

Utilisation de systèmes capteurs en réseaux

Etude de faisabilité portant sur l'évaluation
des performances de mesure liée à
l'utilisation de systèmes capteurs en
réseaux

Programme 2022, action 53

SPINELLE Laurent, FIEVET Amandine, BOCQUET Nathalie, Ineris,
contact : laurent.spinelle@ineris.fr

Groupeement d'intérêt scientifique

Si l'utilisation de système capteurs pour la surveillance de la qualité de l'air se développe de plus en plus, leur utilisation dans une logique de réseau offre la possibilité d'améliorer aussi bien la qualité des données produites que de varier leur utilisation potentielle.

En vue de pouvoir évaluer les performances de systèmes capteurs utilisés dans cette configuration, l'Ineris a réalisé une étude de faisabilité du potentiel d'utilisation de son système de dopages de matrice réelles à cette fin.

- L'Ineris dispose d'un système de dopage de matrices réelles pour les particules (PM), ayant fait l'objet de plusieurs travaux d'optimisation ⁽¹⁾
- L'Ineris a étudié la possibilité de créer des niveaux de concentrations de polluants en cascade en associant les cloches de dopages en série, c'est-à-dire les unes derrière les autres afin de simuler le déploiement d'un réseau de systèmes capteurs, sur une même ville par exemple (cf. image de droite), pour lesquels les niveaux globaux de concentrations sont intrinsèquement liés entre eux mais qui présentent également des variations en fonction de la topographie par exemple.

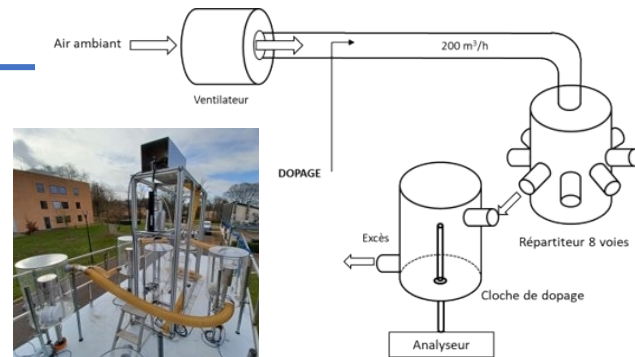


Schéma de principe du système de dopage développé par Ineris



Cette image a été générée grâce aux capacités d'IA générative de Google

(1) Amélioration du système de dopage PM matrice réelle, L. Spinelle, 2020, [Ineris-201695-2720052-v1.0](#)

- Afin de vérifier s'il est possible d'utiliser le système de dopage pour simuler ce type d'utilisation, l'impact de l'utilisation des cloches de dopage en cascade sur la dispersion des concentrations inter-cloches a été étudiée
- Moyens de mesures mis en œuvre dans les cloches de dopage :
 - compteurs optiques de particules Fidas 200 de la société PALAS
 - analyseurs d'ozone conformes aux exigences normatives de la mesure à l'air ambiant.



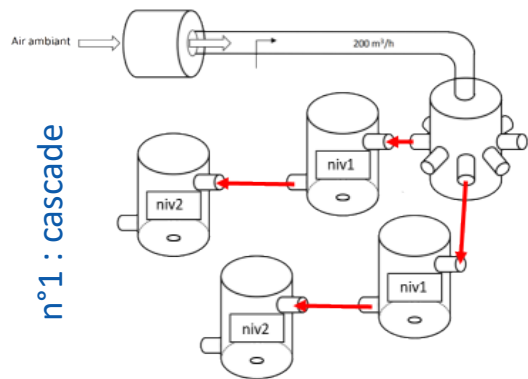
Model 49i, thermoscientific



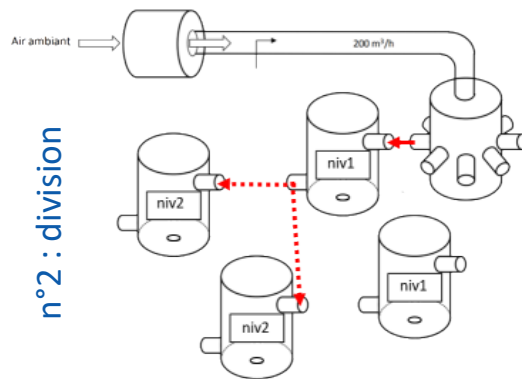
Fidas 200, Palas

- Dopages réalisés
 - Ajout d'ozone (générateur)ou
 - Ajout d'un mélange salin ($PM_{2,5}$) et d'Arizona dust (PM_{10})
- Différents agencements des cloches de dopages ont été testés (cf détail ci-après)

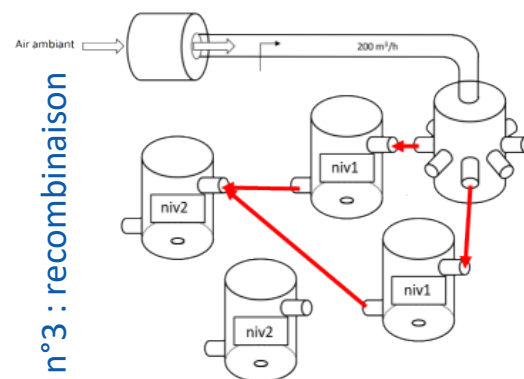
Pour ozone et PM, différentes configurations de cloches en cascades ont été testées :



2 sets de cloches reliées en cascade, une cloche de dopage reliée directement au répartiteur central (niv1) puis une cloche de dopage reliée à la précédente (niv2). La comparaison sera faite entre les deux montages en série.

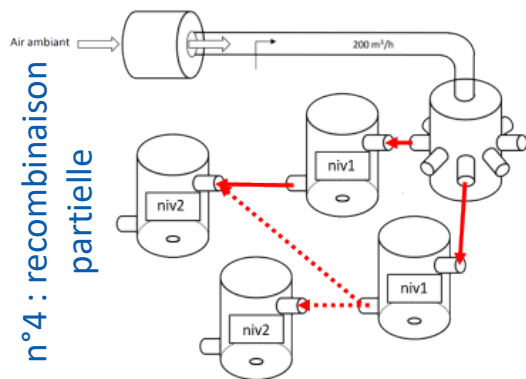


2 cloches niv2 sont connectées à une même cloche niv1. La comparaison sera faite entre les 2 niv2 par rapport au niv1 et entre les deux niv2.

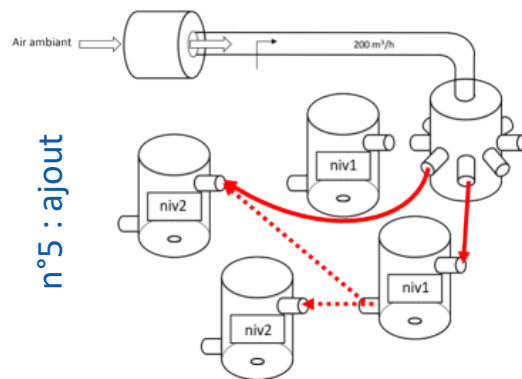


1 cloche niv2 sera connectée à 2 cloches niv1. La comparaison sera faite entre une des cloches niv1 et la cloche niv2.

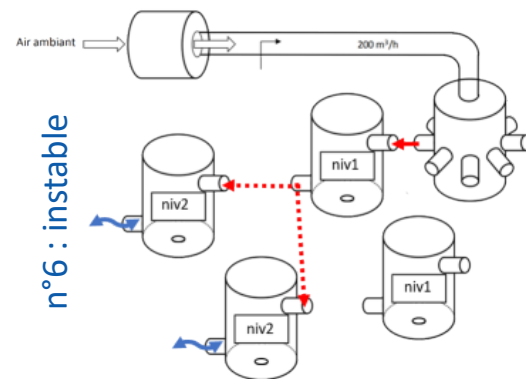
Pour ozone et PM, différentes configurations de cloches en cascades ont été testées :



1 cloche niv2 sera connectée à 1 cloche niv1 et une partie de l'air provenant de la seconde cloche niv1. La comparaison sera faite entre une des cloches niv1 et la cloche niv2 et entre les deux niv2.

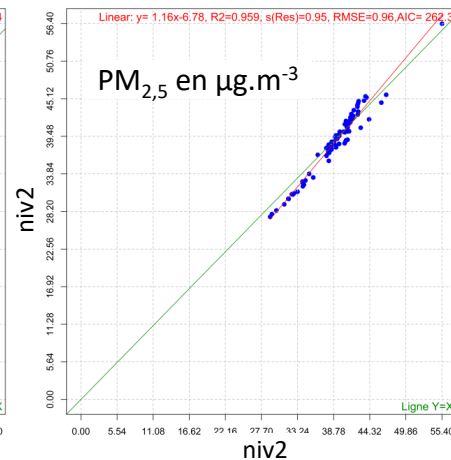
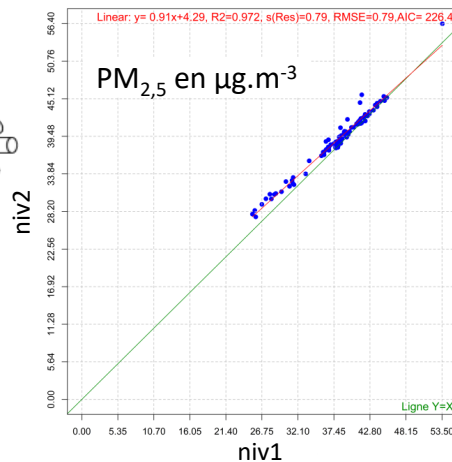
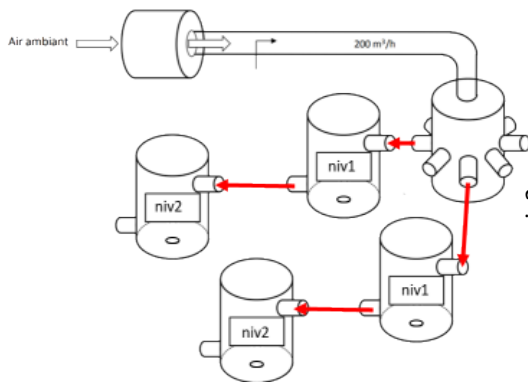


1 cloche niv2 sera connectée directement au répartiteur central et à une partie de l'air provenant de la seconde cloche niv1. La comparaison sera faite entre une des cloches niv1 et la cloche niv2 et entre les deux niv2.



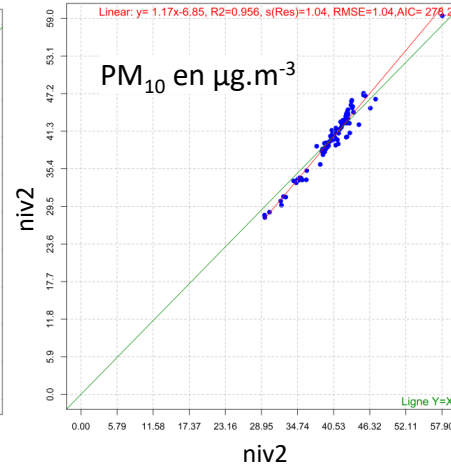
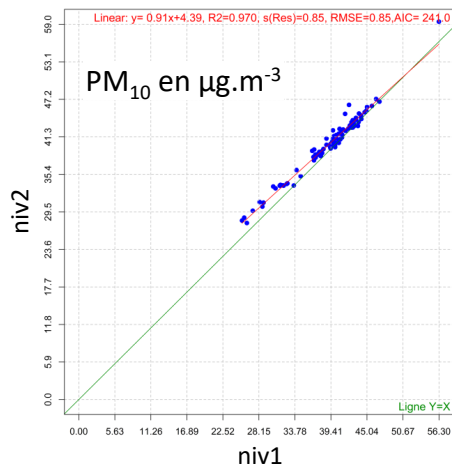
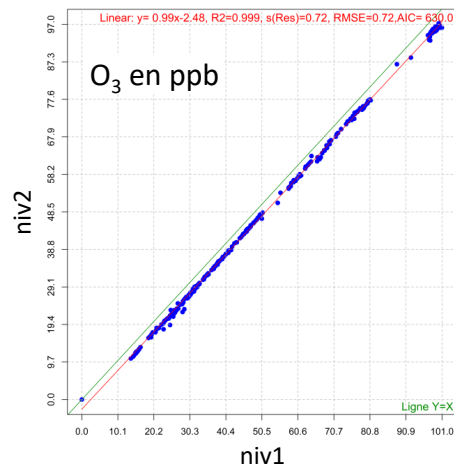
Comme pour la configuration n°2 « division », 2 cloches niv2 sont connectées à une même cloche niv1 mais en cherchant à atteindre un débit d'air suffisamment bas pour maintenir la cloche niv1 en excès mais pas dans les cloches de niv2.

Résultats détaillés : configuration n°1 : cascade



Pente et R^2 proche de 1 pour l'ensemble des comparaisons niv1 VS niv2 :

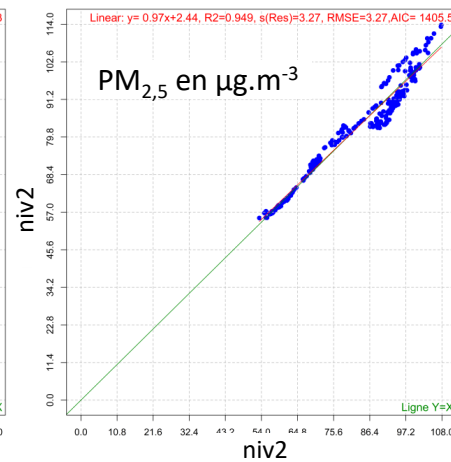
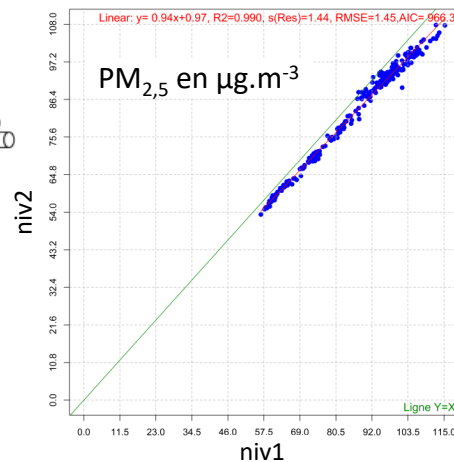
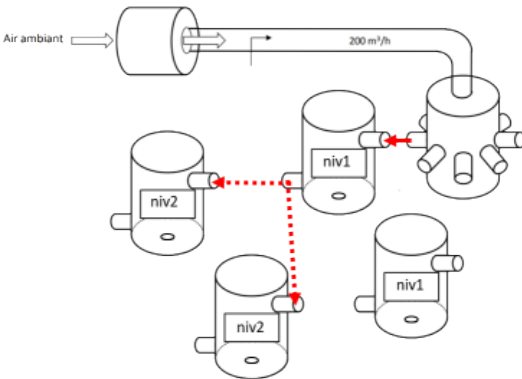
=> pas d'impact de la configuration *cascade* sur la qualité de la mesure.



Pente et R^2 proche de 1 pour la comparaison entre les deux appareils installés au niv2 :

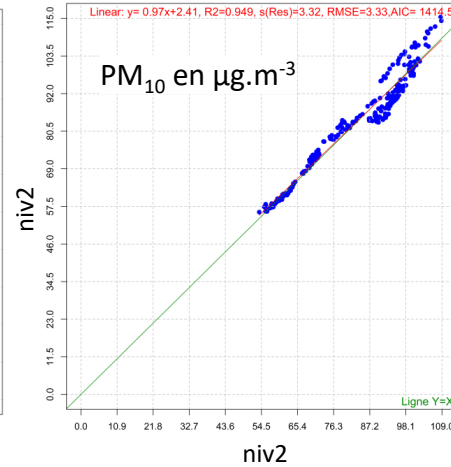
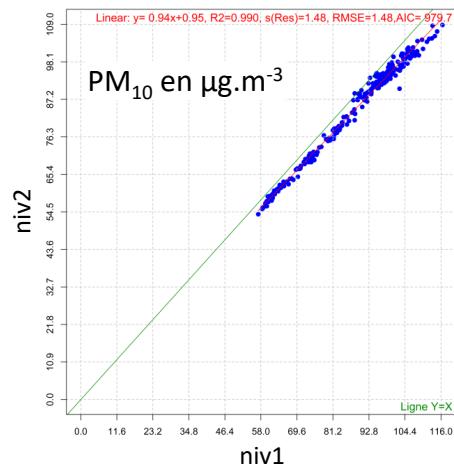
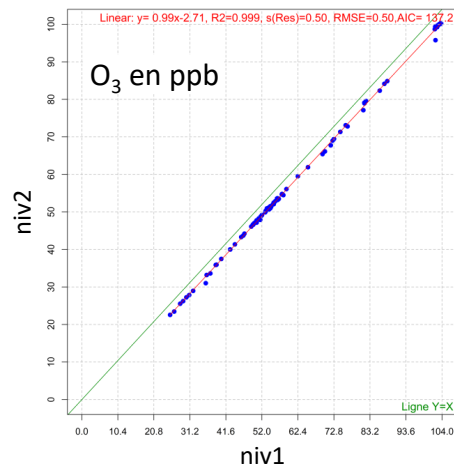
=> mesures homogènes malgré la configuration *cascade*.

Résultats détaillés : configuration n°2 : division



Pente et R^2 proche de 1 pour l'ensemble des comparaisons **niv1 VS niv2** :

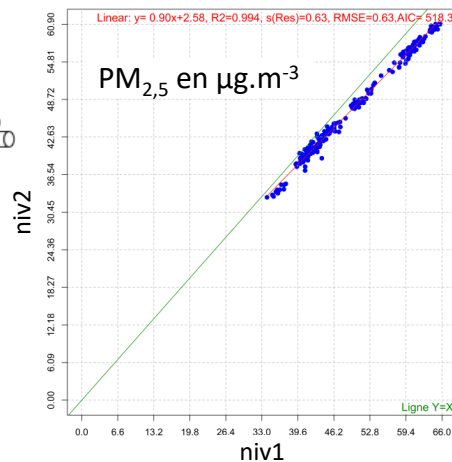
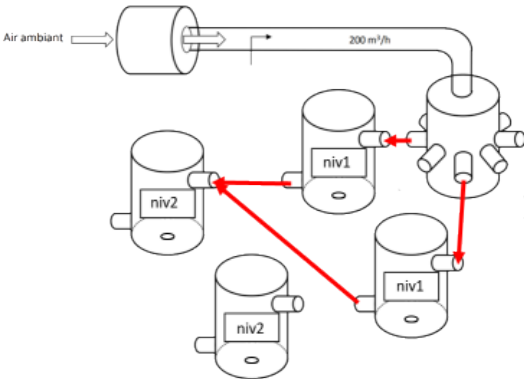
=> pas d'impact de la configuration *division* sur la qualité de la mesure.



Pente et R^2 proche de 1 pour la comparaison entre les **deux appareils** installés au **niv2** :

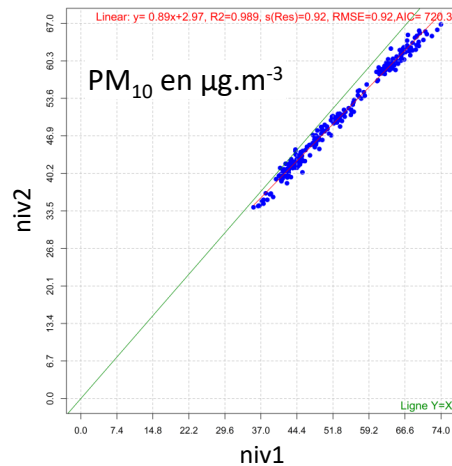
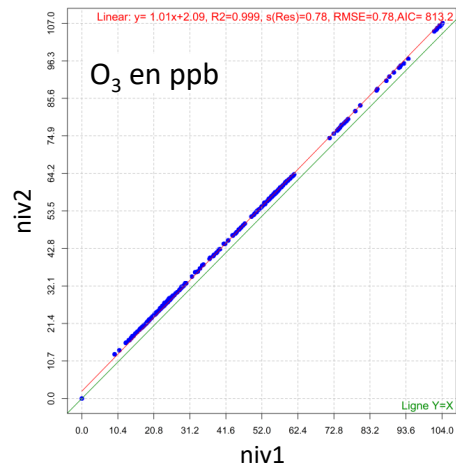
=> mesures homogènes malgré la configuration *division*.

Résultats détaillés : configuration n°3 : recombinaison

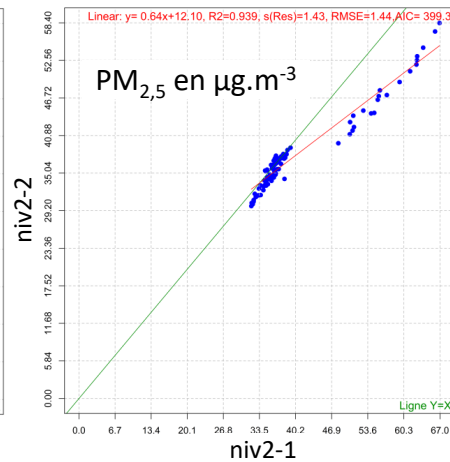
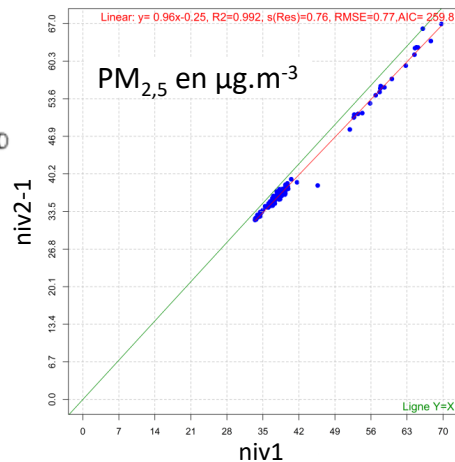
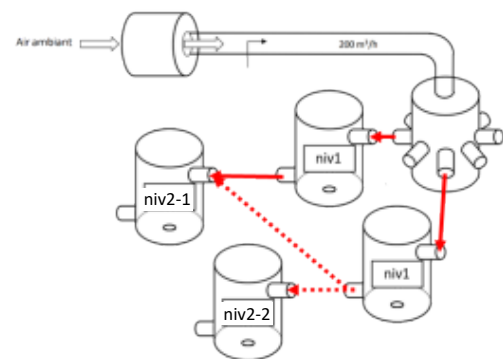


Pente et R^2 proche de 1 pour l'ensemble des comparaisons **niv1 VS niv2** :

=> pas d'impact de la configuration *recombinaison* sur la qualité de la mesure

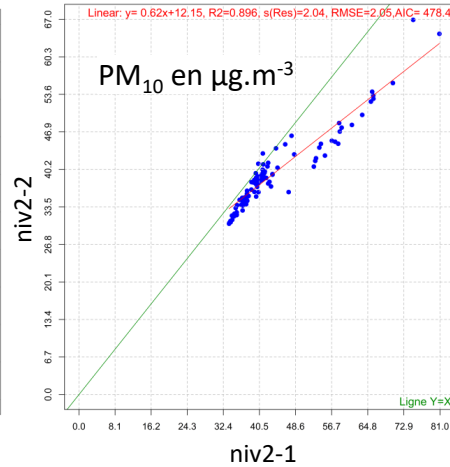
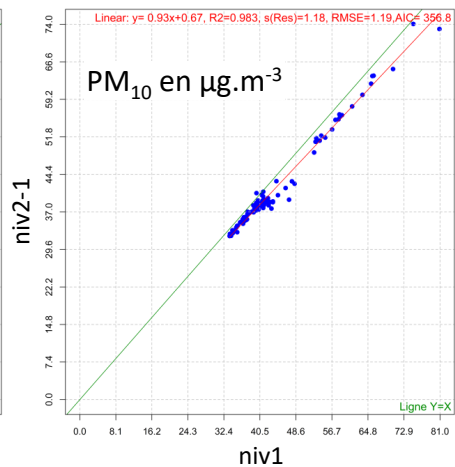
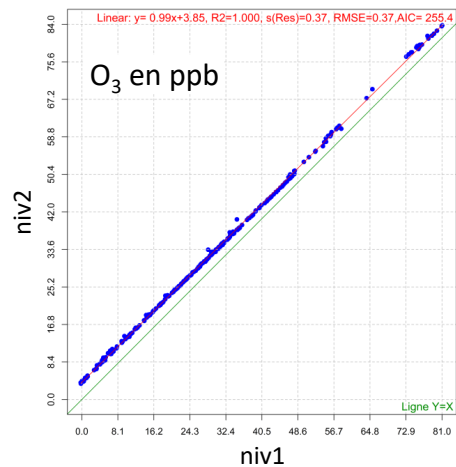


Résultats détaillés : configuration n°4 : recombinaison partielle



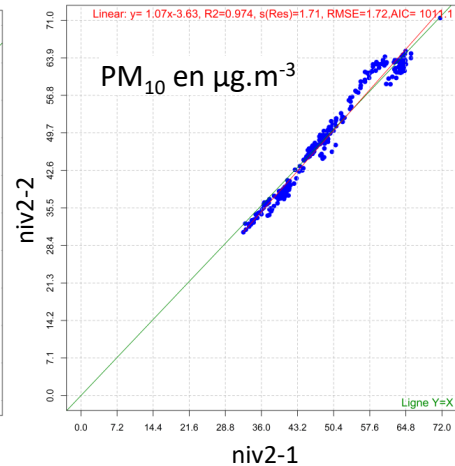
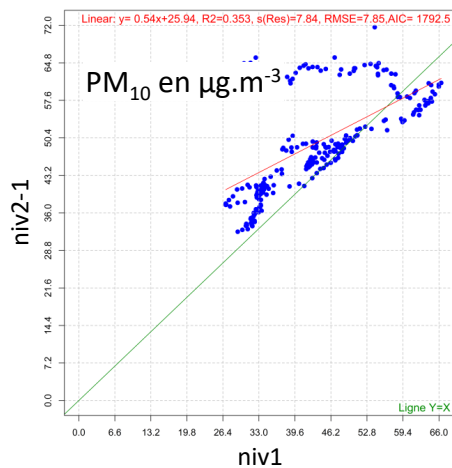
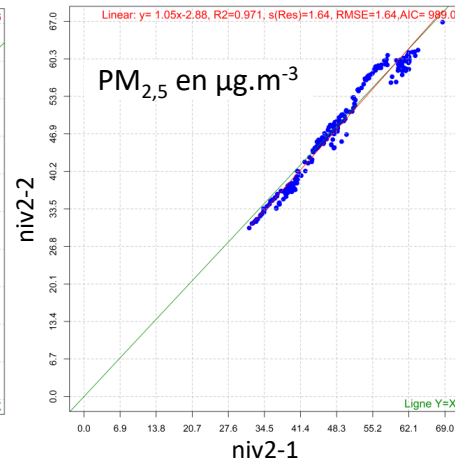
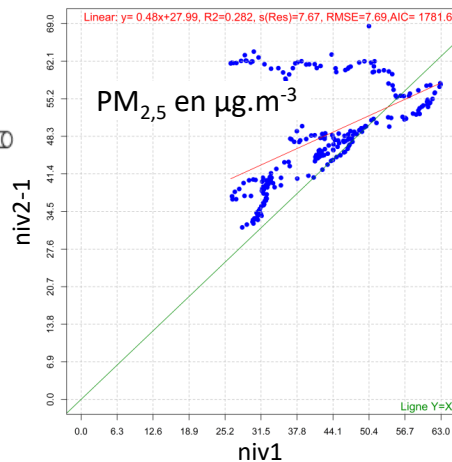
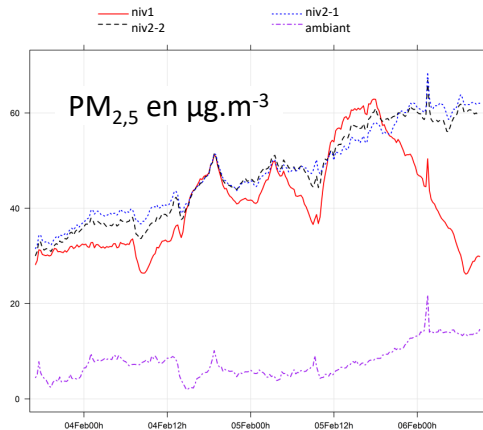
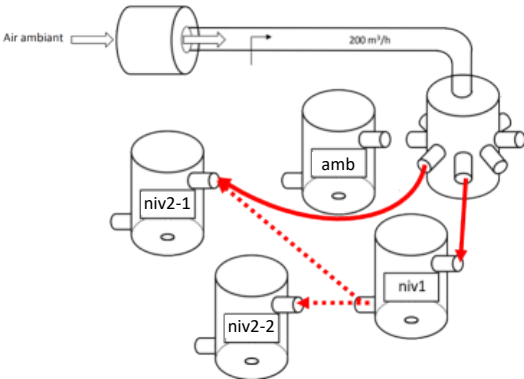
Pente et R^2 proche de 1 pour l'ensemble des comparaisons **niv1 VS niv2** :

=> pas d'impact de la configuration *recombinaison partielle* sur la qualité de la mesure.



R^2 proche de 1 pour la comparaison entre les **deux appareils** installés au **niv2** mais nette sous-estimation de la concentration pour l'appareil installé en niv 2-2 et ne recevant que partiellement le niv1, en particulier pour les concentrations élevées caractéristiques du dopage.

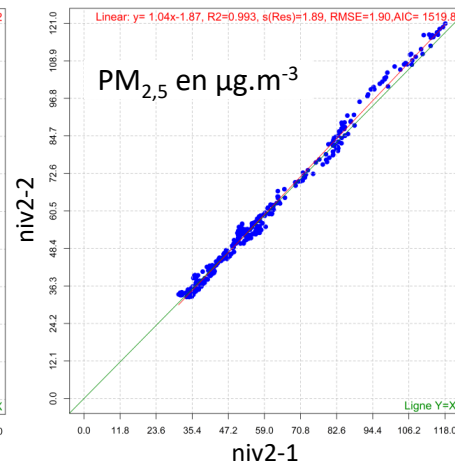
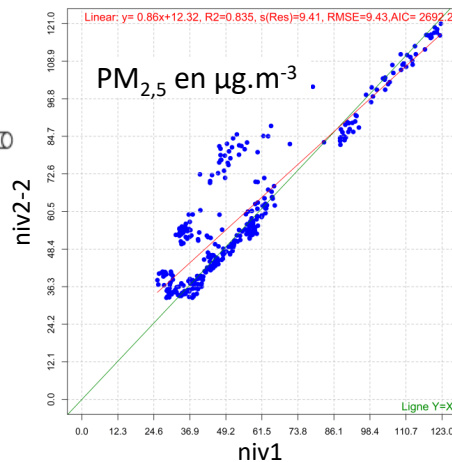
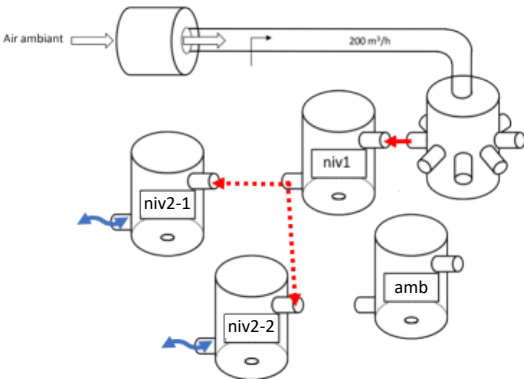
Résultats détaillés : configuration n°5 : ajout



Les **pent**es des graphiques de comparaison entre le niv1 et le niv2-1 montre une forte sous-estimation de l'appareil de niv2-1 pour les 2 fractions particulières avec un **R²** sont **inférieurs à 0,4**. La série temporelle montre une variation de concentration importante visible sur le niv1 mais non détectée par les niv2-1 et niv2-2.

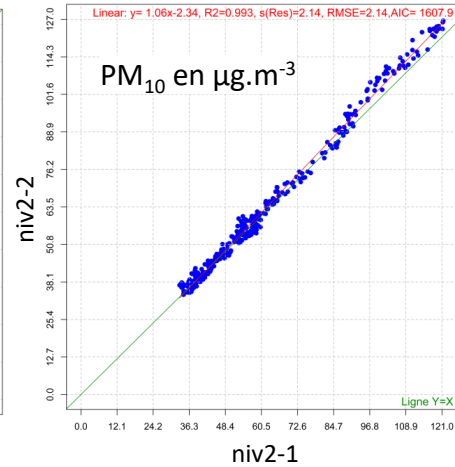
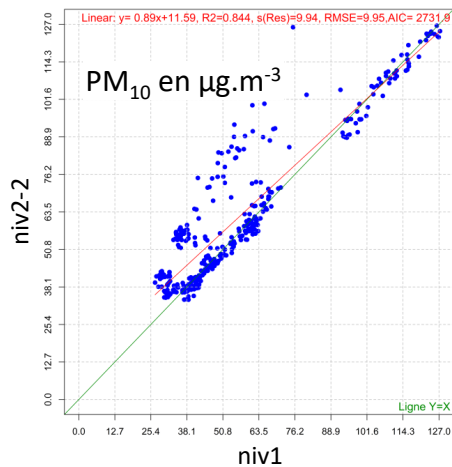
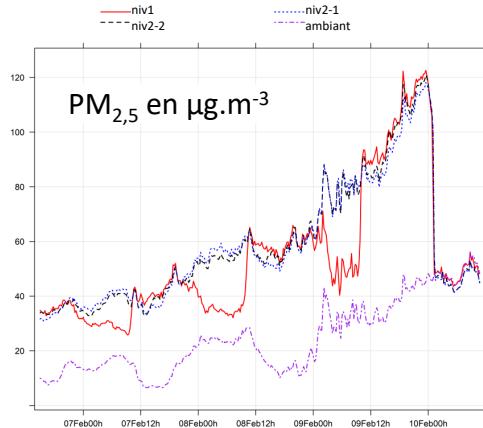
Pente et **R²** proche de **1** pour la comparaison entre les **deux appareils** installés au **niv2** :
=> mesures homogènes malgré la configuration *ajout*.

Résultats détaillés : configuration n°6 : instable



Pente et R^2 proche de 1 pour l'ensemble des comparaisons **niv1 VS niv2** malgré des variations de concentrations présente au niv1 mais pas au niv2 :

=> pas ou peu d'impact de la configuration *instable* sur la qualité de la mesure.



Pente et R^2 proche de 1 pour la comparaison entre les **deux appareils** installés au **niv2** :

=> mesures homogènes malgré la configuration *instable*.

Polluant – Config.	Pente	R ²	Conc. min.	Conc. max.	Conc. moy.
O ₃ - cascade	0,99	1,00	0 ppb	101 ppb	47 ppb
PM _{2,5} - cascade	0,91	0,97	25 µg.m ⁻³	54 µg.m ⁻³	38 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - cascade	0,91	0,97	26 µg.m ⁻³	56 µg.m ⁻³	39 µg.m ⁻³
O ₃ - division	0,99	1,00	25 ppb	104 ppb	61 ppb
PM _{2,5} - division	0,94	0,99	57 µg.m ⁻³	115 µg.m ⁻³	86 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - division	0,94	0,99	57 µg.m ⁻³	116 µg.m ⁻³	87 µg.m ⁻³
O ₃ - recomb.	1,01	1,00	0 ppb	104 ppb	36 ppb
PM _{2,5} - recomb.	0,90	0,99	34 µg.m ⁻³	66 µg.m ⁻³	50 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - recomb.	0,89	0,99	35 µg.m ⁻³	74 µg.m ⁻³	53 µg.m ⁻³
O ₃ - recomb. part.	0,99	1,00	0 ppb	81 ppb	30 ppb
PM _{2,5} - recomb. part.	0,96	0,99	33 µg.m ⁻³	70 µg.m ⁻³	42 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - recomb. part.	0,93	0,98	34 µg.m ⁻³	81 µg.m ⁻³	44 µg.m ⁻³
PM _{2,5} - ajout	0,48	0,28	26 µg.m ⁻³	63 µg.m ⁻³	41 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - ajout	0,54	0,35	27 µg.m ⁻³	66 µg.m ⁻³	43 µg.m ⁻³
PM _{2,5} - instable	0,86	0,83	26 µg.m ⁻³	123 µg.m ⁻³	54 µg.m ⁻³
PM ₁₀ - instable	0,89	0,84	27 µg.m ⁻³	127 µg.m ⁻³	57 µg.m ⁻³

Ce tableau regroupe les valeurs de **pente** et de **coefficient de corrélation (R²)** obtenu par comparaison des mesures entre un appareil installé au niveau 1 (au plus proche de répartiteur central) et 1 appareil installé au niveau 2. La **pente** fournie une information sur la **différence de concentration** entre les deux niveaux de dopage.

Le **R²** nous renseigne sur la **dispersion des points**.

Ce tableau reprend également les concentrations minimums, maximums et moyennes montrant la gamme de concentration couverte par cette étude.

Pour la grande majorité des configurations, les résultats montrent que la configuration n'a **pas d'impact** sur la concentration mesurées (pente et R^2 proches de 1), gaz ou PM indistinctement.

Seuls les essais réalisés en configuration 5 « *ajout* » et 6 « *instable* » présentent des résultats montrant une hétérogénéité entre le niveau 1 (au plus proche du répartiteur central) et le niveau 2.

Dans ces deux cas, cet écart s'explique par des variations de concentration visibles uniquement au niveau le plus proche du répartiteur central, alors que la concentration mesurée au second niveau reste stable ou croissante. Il ne semble de ce fait pas attribuable à la configuration en cascade des cloches de dopage.

Ainsi, aucun impact de l'utilisation des cloches de dopage en cascade n'a été observé sur la dispersion des concentrations inter-cloches.

L'Ineris a étudié la possibilité d'utiliser son système de dopage de matrice réelle, en particulier suite à ses récents travaux sur les sources de PM, afin d'évaluer les performances de mesures de systèmes capteurs utilisés en configuration réseaux. Cette étude de faisabilité cherchait à évaluer l'impact de l'utilisation des cloches de dopage en cascade sur la dispersion des concentrations inter-cloches, évaluée à l'aide de compteurs optiques (Fidas 200) pour les PM et d'analyseurs d'ozone (NF EN 14625).

Pour la grande majorité des configurations d'agencement des cloches de dopages, les résultats ne montrent **aucun impact** sur la dispersion des concentrations inter-cloches (pente et R^2 proches de 1), gaz ou PM indistinctement.

Seuls les essais réalisés en configuration 5 « *ajout* » et 6 « *instable* » présentent des résultats montrant une hétérogénéité entre le niveau 1 (au plus proche du répartiteur central) et le niveau 2. Dans ces deux cas, cet écart s'explique par des variations de concentration visibles uniquement au niveau le plus proche du répartiteur central, alors que la concentration mesurée au second niveau reste stable ou croissante.

Il ne semble donc pas possible d'utiliser le dispositif expérimental de dopage de matrices réelles pour simuler un déploiement de capteurs en réseau.

En marge de l'objectif de cette étude, ces résultats confirment l'homogénéité des concentrations générées via le système de dopage d'air ambiant de l'Ineris et conforte son utilisation pour l'organisation de comparaison inter-laboratoires ou de tests d'instruments mettant en œuvre une utilisation en parallèle des cloches de dopage.