres stations du réseau

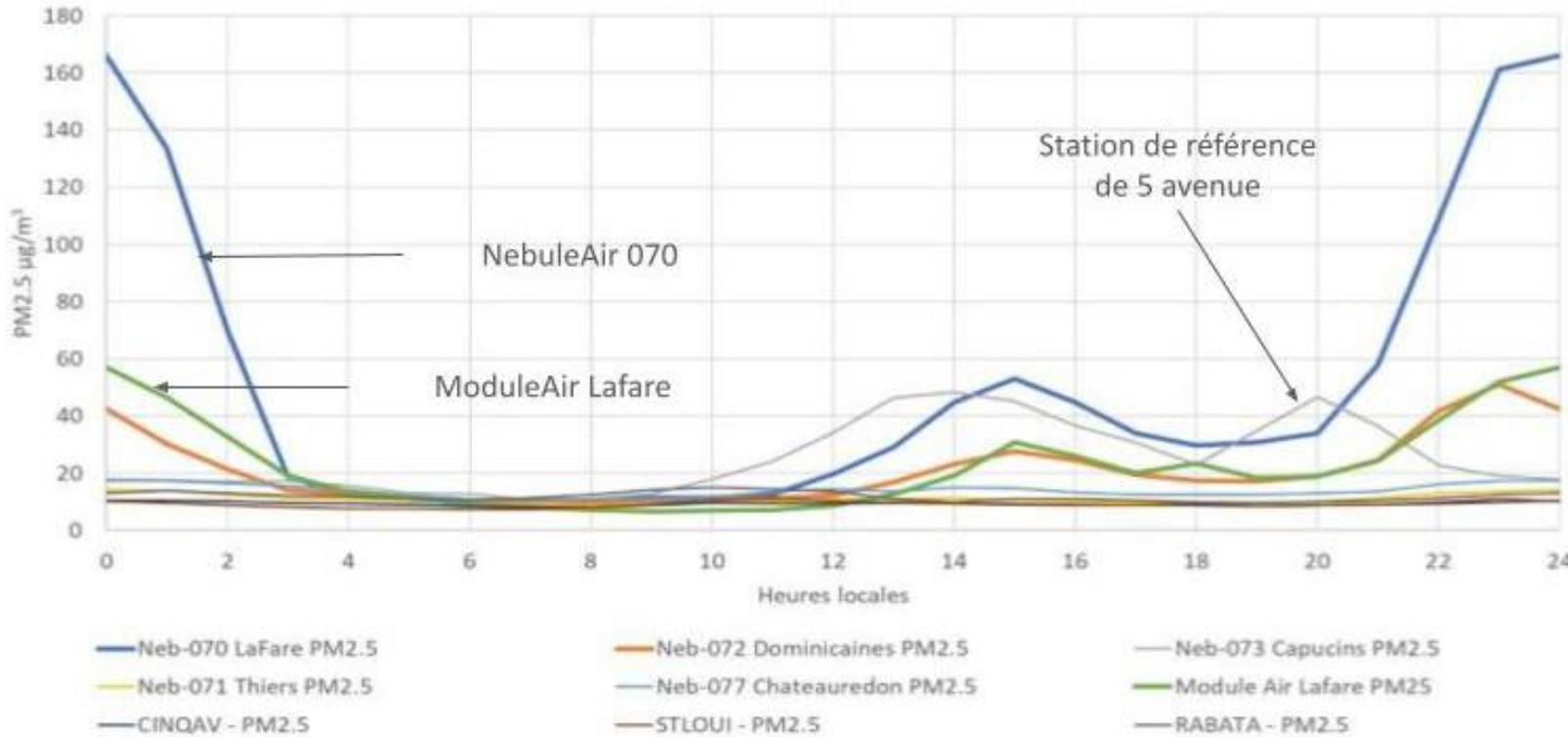
Confirmation par les capteurs



OBSERVATIONS DE PHÉNOMÈNES LOCAUX

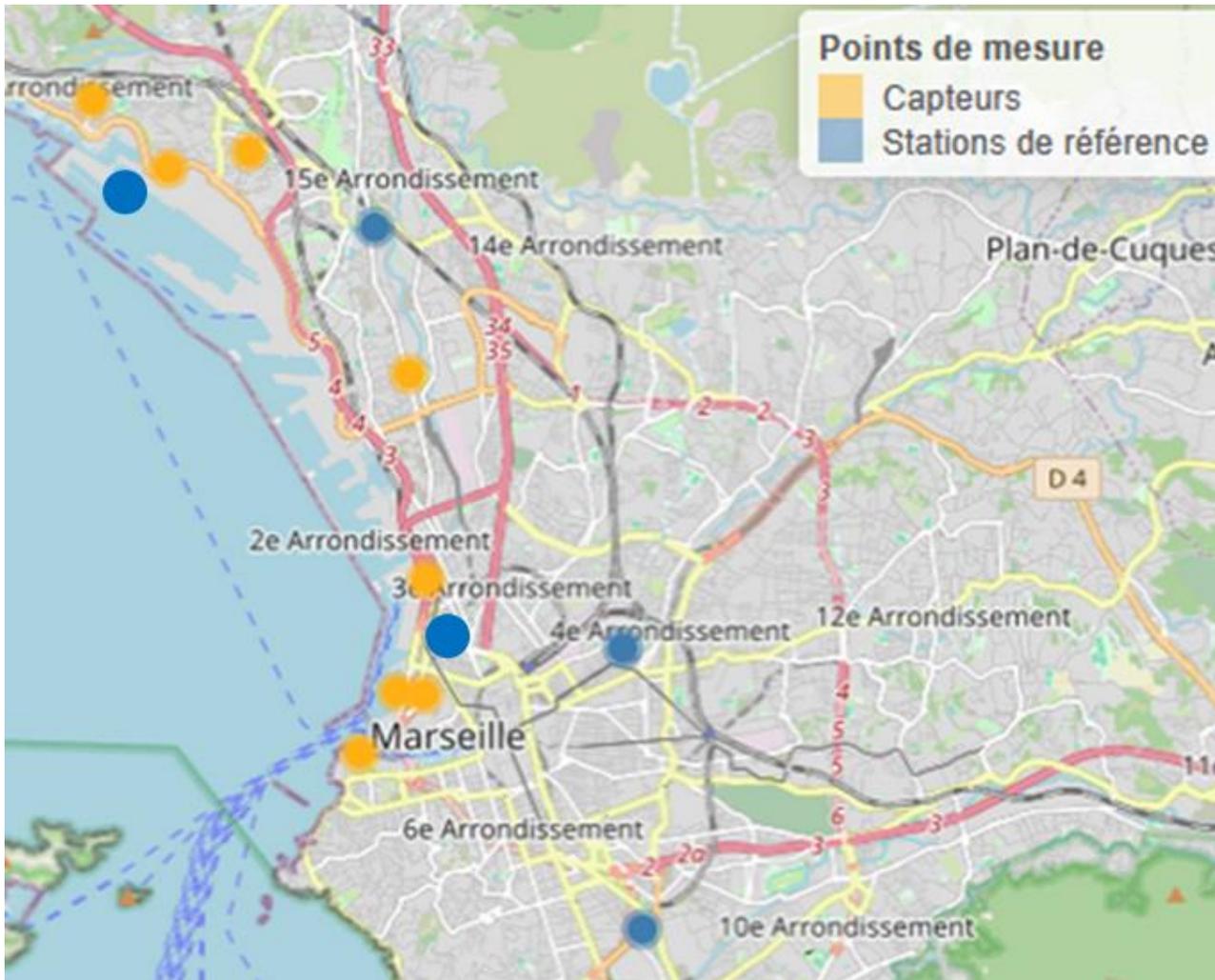


Période chaude (1er août au 15 octobre 2023)



« Les concentrations moyennes journalières du capteur situé rue de La Fare dépasse 75 % du temps (115 jours sur 153 jours de mesure) la valeur limite journalière à ne pas dépasser 35 jours par an »

SUIVI DE LA PERFORMANCE DES ACTIONS AUTOURS DES PORTS



Intégration de 13 capteurs dans le dispositif de surveillance

En complément des stations de référence, du partage des données, de la participation citoyenne, de l'information



Modélisation des panaches en temps réel
– Projet UE AirLabo

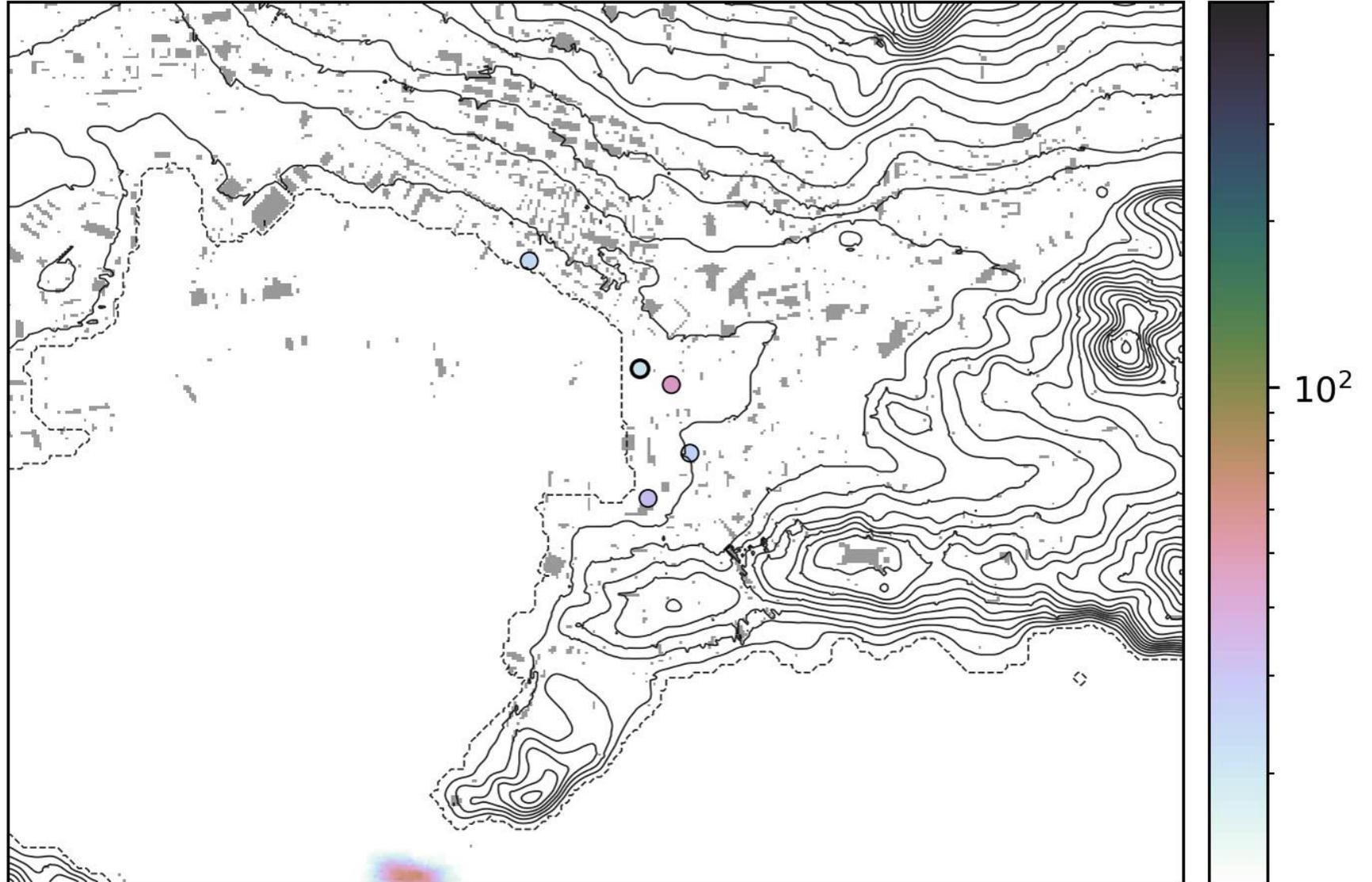
IMPACTS LOCAUX : PHASE MANŒUVRE ET STATIONNEMENT – TOULON

26/08/2021 - 16:46:00 : NO₂ [12.6 , 76.4] mcg/m³



*Concentrations
instantanées en NO₂ sur le
port de Toulon associées à
l'escale d'un navire au
cours de la journée du
26/08/2021*

De 16h45 à 22h00



UN OUTIL AU SERVICE D'UNE SEULE SANTÉ

Publication de URPS médecins libéraux PACA



URPS médecins libéraux PACA

Quelles mesures sont prises pour améliorer la qualité de l'air ?

En collaboration avec **AtmoSud** : La qualité de l'air en Provence-Alpes-Côte d'Azur, l'URPS médecins libéraux PACA réalise actuellement des **#analyses** de la qualité de l'**#air** dans les cabinets médicaux et dans les salles d'attente de la région.

L'objectif ? mesurer les concentrations de gaz et de **#particules**.

Une action de sensibilisation très concrète, préalable aux nombreux changements nécessaires à la limitation drastique de notre exposition !

<https://urlz.fr/jQzh>



Intervention dans le Pays de Grasse Programme « Les Jeunes Sentinelles de l'Air »



PAROLE D'ÉLU



L'URPS ML PACA met en place des vidéos en ligne pour aider les professionnels de santé à comprendre l'enjeu majeur que représente l'amélioration de la qualité de l'air.

Dr. Wilfrid Guardigli

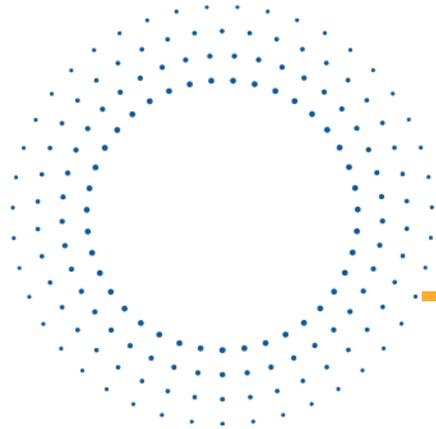
Généraliste à La-Seyne-sur-Mer (83)

Élu URPS ML PACA

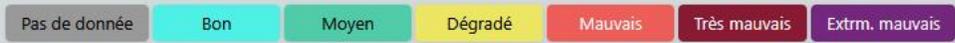
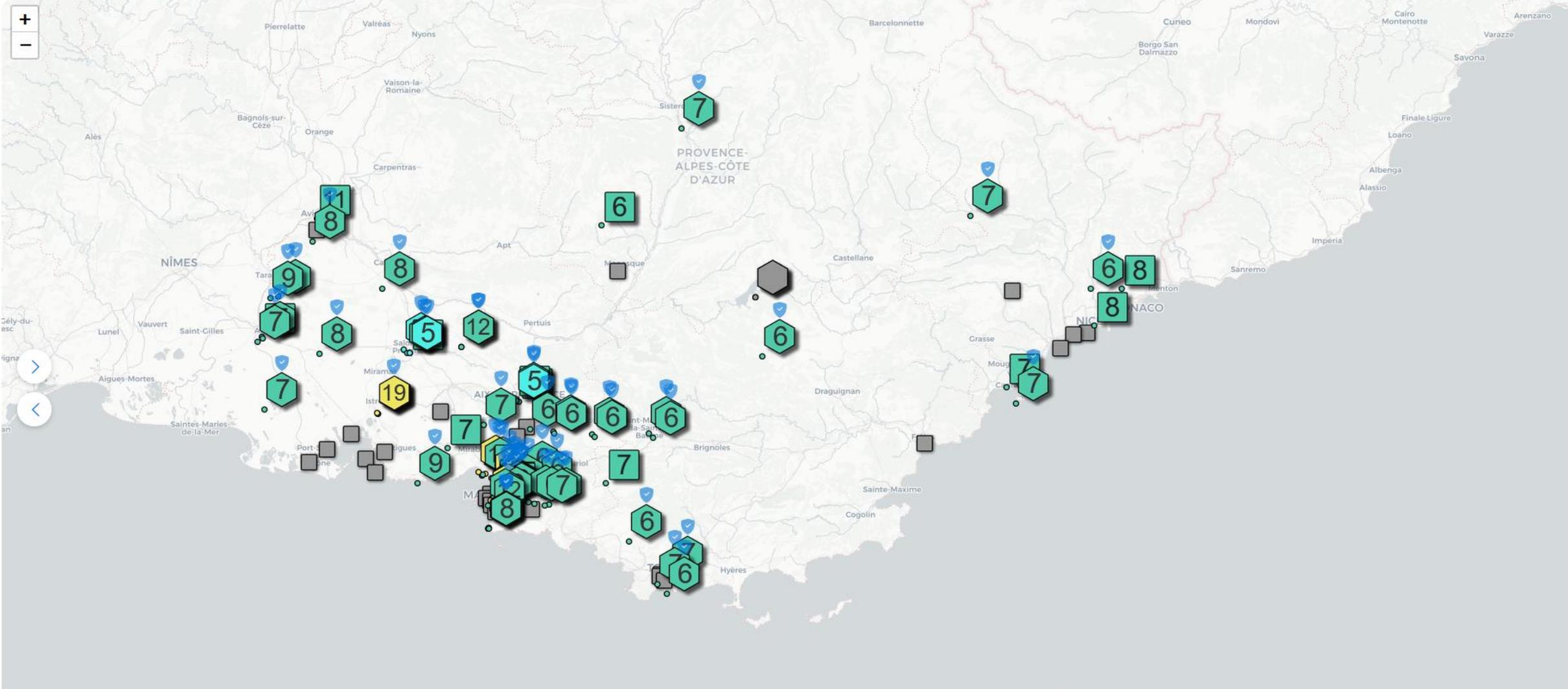
Pilote du groupe de travail prévention



#BulletinDeLUnion



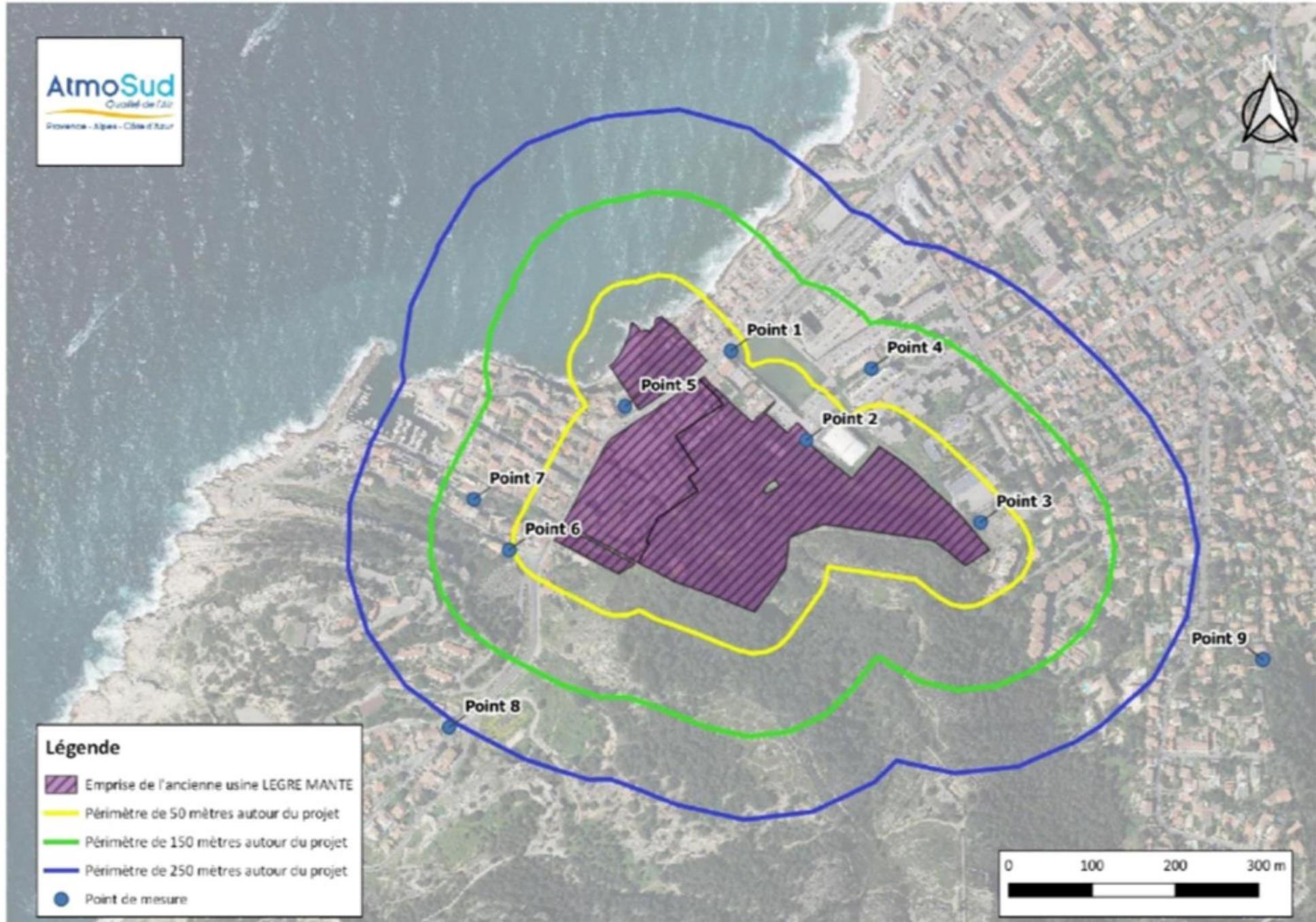
TEMOIGNAGES D'ACTEURS





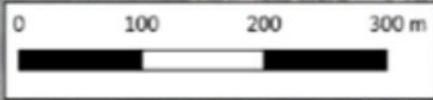


MIQASS – Villeneuve Loubet



Légende

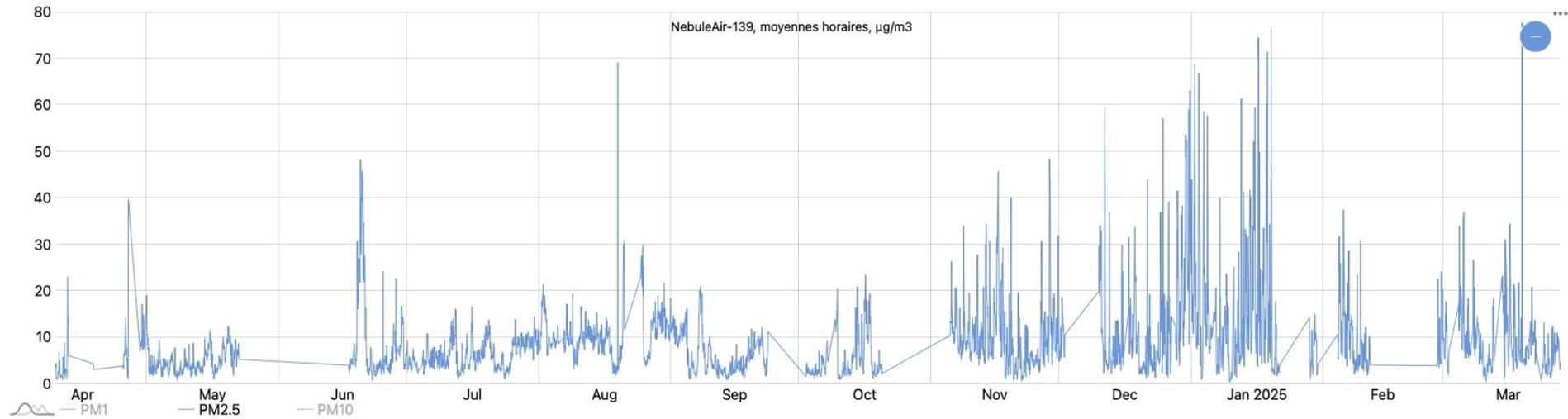
-  Emprise de l'ancienne usine LEGRE MANTE
-  Périmètre de 50 mètres autour du projet
-  Périmètre de 150 mètres autour du projet
-  Périmètre de 250 mètres autour du projet
-  Point de mesure



avril 2024 à mars 2025

nebuleair-139

Evolution des concentrations horaires en particules fines ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Historique

- 1h
- 3h
- 24h
- 48h
- 1 semaine
- 1 mois
- 1 an

Pas de temps

- 2m
- 15m
- 1h
- 24h

Période de chauffage

La micro-station Atmosud, malgré sa taille, fait sa part.

Pierre Rabhi utilisait cette légende pour diffuser un message d'espoir

et rappeler que chacun pouvait agir à son échelle.





LE SERVICE D'ATMO SUD

UN USAGE, UN SERVICE, UNE VALEUR

UN USAGE, UN SERVICE, UNE VALEUR

SERVICE PREMIUM

- Microcapteur **autonome** en énergie et en communication
Nebule Air pro – PM – NO₂
- Contrôle qualité - définition des corrections 1 et 2
- Installation capteur par AtmoSud
- Suivi data – Analyse - rapport
- Maintenance plateformes
- Intervention pour réparation sur site ou remplacement sous 10 jours ouvrés

VALEUR pour 1 capteur

	ADHERENT	NON ADHERENT
Mensuel	310 €	450 €
Annuel	3 720 €	5 400 €



UN USAGE, UN SERVICE, UNE VALEUR

SERVICE STANDARD

- Microcapteur sur wifi avec alimentation électrique
Module Air ou Nebule Air PM
- Contrôle qualité avec définition de la correction 1
- Mise à disposition microcapteur wifi – formation
- Suivi – accompagnement à la compréhension de la donnée
– note synthétique
- Maintenance microspot et open air map
- Réparation ou remplacement par AtmoSud



VALEUR pour 1 capteur

	ADHERENT	NON ADHERENT
Mensuel	85 €	115 €
Annuel	1 020 €	1 380€



Soutien Région
citoyens, éducation,
santé

Projets
Capt'air citoyen
Capt'air AtmoSud
Air des écoles

Capteurs utilisés
139 Nebule Air
90 Module Air

EXEMPLES

BESOIN

Suivre la qualité de l'air extérieur multi sources dont trafic de mon environnement à moindre coût, à l'année - analyse

SERVICE STANDARD

Mise à disposition des microcapteurs Nebule Air PM et NO₂ au niveau de sites munis de wifi et d'alimentation électrique : mairie, écoles, locaux de travail, enceinte usine...

Installation par agents techniques

Accompagnement AtmoSud service standard

Coût par capteur

	ADHERENT	NON ADHERENT
Mensuel	175 €	290 €
Annuel	2 100 €	3 480 €



EXEMPLES

BESOIN

Suivre la qualité de l'air extérieur liée à son activité sur l'année (PM, NO₂) – accompagnement total + analyse

Courant disponible mais pas wifi

SERVICE PREMIUM

Installation Nebule Air Pro PM et NO₂ par AtmoSud, sans panneau solaire avec clef 4G

Coût par capteur

	ADHERENT	NON ADHERENT
Mensuel	280 €	420 €
Annuel	3 360€	5 040 €



ENQUÊTE DE SATISFACTION



AtmoSud

Inspirer un air meilleur

Présenté par : Laetitia MARY
Coordonnées :

 06.63.92.20.44

 laetitia.mary@atmosud.org

 [Consulter le site web AtmoSud](#)

