

EVALUATION DE L'IMPACT DU GCO SUR LA QUALITE DE L'AIR DES COMMUNES DE DUPPIGHEIM, DUTTLENHEIM, ERNOLSHEIM-BRUCHE ET KOLBSHEIM

Campagne 2022 et comparaison à l'état initial de 2021



Rapport d'étude
Version 1.0

Evaluation de l'impact du GCO sur la qualité de l'air des communes de Duppigheim, Duttlenheim, Ernolsheim-Bruche et Kolbsheim

Campagne 2022 et comparaison à l'état initial de 2021

Clients :

Mairie de Duppigheim

48, rue du Général de Gaulle
67120 DUPPIGHEIM

Mairie de Duttlenheim

1, rue de l'école
67120 DUTTLENHEIM

Mairie de Kolbsheim

Rue de la Division Leclerc
67120 KOLBSHEIM

Mairie d'Ernolsheim-Bruche

2, rue Principale
67120 ERNOLSHEIM-BRUCHE

N° de dossier : 23-RA-01-MBA-01

N° de version : Version 1.0

Date de remise : Janvier 2023

Destinataires :

Mme MEBS

Présidente de l'association Duppigheim Qualité de Vie
03 88 50 86 14 / 06 28 21 36 81

monique.mebs@neuf.fr

M. HAEGY - Maire de Duppigheim

julien.haegy@duppigheim.fr

M. DENISTY - Maire de Duttlenheim

a.denisty@duttlenheim.fr

Mme Annie KESSOURI - Maire de Kolbsheim

annie.munch.kessouri@wanadoo.fr

M. FRANCHET - Maire d'Ernolsheim-Bruche

eric.franchet@ernolsheim-bruche.fr

Affaire suivie par :

Matthieu BAGARD

matthieu.bagard@biomonitor.fr

Ce rapport comporte **65 pages** y compris les annexes. La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	M. BAGARD	N. CLAVERI	J. MERSCH
Fonction	Responsable d'études	Responsable d'études	Gérant
Signature			

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	6
1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	7
2. DESCRIPTION DE L'ETUDE.....	7
2.1. Déroulement de la campagne	7
2.1.1. Calendrier des mesures	7
2.1.2. Nombre et localisation des stations de mesures.....	7
2.2. Méthode de mesure.....	9
2.3. Etalonnage des capteurs	11
2.4. Interprétation des résultats	12
3. DEROULEMENT DES CAMPAGNES DE MESURE	13
3.1. Conditions météorologiques	13
3.1.1. Campagne 2021.....	13
3.1.2. Campagne 2022.....	14
3.2. Taux de recouvrement des données	15
3.2.1. Campagne 2021.....	15
3.2.2. Campagne 2022.....	15
3.3. Capteurs déployés sur les stations	15
4. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN NO₂	17
4.1. Campagne 2021.....	17
4.2. Campagne 2022.....	18
4.3. Concentration en NO ₂ : comparaison à l'état initial	21
4.4. Concentration en NO ₂ : évolution des valeurs journalières	23
4.5. Bilan NO ₂	24
5. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN PM₁₀.....	25
5.1. Campagne 2021.....	25
5.2. Campagne 2022.....	26
5.3. Concentration en PM ₁₀ : comparaison à l'état initial.....	28
5.4. Concentration en PM ₁₀ : évolution des valeurs journalières	30
5.5. Evolution du profil journalier de la concentration en PM ₁₀	31
5.6. Bilan PM ₁₀	32
6. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN PM_{2.5}	33
6.1. Campagne 2021.....	33
6.2. Campagne 2022.....	34
6.3. Concentration en PM _{2.5} : comparaison à l'état initial	35
6.4. Concentration en PM _{2.5} : évolution des valeurs journalières.....	36
6.5. Evolution du profil journalier de la concentration en PM _{2.5}	37
6.6. Bilan PM _{2.5}	39
7. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN PM₁	40
7.1. Campagne 2021.....	40

7.2. Campagne 2022.....	41
7.3. Concentration en PM _{1.0} : comparaison à l'état initial	41
7.4. Bilan PM _{1.0}	42
8. BILAN	43
ANNEXES	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du domaine d'étude sur le tracé du GCO et des stations de mesure de la qualité de l'air sur le domaine d'étude et des stations de référence ATMO Grand Est les plus proches.....	8
Figure 2. Station ETHERA NEMo pour la surveillance de la qualité de l'air ambiant et capteurs NO ₂ et PM.....	10
Figure 3. Paramètres météorologiques journaliers enregistrés à Strasbourg-Entzheim pendant la campagne 2021, du 20 octobre au 04 novembre 2021 (source : Infoclimat)	13
Figure 4. Paramètres météorologiques journaliers enregistrés à Strasbourg-Entzheim pendant la campagne 2022, du 25 octobre au 08 novembre 2022 (source : Infoclimat)	14
Figure 5. Concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial)	17
Figure 6. Concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 en moyenne par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35	18
Figure 7. Concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal)	19
Figure 8. Données brutes de concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO après ouverture.....	20
Figure 9. Concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 en moyenne par les stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35 (influence trafic routier)	21
Figure 10. Concentrations en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est du nord-est Alsace, Strasbourg Nord et Strasbourg A35.....	22
Figure 11. Profil journalier de concentration en NO ₂ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO et sur trois stations ATMO Grand Est de référence	23
Figure 12. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO.....	25
Figure 13. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 en moyenne par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35	26
Figure 14. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO.....	27
Figure 15. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 en moyenne par les stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35 (influence trafic routier)	28
Figure 16. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est de Strasbourg nord et Strasbourg A35.....	29
Figure 17. Concentrations en PM ₁₀ (moyennes journalières en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est de Strasbourg nord et A35	31
Figure 18. Profil journalier de concentration en PM ₁₀ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO (moyenne des huit stations) et sur deux stations ATMO Grand Est de référence.....	32
Figure 19. Concentrations en PM _{2,5} (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf	33
Figure 20. Concentrations en PM _{2,5} (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf	34

Figure 21. Concentrations en PM _{2.5} (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf	35
Figure 22. Concentrations en PM _{2.5} (moyennes journalières en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf	37
Figure 23. Profil journalier de concentration en PM _{2.5} (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO (moyenne des huit stations) et sur la station ATMO Grand Est de référence de Strasbourg Neudorf.....	38
Figure 24. Concentrations en PM ₁ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO.....	40
Figure 25. Concentrations en PM ₁ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO.....	41
Figure 26. Concentrations en PM ₁ (moyennes horaires en µg/m ³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO.....	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description des stations de mesure.....	9
Tableau 2. Correspondance stations / capteurs lors des campagnes 2021 et 2022	16

1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

L'A355, ou Contournement Ouest de Strasbourg (COS) ou encore Grand Contournement Ouest (GCO), est un segment autoroutier qui contourne l'agglomération strasbourgeoise par l'ouest. L'objectif du projet est de délester une partie du trafic de l'A35 qui, dans sa traversée de Strasbourg (M35), absorbe 160 000 véhicules par jour en moyenne, dont 15 % de poids lourds. Le tracé de l'A355 court sur 24 km entre les raccordements autoroutiers A4/A35 au nord et A352/A35 au sud, en traversant le territoire de 22 communes. Débutés en 2018, les travaux se sont achevés fin 2021. La mise en service de l'A355 a eu lieu en décembre 2021.

Le bureau d'études **BioMonitor** a été sollicité par l'association Duppigheim Qualité de Vie (DQV) et par les communes de Duppigheim, Kolbsheim, Ernolsheim-Bruche et Duttlenheim pour la réalisation d'une étude de la qualité de l'air sur le territoire de ces quatre communes traversées par le GCO. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact du trafic routier empruntant le GCO sur la qualité de l'air du domaine d'étude. Pour cela, des mesures de polluants atmosphériques associés au trafic routier (dioxyde d'azote NO₂ et particules en suspension PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁) ont été réalisées en octobre/novembre 2021 avant la mise en service de l'autoroute (définition de l'état initial) et en octobre/novembre 2022, soit dix mois après l'ouverture de l'infrastructure en période de fonctionnement normal. La comparaison des résultats des deux campagnes doit permettre d'évaluer si l'ouverture du GCO a des conséquences sur la qualité de l'air des quatre communes étudiées.

2. DESCRIPTION DE L'ETUDE

2.1. Déroulement de la campagne

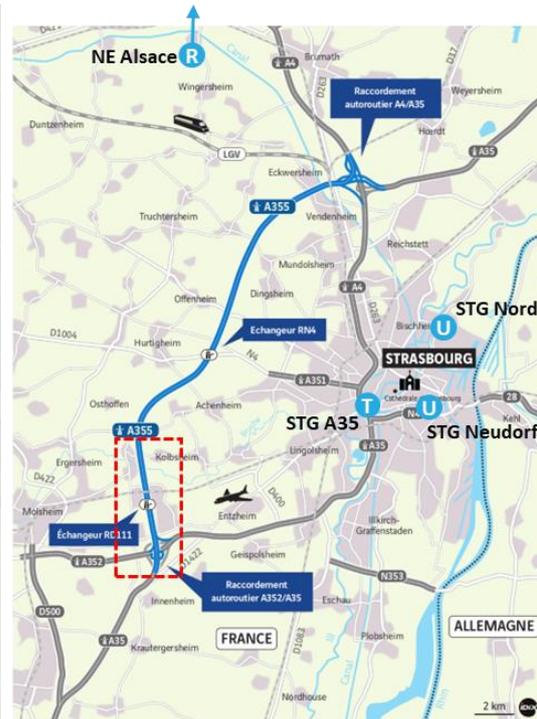
2.1.1. Calendrier des mesures

La campagne de mesure **2021 (état initial)** a eu lieu du **20 octobre au 4 novembre 2021**, un peu plus d'un mois avant l'ouverture du GCO. La campagne de mesure **2022 (trafic nominal)** s'est déroulée du **25 octobre au 08 novembre 2022**, dix mois après la mise en service du GCO avec un trafic qui a atteint son intensité nominale. Les deux campagnes ont été conduites à la même période de l'année sur une durée de **deux semaines**.

2.1.2. Nombre et localisation des stations de mesures

La localisation des **huit stations** est présentée sur la **figure 1** ci-après. Les stations sont décrites et illustrées en **annexe 1**. Les stations ont été définies en concertation avec l'association DQV et les mairies des quatre communes impliquées. L'emplacement des stations a été validé en considérant l'environnement immédiat du point de mesure de façon à respecter les recommandations du référentiel technique national en matière de surveillance de la qualité de l'air¹.

¹ Référentiel Technique National, arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, <https://www.lcsqa.org/fr/referentiel-technique-national>



Stations de mesure NO₂ et PM

- R NE Alsace (station rurale / fond)
- U Strasbourg Nord (station urbaine / fond)
- U Strasbourg Neudorf (station urbaine / fond)
- T Strasbourg A35 (station urbaine / trafic)
- Domaine d'étude GCO
- X Stations GCO

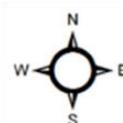


Figure 1. Localisation du domaine d'étude sur le tracé du GCO et des stations de mesure de la qualité de l'air sur le domaine d'étude et des stations de référence ATMO Grand Est les plus proches

Le **tableau 1** ci-après présente les caractéristiques des différentes stations de mesure de la qualité de l'air. Le champ « implantation des stations » correspond à la typologie d'occupation du sol au voisinage des points de mesure selon le référentiel Corine Land Cover (2018). La densité de population a été déterminée sur une zone de 600 m de côté (0,36 km²) centrée sur la station, sur la base des données de l'INSEE (2015). La distance à l'A35 est la distance la plus courte séparant le point de mesure de la limite de voirie de l'autoroute. Le trafic routier est décrit par trois niveaux d'intensité : faible pour des rues peu empruntées, parfois en extrémité de voie sans issue (stations 3, 7, 13 et 14) ; modérée pour

une rue du centre de Kolbsheim (station 16) ; élevée pour des axes fréquentés, notamment par des poids lourds (stations 6 sur la D392 à l'entrée de Duttlenheim et station 10 sur l'avenue Jean Prêcheur au cœur du parc d'activités de la Plaine de la Bruche).

Tableau 1. Description des stations de mesure

N°	Dénomination	Coordonnées GPS	Implantation	Densité de population (hab./km ²)	Distance / GCO (m)	Trafic routier
2	Duppigheim Rue des Roses	48°31'37.7"N 07°35'04.0"E	Tissu urbain discontinu	210	240	Faible
4	Duppigheim Lot. Platanes	48°32'08.4"N 07°35'24.6"E	Tissu urbain discontinu	630	800	Faible
6	Duttlenheim Rue De Gaulle	48°31'21.8"N 07°34'26.3"E	Tissu urbain discontinu	430	530	Elevé Poids lourds
7	Duttlenheim Collège Copernic	48°31'53.2"N 07°34'19.5"E	Tissu urbain discontinu	140	570	Faible
10	Duppigheim ZAC Plaine de la Bruche	48°32'37.6"N 07°34'43.7"E	Zone industrielle et commerciale	<10	70	Elevé Poids lourds
13	Ernolsheim-Bruche Rue des Acacias	48°33'09.2"N 07°34'21.0"E	Tissu urbain discontinu	770	240	Faible
14	Ernolsheim-Bruche Rue des Alouettes	48°33'44.1"N 07°34'14.0"E	Tissu urbain discontinu	610	330	Faible
16	Kolbsheim Rue des Noyers	48°33'41.2"N 07°35'03.1"E	Tissu urbain discontinu	1260	650	Modéré

2.2. Méthode de mesure

Dans la cadre de cette étude, la mesure des concentrations en polluants dans l'air ambiant est réalisée au moyen de stations connectées **ETHERA NEMo (figure 2)**, appareil lauréat du challenge AIRLAB Microcapteurs 2021 dans la catégorie « Air Extérieur »².

Même si les micro-capteurs ne sont pas encore homologués pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air, des études comparatives réalisées par des AASQA³ ont jugé satisfaisantes leur fiabilité, leur reproductibilité et leur précision en comparaison aux données avec les méthodes de référence^{4,5}. Aussi, l'usage de micro-capteurs apparait comme une solution pertinente pour la réalisation des mesures indicatives de la qualité de l'air sur un nombre élevé de sites, en complément aux méthodes de référence très coûteuses et réservées à un nombre réduit de stations fixes.

² AIRLAB & AIRPARIF (novembre 2021). Challenge Micro-Capteurs 2021, <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsFR/>

³ AASQA : association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air

⁴ Air Breizh (Mai 2020). Evaluation des micro-capteurs next-PM/NEMo TERA Environnement -Campagnes de mesures janvier/février 2020

⁵ AIRLAB & AIRPARIF (janvier 2020). Challenge Micro-Capteurs 2019



Figure 2. Station ETHERA NEMO pour la surveillance de la qualité de l'air ambiant et capteurs NO₂ et PM

Chaque station est équipée :

- de micro-capteurs qui assurent la mesure du NO₂, des particules en suspension et d'un ensemble de paramètres climatiques (température, pression, humidité) ;
- d'un microprocesseur assurant le traitement des signaux électriques provenant des capteurs, leur conversion en données de concentration et leur stockage sous format numérique ;
- d'un émetteur assurant la transmission des données sur un *cloud*.

La station est placée dans un abri la protégeant de la pluie tout en permettant la diffusion des polluants. L'ensemble est fixé sur un support (mobilier urbain, lampadaire, panneau, etc.) à une hauteur comprise entre 1,5 et 3 mètres. Le dispositif est alimenté par un panneau solaire fixé sur le même support.

La mesure du **NO₂** est assurée par un capteur électrochimique dont la gamme de mesure est comprise entre 0 et 20 ppm, avec une limite de détection de 15 ppb et une incertitude de mesure de 15 %. La conversion des données en ppb en concentration exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est effectuée en post-traitement en tenant compte de la température et de la pression atmosphérique enregistrées au moment de la mesure.

La mesure des particules en suspension (**PM₁₀**, **PM_{2.5}** et **PM_{1.0}**) est assurée par un capteur optique Next-PM (TERA Sensor) dont la gamme de mesure est comprise entre 0 et 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une limite de détection et une incertitude de mesure de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les limites de détection des capteurs sont compatibles avec les niveaux en NO₂ et PM attendus dans l'air ambiant et avec les valeurs repères auxquelles les résultats devront être comparés.

Pendant les deux périodes de mesure, les données ont été enregistrées à une **fréquence de 10 min**. Ces enregistrements sont ensuite intégrés pour déterminer des moyennes horaires et journalières.

2.3. Etalonnage des capteurs

Pour assurer la reproductibilité des mesures, s'assurer de l'absence de dérive des capteurs et valider les résultats pour garantir la possibilité de les interpréter au regard des valeurs réglementaires, les huit stations NEMo ont été installées pendant trois jours avant et après la campagne de mesure sur un même site à proximité d'une station de référence opérée par ATMO Grand Est. Cette station de typologie de fond urbain est implantée à Metz Borny (57). Le site d'étalonnage et la station de référence sont présentés en **annexe 2**. Les données horaires de NO₂ et de PM₁₀ enregistrées par cette station ont été extraites de la base de données nationale de la qualité de l'air Geod'air⁶ mise en œuvre par l'INERIS.

Les données horaires de NO₂ et de PM₁₀ enregistrées par les stations NEMo pendant la période d'étalonnage ont été normalisées par rapport aux valeurs mesurées par la station de référence à l'aide d'une méthode de traitement combinant réduction de ligne de base et mise à l'échelle des signaux. Les paramètres de correction propres à chaque capteur ont ensuite été appliqués aux données mesurées pendant la campagne de mesure au voisinage du GCO. Pour les PM_{2.5} et les PM_{1.0}, qui ne sont pas mesurées sur la station de référence, la correction des capteurs repose sur une normalisation des signaux de chaque capteur par rapport à la moyenne des valeurs enregistrées par les huit capteurs pendant la période d'étalonnage. La méthode de normalisation est identique à celle appliquée aux données de NO₂ et PM₁₀ (réduction de la ligne de base et mise à l'échelle des signaux).

La comparaison des résultats obtenus lors des périodes d'étalonnage réalisées en 2021 avant et après la campagne de mesure sur le terrain n'a pas révélé de dérive significative des capteurs. Seuls les coefficients correctifs établis lors de l'étalonnage pré-campagne ont donc été appliqués en 2021 et en 2022. Les résultats de l'étalonnage sont détaillés en **annexes 3** (campagne 2021) et **4** (campagne 2022).

⁶ Ministère de la Transition Ecologique, INERIS, LCSQA, Atmo France, <https://www.geodair.fr>

2.4. Interprétation des résultats

Du point de vue réglementaire, les niveaux estimés de concentrations de polluants dans l'air sont comparés aux valeurs limites, objectifs de qualité de l'air, niveaux de recommandation et d'alerte définis par les directives européennes et dans la réglementation nationale. Les critères nationaux de qualité de l'air sont définis dans le Code de l'environnement (articles R221-1 à R221-3).

Pour la campagne 2022, il s'agira en particulier :

- de comparer les concentrations en NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} aux valeurs limites définies dans la directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 et au décret n°2010-1250 du 21/10/2010 ;
- d'interpréter les résultats sur la base des conditions météorologiques locales, des conditions de circulation et du niveau d'activité d'autres sources potentielles (agriculture, chauffage domestique, etc.) ;
- de comparer les résultats avec ceux observés par ATMO Grand Est sur le territoire du Bas-Rhin ;
- de comparer les résultats avec ceux obtenus en 2021 (état initial).

3. DEROULEMENT DES CAMPAGNES DE MESURE

3.1. Conditions météorologiques

3.1.1. Campagne 2021

La **figure 3** ci-après présente les données météorologiques enregistrées pendant la période de mesure de la campagne 2021 au niveau de la station de Strasbourg-Entzheim située à 3 km à l'est du raccordement A355/A352 et représentative de la zone d'étude.

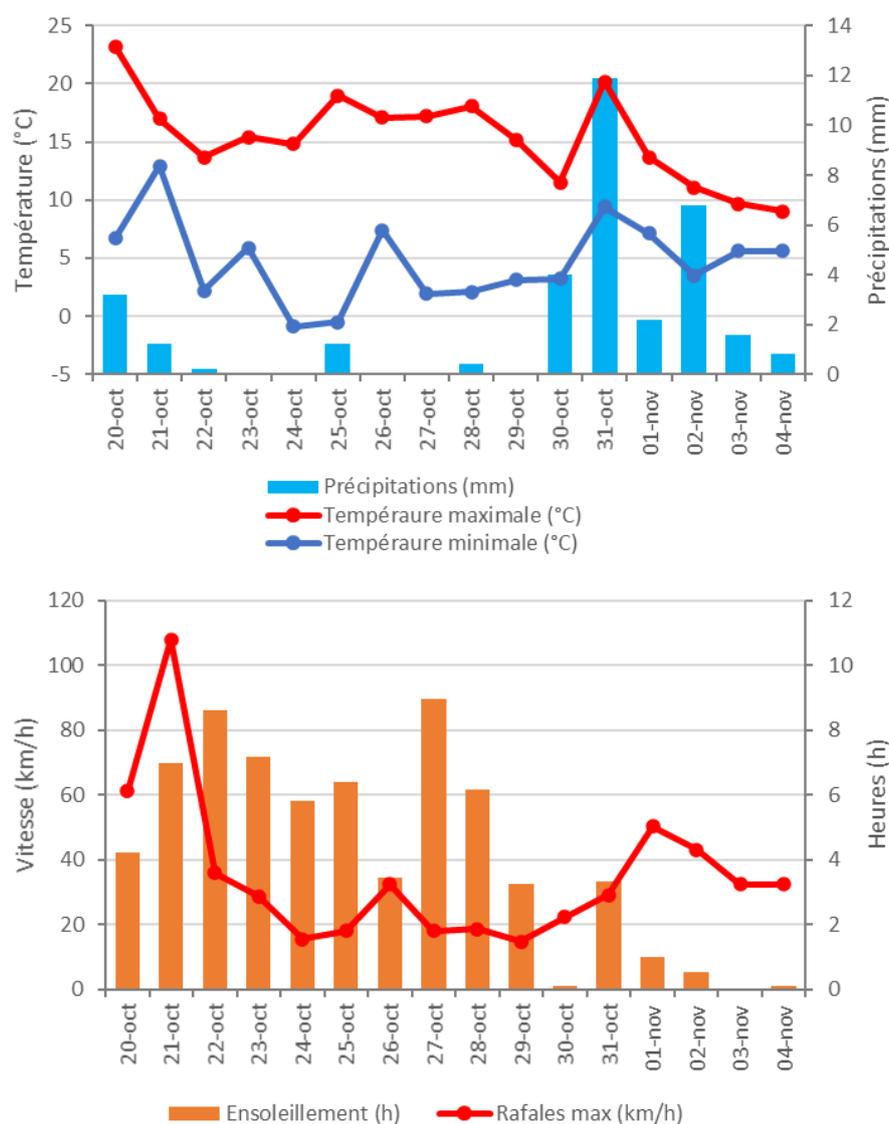


Figure 3. Paramètres météorologiques journaliers enregistrés à Strasbourg-Entzheim pendant la campagne 2021, du 20 octobre au 04 novembre 2021 (source : Infoclimat)

Les premiers jours de mesure ont été marqués par le passage d'une dépression, avec un temps agité et de fortes rafales de vent. Une situation de stabilité atmosphérique s'est ensuite installée jusqu'au 29 octobre, avec un temps clair et sec, accompagné de températures fraîches la nuit et plutôt douces

en journée. Les derniers jours de mesure correspondent à un temps plus agité, couvert et pluvieux. Pendant la campagne de mesure, le régime des vents sur le domaine d'étude a été dominé par des vents en provenance du sud. La zone d'étude est donc restée à l'abri des masses d'air provenant de l'agglomération strasbourgeoise. En plus des sources locales de polluants atmosphériques, le domaine d'étude a pu subir l'influence des villes de Sélestat et Colmar et du trafic routier de la partie centrale de la plaine d'Alsace (A35 et A352).

3.1.2. Campagne 2022

La **figure 4** ci-après présente les données météorologiques enregistrées pendant la campagne 2022 au niveau de la station de Strasbourg-Entzheim.

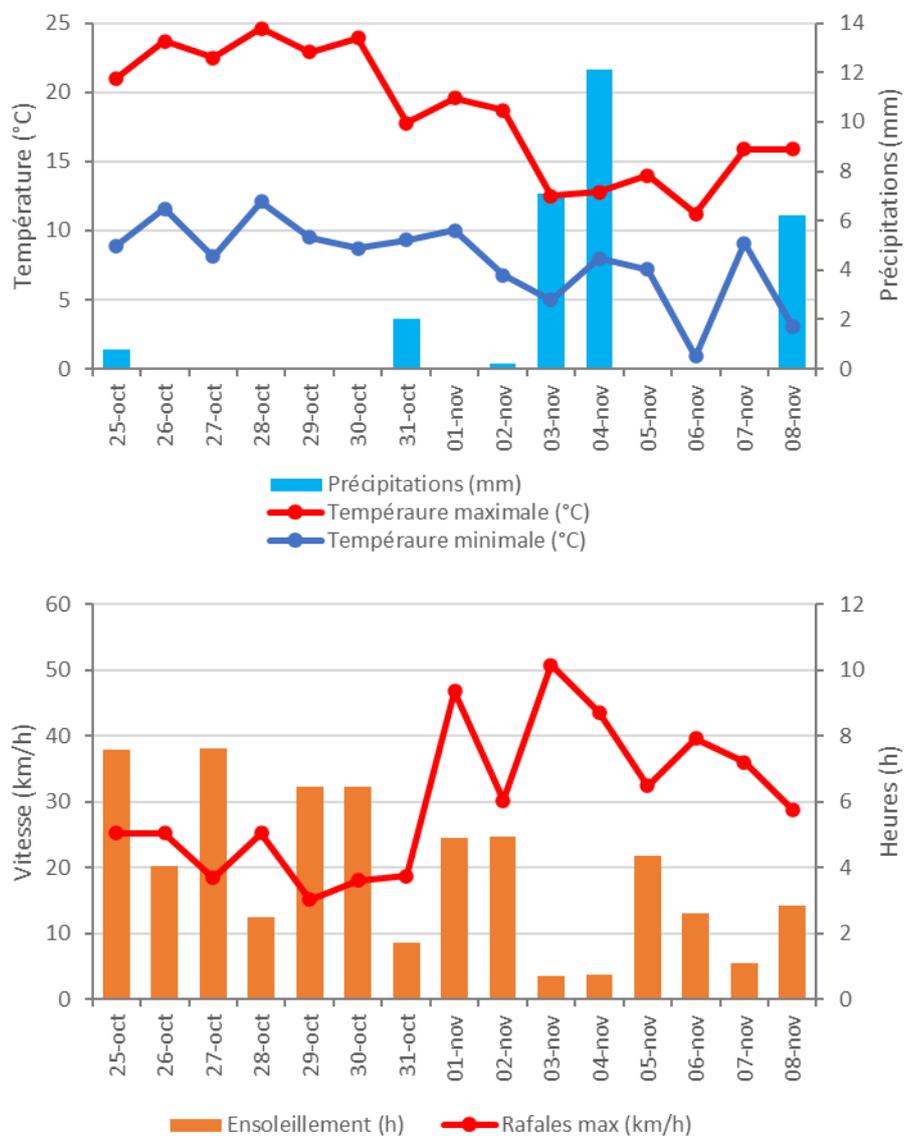


Figure 4. Paramètres météorologiques journaliers enregistrés à Strasbourg-Entzheim pendant la campagne 2022, du 25 octobre au 08 novembre 2022 (source : Infoclimat)

La première moitié de la période de mesure est caractérisée par un temps relativement ensoleillé et des températures douces pour la saison. La seconde partie de la campagne est marquée par une baisse des températures, avec un temps plus agité, couvert et pluvieux. Comme habituellement sur la zone d'étude, les vents proviennent principalement du sud. Comme en 2021, le domaine d'étude a été peu sous les vents de l'agglomération strasbourgeoise mais a pu être exposé à l'influence des villes de Sélestat et Colmar et du trafic routier de la partie centrale de la plaine d'Alsace (A35 et A352), qui peuvent s'ajouter à celle des sources locales de polluants atmosphériques.

3.2. Taux de recouvrement des données

3.2.1. Campagne 2021

Sur l'ensemble de la campagne de mesure 2021, le taux de recouvrement des données est compris entre 99,2 et 99,5 % pour sept des huit stations ETHERA NEMo. Ce taux est valable pour la totalité des paramètres mesurés (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, température, pression et humidité). Ces sept stations ont subi une seule interruption d'enregistrement des données d'une durée d'environ deux heures dans la matinée du 26 octobre 2021.

L'appareil CAC72 installé sur la station 13 (Ernolsheim-Bruche, rue des Acacias) a connu un défaut de charge par le panneau solaire qui a causé une coupure des enregistrements à partir du 24 octobre. Après recharge de sa batterie interne, le capteur a pu fonctionner à nouveau de façon temporaire le 25 octobre puis en continu du 26 au 30 octobre. Au total, cette station a fonctionné pendant 8 jours complets sur les 15 jours de mesure, avec un taux de recouvrement de 57,4 %.

3.2.2. Campagne 2022

Du 25 octobre au 08 novembre 2022, le taux de recouvrement des données est compris entre 99 et 100 % pour les huit stations ETHERA NEMo. Pour quatre stations, aucune interruption d'enregistrement n'a été relevée (taux de recouvrement de 100 %). Pour les quatre autres stations, seules quelques données manquantes dispersées ont été identifiées au cours de la période de mesure, aboutissant à un taux de recouvrement de 99 %.

3.3. Capteurs déployés sur les stations

La correspondance entre les stations de mesure et les capteurs dont l'étalonnage est décrit en **annexe 3** et **4** est donnée dans le **tableau 2** ci-après.

Tableau 2. Correspondance stations / capteurs lors des campagnes 2021 et 2022

N° station	Dénomination	Coordonnées GPS	Distance / GCO (m)	Campagne 2021	Campagne 2022
2	Duppigheim Rue des Roses	48°31'37.7"N 07°35'04.0"E	240	CAC71	CAC72
4	Duppigheim Lot. Platanes	48°32'08.4"N 07°35'24.6"E	800	CAC60	CAC106
6	Duttlenheim Rue De Gaulle	48°31'21.8"N 07°34'26.3"E	530	CAC61	CAC105
7	Duttlenheim Collège Copernic	48°31'53.2"N 07°34'19.5"E	570	CAC70	CAC71
10	Duppigheim ZAC Plaine de la Bruche	48°32'37.6"N 07°34'43.7"E	70	CAC73	CAC74
13	Ernolsheim-Bruche Rue des Acacias	48°33'09.2"N 07°34'21.0"E	240	CAC72	CAC73
14	Ernolsheim-Bruche Rue des Alouettes	48°33'44.1"N 07°34'14.0"E	330	CAC59	CAC117
16	Kolbsheim Rue des Noyers	48°33'41.2"N 07°35'03.1"E	650	CAC69	CAC100

4. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN NO₂

4.1. Campagne 2021

La **figure 5** ci-après présente les concentrations horaires en NO₂ mesurées du 20 octobre au 04 novembre 2021 sur les huit stations au voisinage du GCO. Les données présentées ici sont les concentrations corrigées selon les paramètres déterminés à l'issue de la phase d'étalonnage (cf. **annexe 3**).

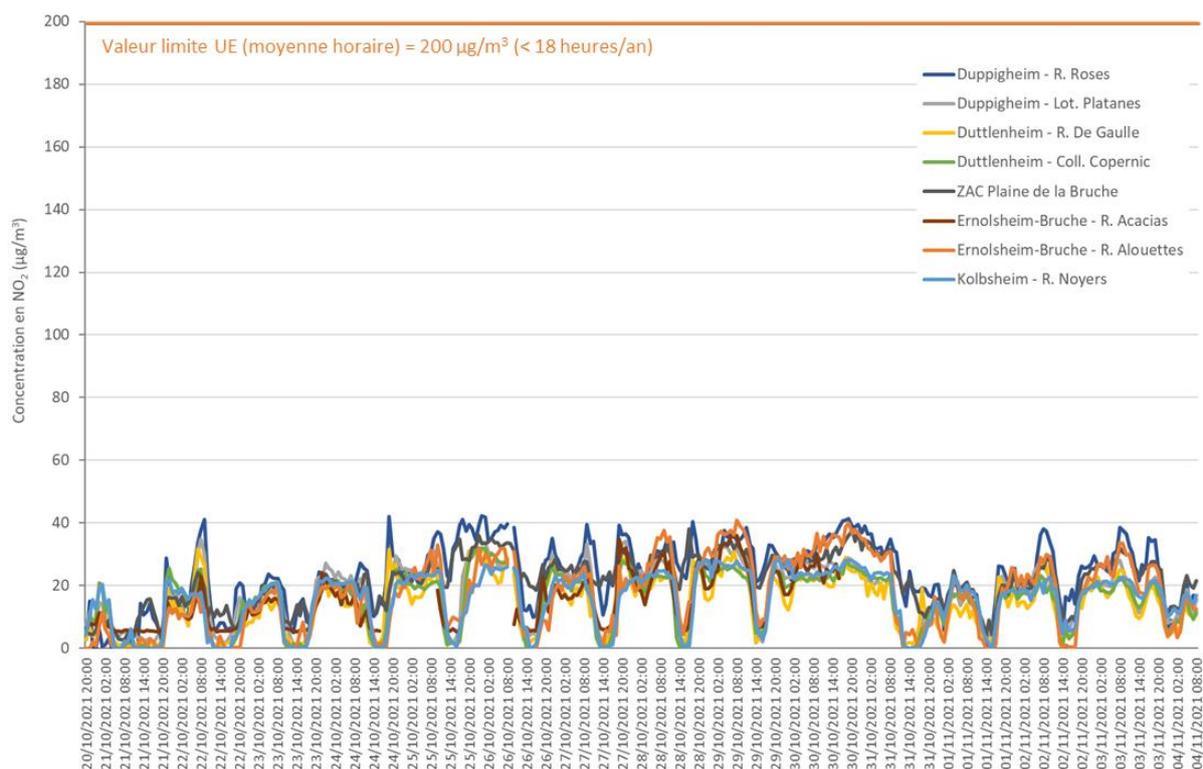


Figure 5. Concentrations en NO₂ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial)

L'évolution générale de la concentration en NO₂ au cours de la campagne de mesure reflète les conditions météorologiques observées sur la zone d'étude pendant cette période. Le temps agité des premiers jours a entraîné la dispersion des masses d'air, ce qui explique les concentrations relativement faibles mesurées en début de campagne. Le milieu de la campagne s'est déroulé dans des conditions météorologiques plus stables, ce qui a pour conséquence une concentration plus importante des polluants dans les masses d'air. La baisse des concentrations relevée lors des derniers jours de mesure correspond à un temps plus agité et pluvieux, moins favorable à l'accumulation des polluants atmosphériques.

L'allure générale des courbes diffère assez peu d'une station à l'autre. Si les tendances globales reflètent essentiellement la météorologie régionale, l'évolution de la concentration en NO₂ au cours de la journée traduit l'influence du trafic routier, avec deux hausses journalières peu marquées aux

heures de pointe, en début de matinée et en fin d'après-midi, et un creux en milieu d'après-midi. La concentration en NO_2 se maintient à un niveau relativement haut pendant la nuit.

Du point de vue quantitatif, les données enregistrées par les huit stations sont assez proches, avec des concentrations comprises entre 5 et $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aucun dépassement de la valeur limite réglementaire de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire (à ne pas dépasser plus de 18 heures par an) n'a été enregistré.

La **figure 6** ci-après permet de comparer la concentration en NO_2 mesurée le long du GCO (moyenne des données des huit stations) avec celle observée par la station ATMO Grand Est de Strasbourg à proximité de l'A35. Sur cette station placée sous influence du trafic routier, les variations journalières sont plus marquées et les concentrations maximales sont nettement supérieures à celles mesurées le long du GCO, avec des pics journaliers observés en fin d'après-midi. Ces résultats indiquent que le domaine d'étude avant ouverture du GCO était peu sous l'influence du trafic routier.

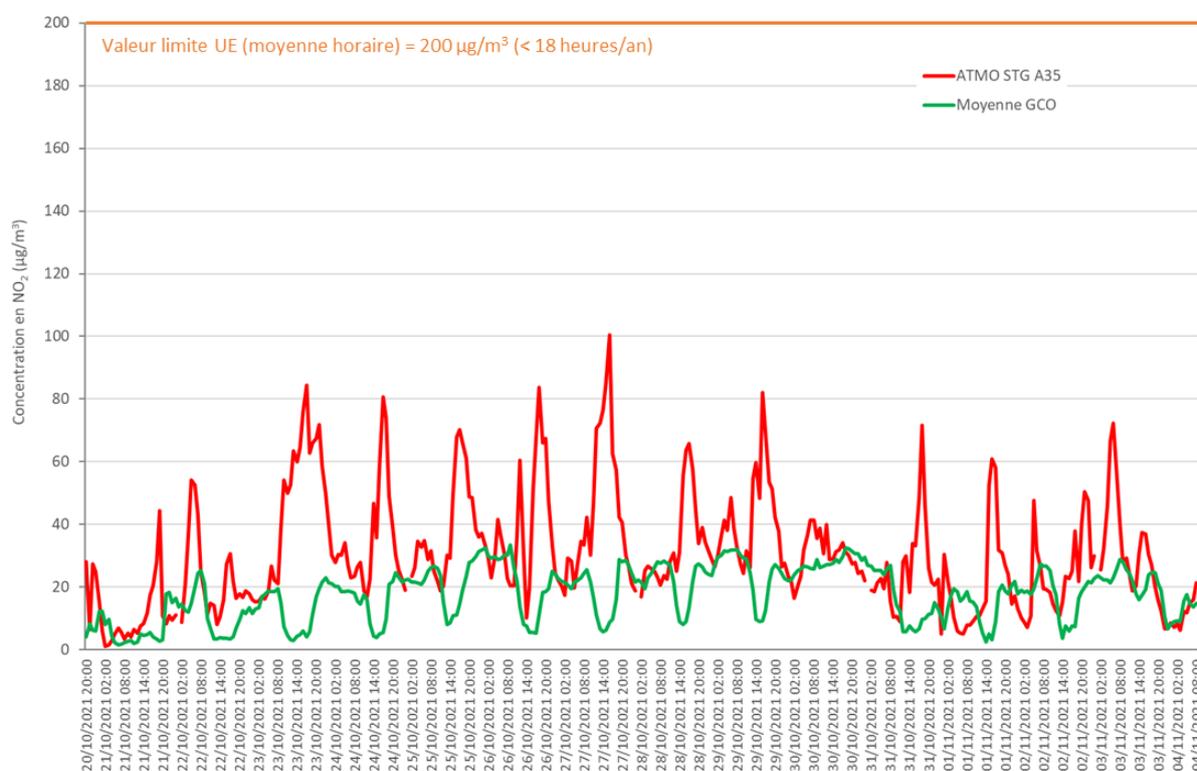


Figure 6. Concentrations en NO_2 (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 en moyenne par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35

4.2. Campagne 2022

La **figure 7** ci-après regroupe les concentrations horaires en NO_2 mesurées du 25 octobre au 08 novembre 2022 sur les huit stations au voisinage du GCO. Les données présentées ici correspondent aux concentrations corrigées selon les paramètres établis après étalonnage des capteurs (cf. **annexe 4**).

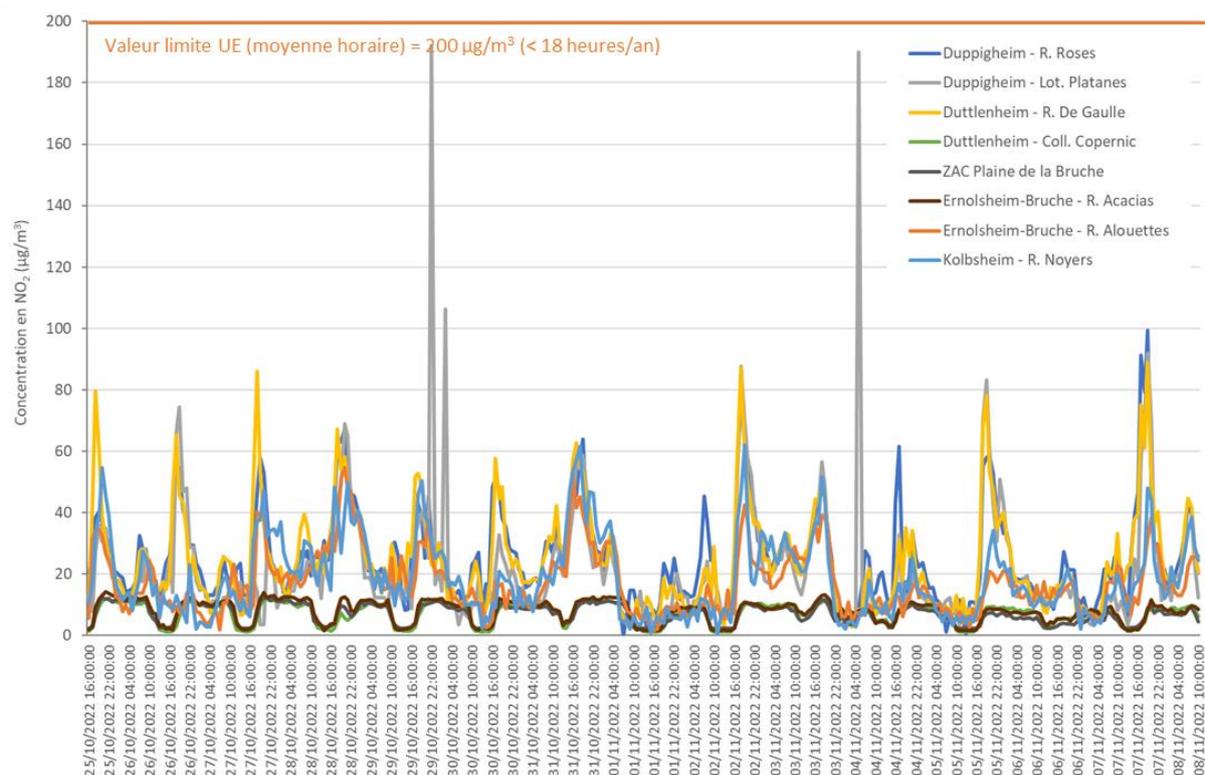


Figure 7. Concentrations en NO_2 (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal)

Pour cinq des huit stations, le profil journalier de la concentration en NO_2 est relativement régulier, avec des valeurs équivalentes d'une station à une autre. Sur ces stations, le profil journalier est marqué par un pic mineur en matinée qui atteint 20 à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suivi d'un pic majeur en fin d'après-midi autour de 60 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces deux pics correspondent aux heures de pointe du trafic routier. L'allure des profils journaliers diffère de celle observée en 2021. De même, les valeurs maximales relevées en 2022 sont plus élevées que celles mesurées en 2021. Sur la station Duppigheim – Lot. Platanes, on observe trois pics atteignant 190 et 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 29 octobre et 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 04 novembre. Ces valeurs hautes ne sont pas observées sur les autres stations et paraissent difficiles à expliquer.

Sur les trois stations restantes (Duttlenheim Collège, ZAC plaine de la Bruche et Ernolsheim-Bruche – R. des Acacias), les concentrations en NO_2 sont bien plus faibles que sur les cinq autres stations. Le profil journalier est dépourvu de pic et les valeurs restent comprises entre 0 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'examen des données d'étalonnage (**annexe 4**) et des données brutes (**figures 8 et 9** ci-après) indique que les capteurs de NO_2 installés sur ces trois stations produisent un signal brut plus fort que celui des cinq autres points de mesure. C'est par le biais de la correction du signal après étalonnage que ces stations affichent une concentration en NO_2 anormalement faible au regard des valeurs attendues sur la zone d'étude. L'analyse des signaux générés par ces trois capteurs est délicate : en valeurs brutes, ils tendent à surestimer la concentration en NO_2 mais après correction du signal, ils produisent des valeurs anormalement faibles.

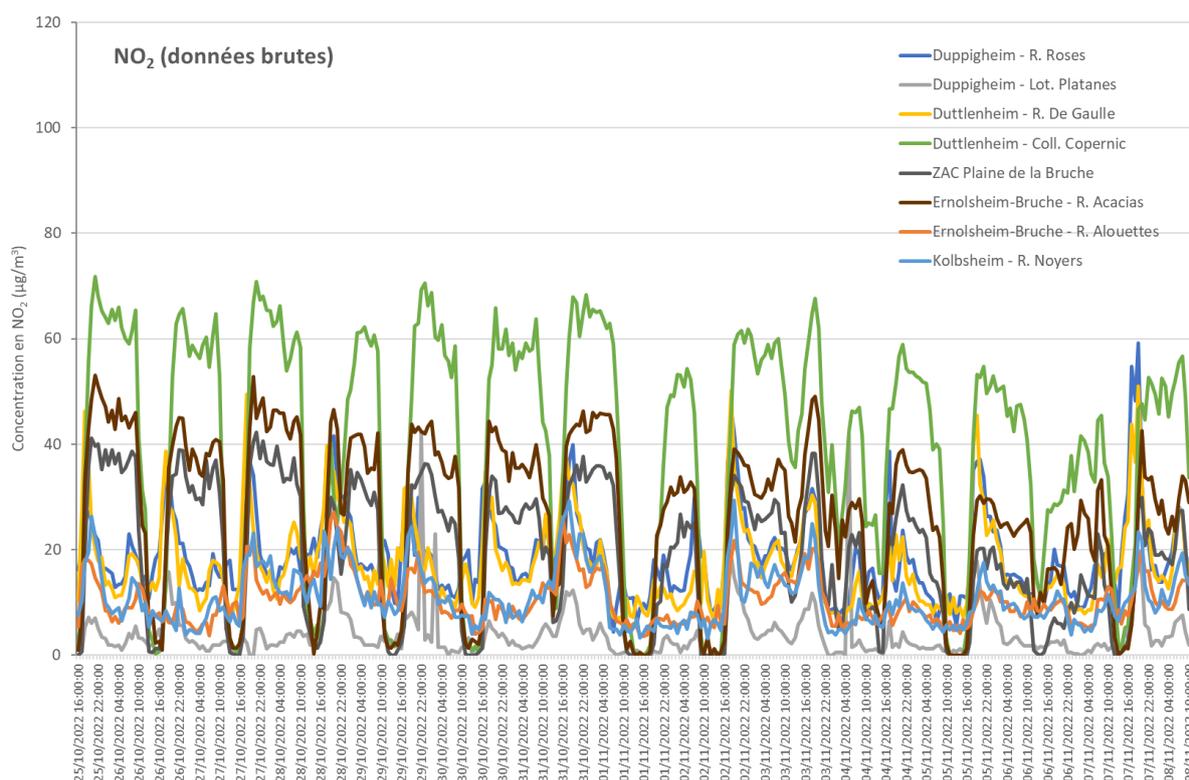


Figure 8. Données brutes de concentrations en NO₂ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO après ouverture

Sur la **figure 9** ci-après, les concentrations en NO₂ brutes et corrigées (moyennes des données des trois capteurs CAC71, 73 et 74 et moyenne des cinq autres capteurs) mesurées sur les stations le long du GCO peuvent être comparées aux valeurs enregistrées sur la station ATMO Grand Est de Strasbourg à proximité de l'A35.

Pour les cinq stations dont le calibrage est satisfaisant (cf. **annexe 4**), la correction du signal permet effectivement d'aligner la concentration en NO₂ sur celle enregistrée sur la station ATMO Grand Est. En comparaison à l'état initial, le profil de la concentration en NO₂ en période de fonctionnement du GCO se rapproche maintenant de celui observé à Strasbourg à proximité de l'A35, avec des variations journalières plus marquées et des pics atteignant en moyenne 40 à 70 µg/m³, contre 20 à 30 µg/m³ en 2021 à la même période de l'année. Même si les moyennes horaires maximales restent nettement inférieures aux valeurs limites réglementaires, ce constat suggère un changement dans le régime de la concentration en NO₂ sur le domaine d'étude, qui semble être passé d'un régime rural/périurbain en 2021 à un régime sous influence du trafic routier en 2022 suite à l'ouverture du GCO.

Pour les trois autres stations (CAC71, 73 et 74), la correction du signal brut entraîne une sous-estimation importante de la concentration en NO₂. Dans la suite de l'étude, par souci de cohérence, on continuera néanmoins à utiliser pour ces trois stations les valeurs corrigées plutôt que les données brutes, qui surestiment fortement la concentration en NO₂ (cf. **annexe 4**).

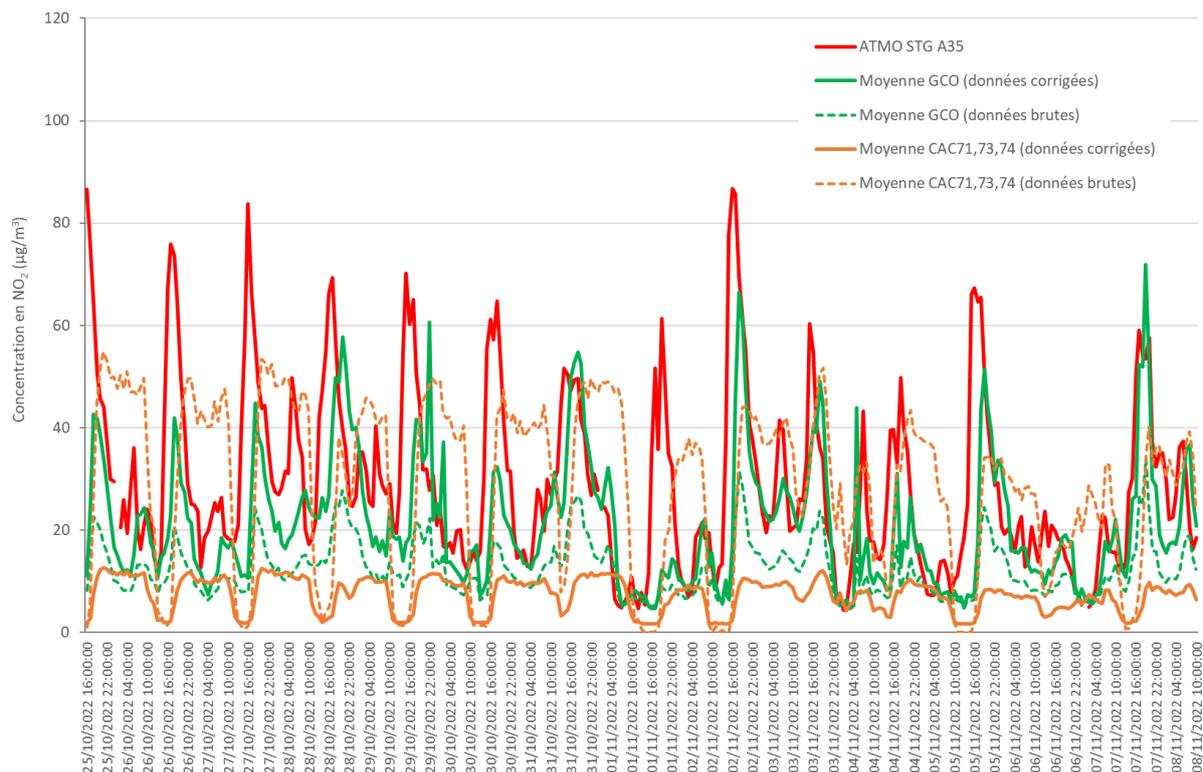


Figure 9. Concentrations en NO_2 (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 en moyenne par les stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35 (influence trafic routier)

4.3. Concentration en NO_2 : comparaison à l'état initial

La **figure 10** ci-après représente les données horaires sur les huit stations ainsi que celles enregistrées sur les stations ATMO Grand Est du nord-est Alsace (typologie rurale), de Strasbourg nord (fond urbain) et de Strasbourg A35 (proximité trafic), sous un format permettant de visualiser les caractéristiques des distributions de données (moyenne, médiane, quartiles 1 et 3 et valeurs minimale, maximale et atypique). A chaque station correspond une couleur donnée, en teinte claire pour la campagne 2021 et en teinte plus foncée pour la campagne 2022. Les valeurs limites mentionnées dans la réglementation européenne et la valeur guide de l'OMS sont également indiquées.

Les concentrations en NO_2 mesurées sur les stations ATMO Grand Est correspondent aux niveaux attendus pour les différentes typologies de stations : moyenne de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et valeurs maximales inférieures à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zone rurale de fond (NE Alsace), moyenne de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et valeurs maximales atteignant $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zone urbaine de fond (Strasbourg nord) et moyenne de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et valeurs maximales de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zone urbaine à proximité d'un axe routier (Strasbourg A35). Sur les trois stations, les concentrations en NO_2 mesurées en 2022 sont légèrement inférieures à celles enregistrées en 2021.

Les moyennes observées sur les huit stations NEMO au voisinage du GCO sont comprises entre 15 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à un niveau proche du fond urbain mesuré par ATMO Grand Est à Strasbourg nord. Les

valeurs mesurées en 2022 sur les trois stations citées précédemment (capteurs CAC71, 73 et 74) sont anormalement faibles et ne seront donc pas intégrées à l'interprétation des résultats. Sur les cinq autres stations (à l'exception de la station Duttlenheim – R. de Gaulle), les médianes des données enregistrées en 2022 sont légèrement inférieures à celles relevées en 2021, ce qui reflète la tendance observée sur les stations ATMO Grand Est. En revanche, les moyennes observées en 2022 au voisinage du GCO sont supérieures à celles de 2021, ce qui traduit l'influence de valeurs hautes (entre 70 et 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) plus fréquemment mesurées en 2022, à des niveaux comparables aux valeurs maximales enregistrées sur la station Strasbourg A35.

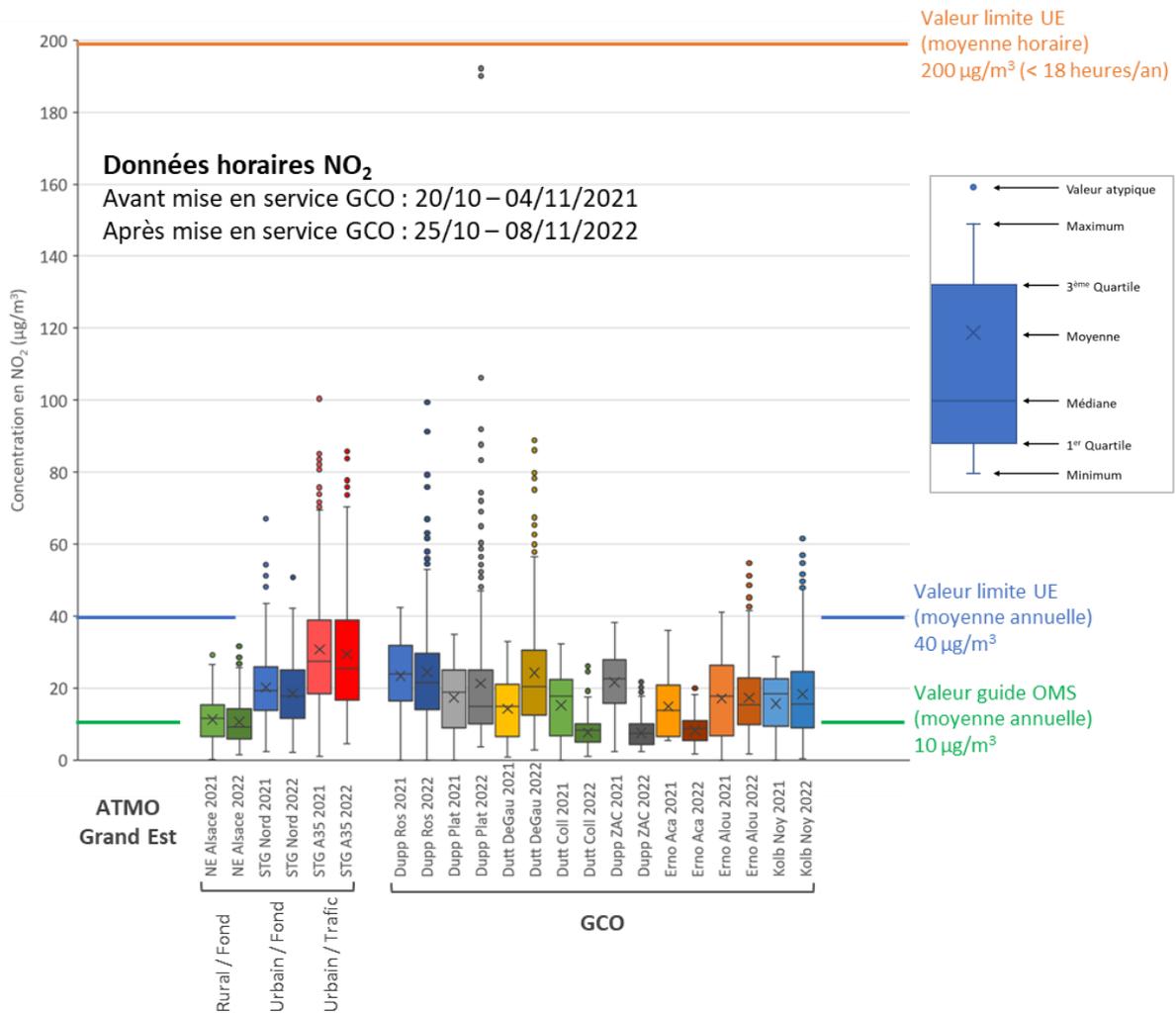


Figure 10. Concentrations en NO₂ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est du nord-est Alsace, Strasbourg Nord et Strasbourg A35

Comme indiqué précédemment, aucune concentration horaire n'excède la valeur limite réglementaire de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A titre indicatif, les moyennes relevées sur la période de mesure sont toutes conformes à la valeur réglementaire de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. En revanche, les moyennes observées sur l'ensemble des stations (à l'exception de la station de fond rural du nord-est Alsace) excèdent la valeur guide recommandée par l'OMS au-dessous de laquelle il n'a pas été observé d'effets sur la santé humaine.

4.4. Concentration en NO₂ : évolution des valeurs journalières

La **figure 11** ci-après présente les profils journaliers moyens observés au cours des deux périodes de mesure sur les différentes stations au voisinage du GCO en comparaison à ceux enregistrés sur les stations ATMO Grand Est de fond rural, de fond urbain et de proximité trafic.

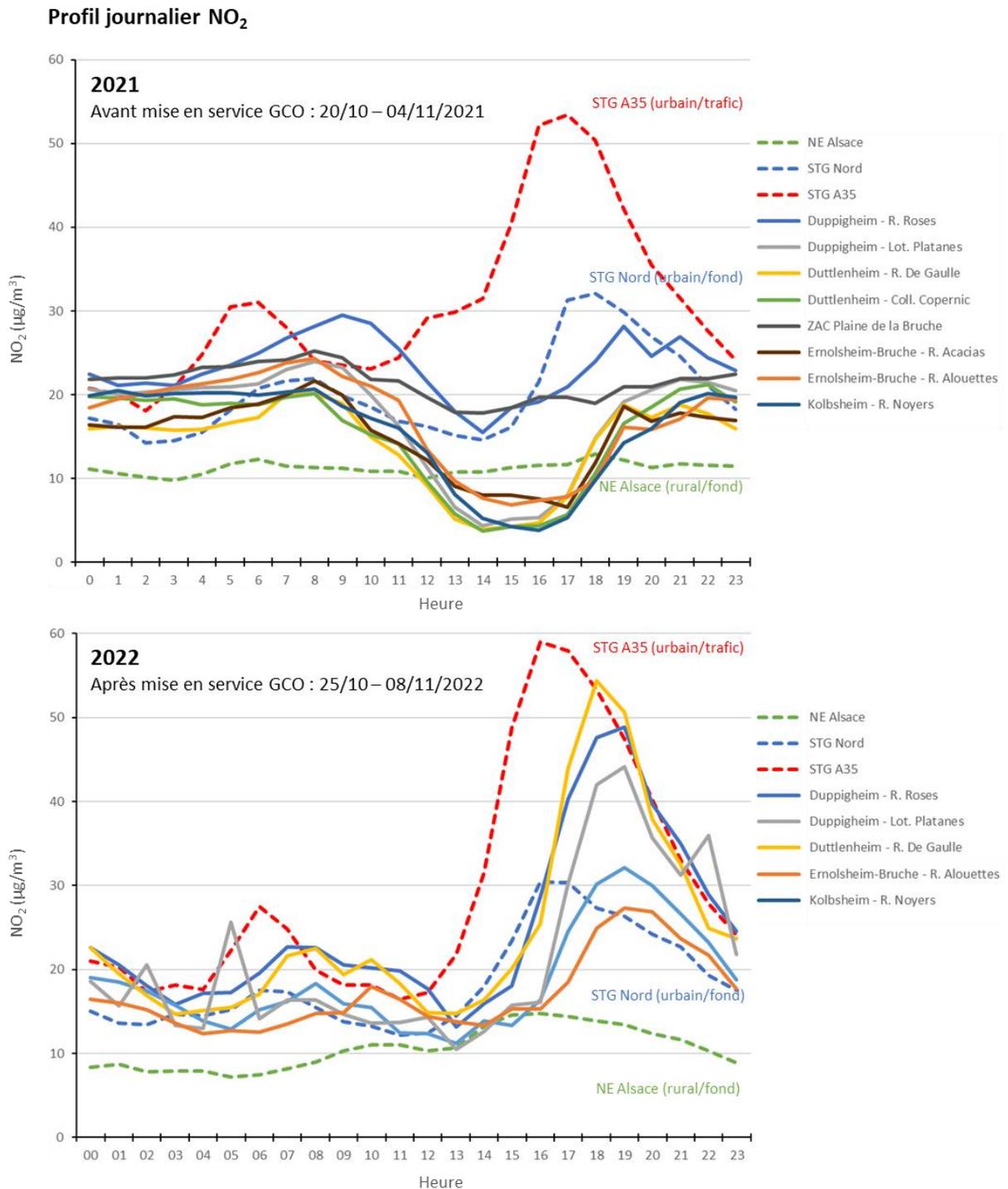


Figure 11. Profil journalier de concentration en NO₂ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO et sur trois stations ATMO Grand Est de référence

Les profils journaliers de concentration en NO₂ observés en 2021 au voisinage du GCO avant ouverture en 2021 étaient intermédiaires entre ceux observés en fond rural (nord-est Alsace) et en fond urbain (Strasbourg nord). En 2022, le profil journalier enregistré le long du GCO en fonctionnement s'est rapproché de ceux mesurés en zone urbaine à Strasbourg, avec notamment un pic en fin d'après-midi au moment de l'heure de pointe.

4.5. Bilan NO₂

Pris dans leur ensemble, les résultats relatifs à la concentration en NO₂ mesurée au voisinage du GCO indiquent que l'ouverture de l'axe routier a entraîné un changement du régime de ce polluant sur la zone d'étude. Celle-ci est ainsi passée d'un régime de fond de type rural/périurbain à un régime sous l'influence plus marquée du trafic routier. Cette évolution du profil journalier de la concentration en NO₂ est observée sur les quatre communes étudiées. Même si les concentrations mesurées restent conformes aux valeurs réglementaires en vigueur, ce changement de régime est susceptible d'augmenter l'exposition des populations riveraines à des concentrations en NO₂ supérieures à la valeur guide recommandée par l'OMS pour la protection de la santé humaine, notamment au moment des heures de pointe du trafic routier.

5. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN PM₁₀

5.1. Campagne 2021

La **figure 12** ci-après présente les concentrations horaires en PM₁₀ mesurées du 20 octobre au 04 novembre 2021 sur les huit stations au voisinage du GCO. Les données présentées ici sont les concentrations corrigées selon les paramètres déterminés à l'issue de l'étape d'étalonnage des capteurs (cf. **annexe 3**).

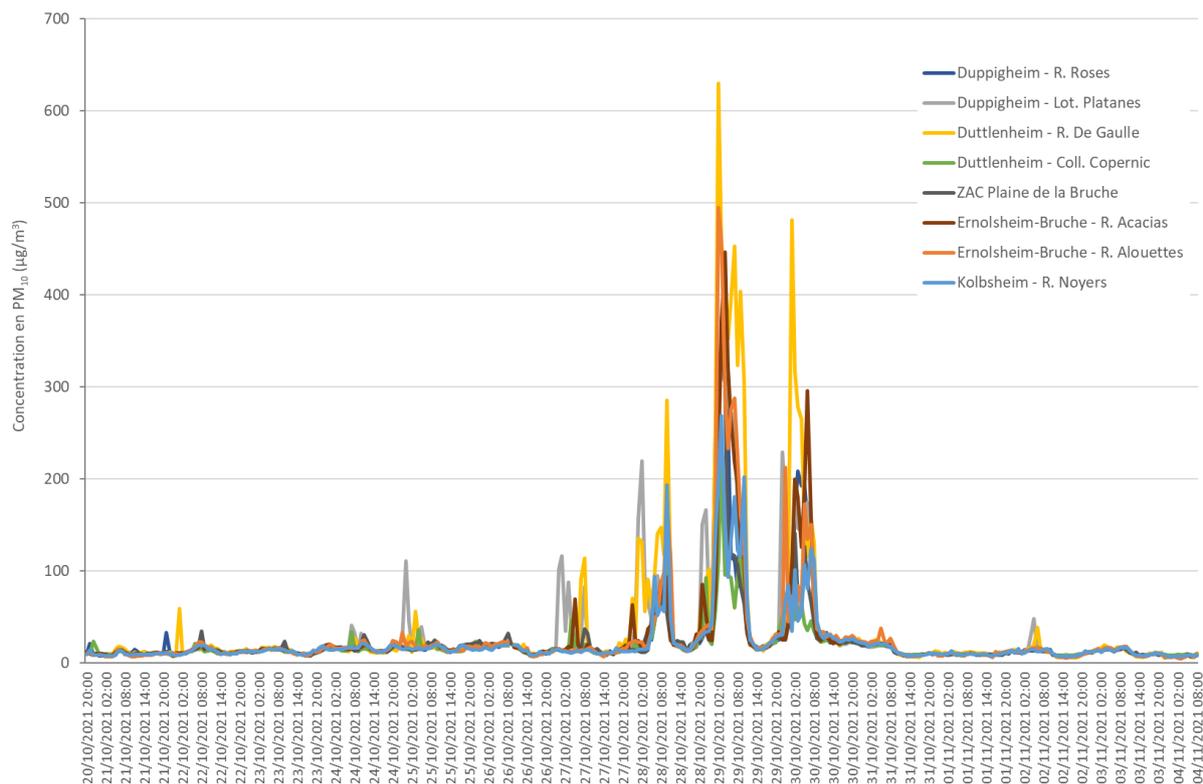


Figure 12. Concentrations en PM₁₀ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO

De manière générale, les résultats relatifs aux PM₁₀ sont influencés par la météorologie locale pendant la période de mesure, avec un début de campagne caractérisé par un temps agité peu favorable à l'accumulation des particules, suivi d'une période de stabilité atmosphérique qui se traduit par des valeurs plus élevées et enfin des conditions nuageuses et des pluies qui ont entraîné une baisse des concentrations en fin de campagne. Les valeurs hautes sont regroupées sur quatre journées du 27 au 30 octobre 2021, avec des pics enregistrés en fin de nuit et en début de matinée. Même si l'amplitude des pics varie d'une station à l'autre, la période de hausse concernent l'ensemble de la zone d'étude.

La **figure 13** ci-après permet de comparer la concentration en PM₁₀ mesurée le long du GCO (moyenne des données des huit stations) avec celle observée par la station ATMO Grand Est de Strasbourg à proximité de l'A35.

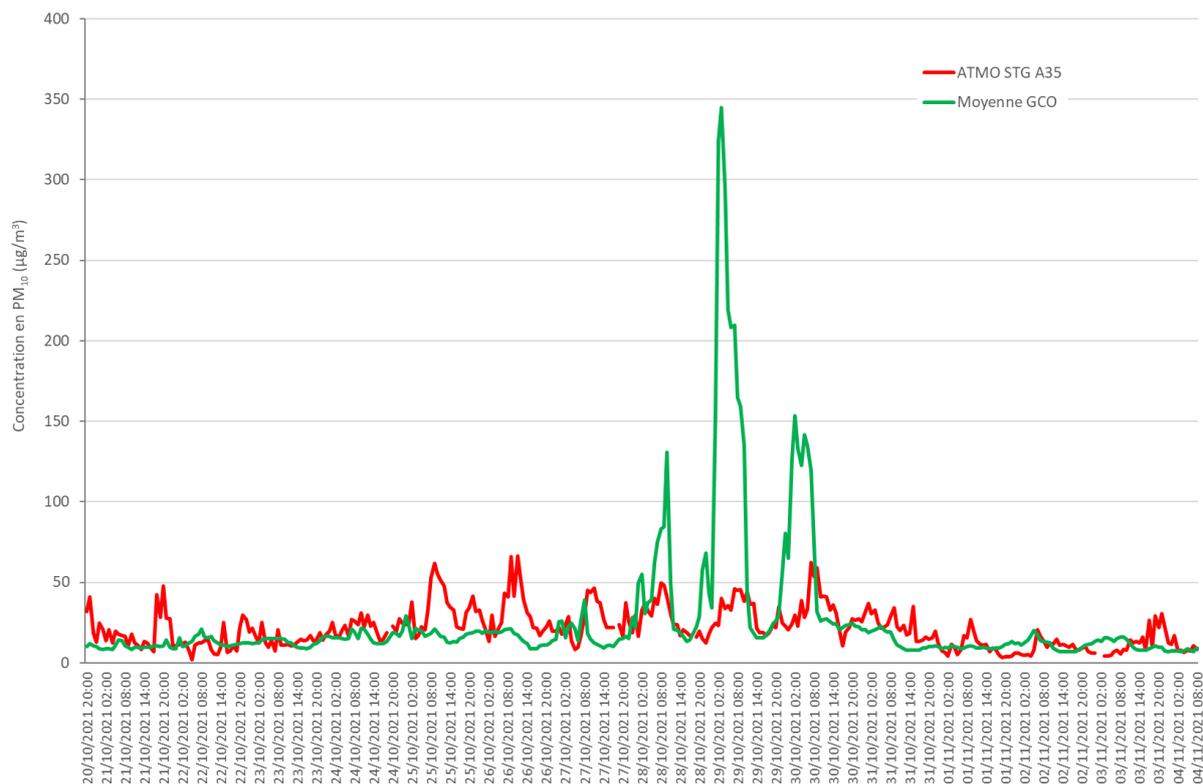


Figure 13. Concentrations en PM_{10} (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 en moyenne par les huit stations au voisinage du GCO avant ouverture (état initial) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35

En dehors des trois journées du 28, du 29 et du 30 octobre, la concentration moyenne en PM_{10} sur le domaine d'étude est proche du niveau de base de celle mesurée sur la station Strasbourg A35. La plupart des pics observés quotidiennement sur cette station urbaine, notamment ceux des 21, 25, 26 octobre, ne sont pas enregistrés sur la zone d'étude. En revanche, les 28, 29 et 30 octobre, les stations implantées sur le domaine d'étude ont mesuré des pics dont l'amplitude est nettement supérieure à celles des pics observés à Strasbourg. Les valeurs hautes relevées sur la zone d'étude les 28, 29 et 30 octobre apparaissent comme des données atypiques. Les concentrations en particules élevées peuvent provenir d'une ou plusieurs sources locales non identifiées. Les pics peuvent également provenir de la surestimation du signal par les capteurs Next-PM dans des conditions particulières combinant température froide et humidité de l'air élevée (cf. **annexe 3**). En effet, les valeurs fortes ($> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ont toutes été enregistrées en fin de nuit et en début de matinée, au moment où des brumes ont été observées sur la station météorologique de Strasbourg-Entzheim (source Infoclimat).

5.2. Campagne 2022

La **figure 14** ci-après présente les concentrations horaires en PM_{10} mesurées du 25 octobre au 08 novembre 2022 sur les huit stations au voisinage du GCO. Les données présentées ici correspondent aux concentrations corrigées selon les paramètres établis après étalonnage des capteurs (cf. **annexe 4**).

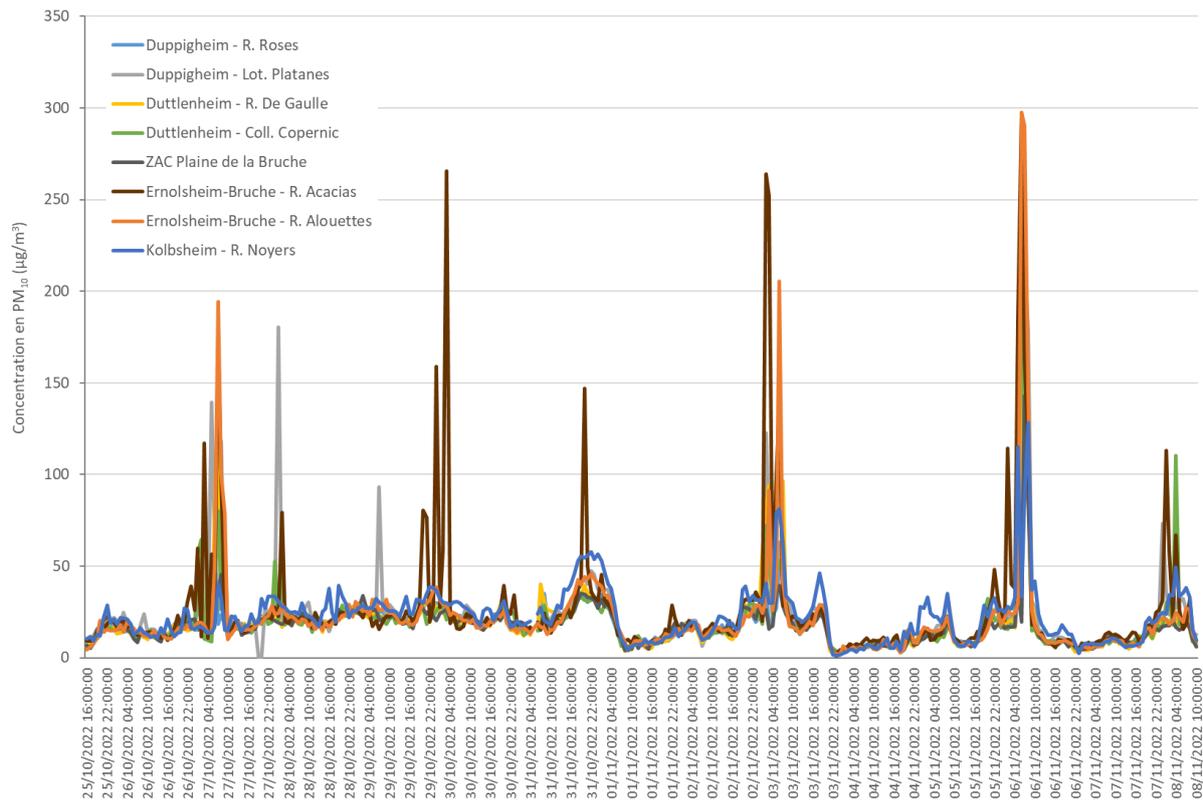


Figure 14. Concentrations en PM_{10} (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO

Les concentrations en PM_{10} mesurées par les huit stations en 2022 sont assez proches d'une station à l'autre et restent la plupart du temps à un niveau de base inférieur à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On observe toutefois des pics ponctuels les 26, 27, 29 et 31 octobre et les 03, 06 et 08 novembre, qui concernent en général plusieurs stations. Comme en 2021, ces pics peuvent provenir de sources locales non identifiées ou d'une surestimation de la concentration en PM dans les conditions climatiques décrites précédemment. Comme en 2021, les pics ont été observés en fin de nuit et en début de matinée et coïncident avec l'observation de brumes et de brouillards sur la station de Strasbourg-Entzheim (source Infoclimat).

La **figure 15** ci-après permet de comparer la concentration en PM_{10} mesurée lors de la campagne 2022 le long du GCO (moyenne des données des huit stations) avec celle observée par la station ATMO Grand Est de Strasbourg à proximité de l'A35 sur la même période.

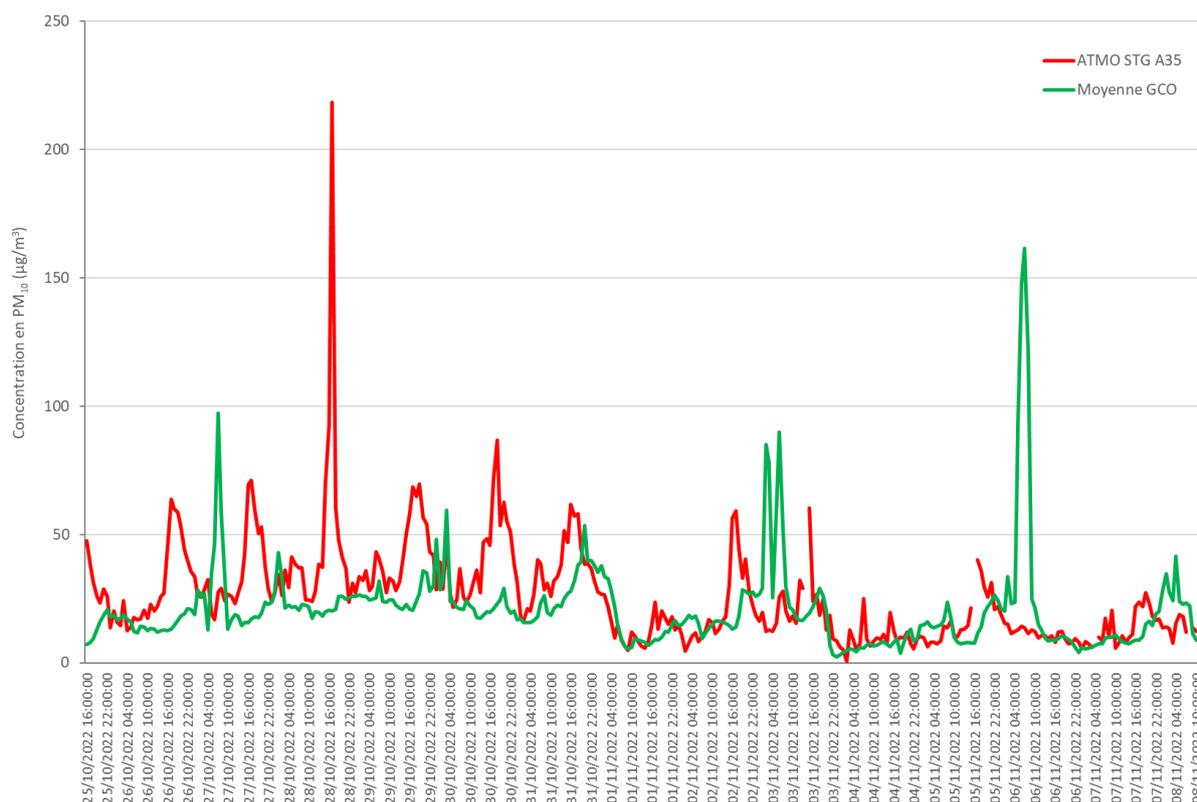


Figure 15. Concentrations en PM_{10} (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 en moyenne par les stations au voisinage du GCO après ouverture (trafic nominal) et par la station ATMO Grand Est Strasbourg A35 (influence trafic routier)

Les deux séries de données présentent un niveau de base équivalent qui varie entre $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de la première moitié de la période de mesure et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la seconde partie de la campagne. Sur la station Strasbourg A35, des pics sont observés quotidiennement en fin d'après-midi, notamment lors de la première moitié de la période de mesure avec des maxima journaliers compris entre 50 et $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dépassant même $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 28 octobre. La concentration moyenne en PM_{10} mesurée sur le domaine d'étude présente également des pics mais ceux-ci sont moins réguliers et certains d'entre eux, notamment les plus importants mesurés le 27/10, le 03/11 et le 06/11, sont décorrélés des pics relevés à Strasbourg. Les pics les plus marqués le long du GCO ont été enregistrés en fin de nuit et début de matinée. Cette décorrélacion peut traduire un décalage dans les heures de pointe de trafic routier entre le GCO et l'A35 ou l'existence de sources locales non identifiées. La possibilité d'une surestimation de la concentration en PM_{10} dans les conditions météorologiques décrites précédemment est également possible.

5.3. Concentration en PM_{10} : comparaison à l'état initial

La **figure 16** ci-après représente les séries de données de concentration en PM_{10} en comparaison aux données enregistrées sur les stations ATMO Grand Est de référence mesurant les PM_{10} et aux valeurs repères en matière de qualité de l'air. A chaque station correspond une couleur donnée, en teinte claire pour la campagne 2021 et en teinte plus foncée pour la campagne 2022. Pour faciliter la lecture du graphique, la valeur maximale de l'axe vertical a été fixée à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mais de nombreuses données plus élevées (jusqu'à $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2021) ont été mesurées au voisinage du GCO.

Données horaires PM₁₀

Avant mise en service GCO : 20/10 – 04/11/2021

Après mise en service GCO : 25/10 – 08/11/2022

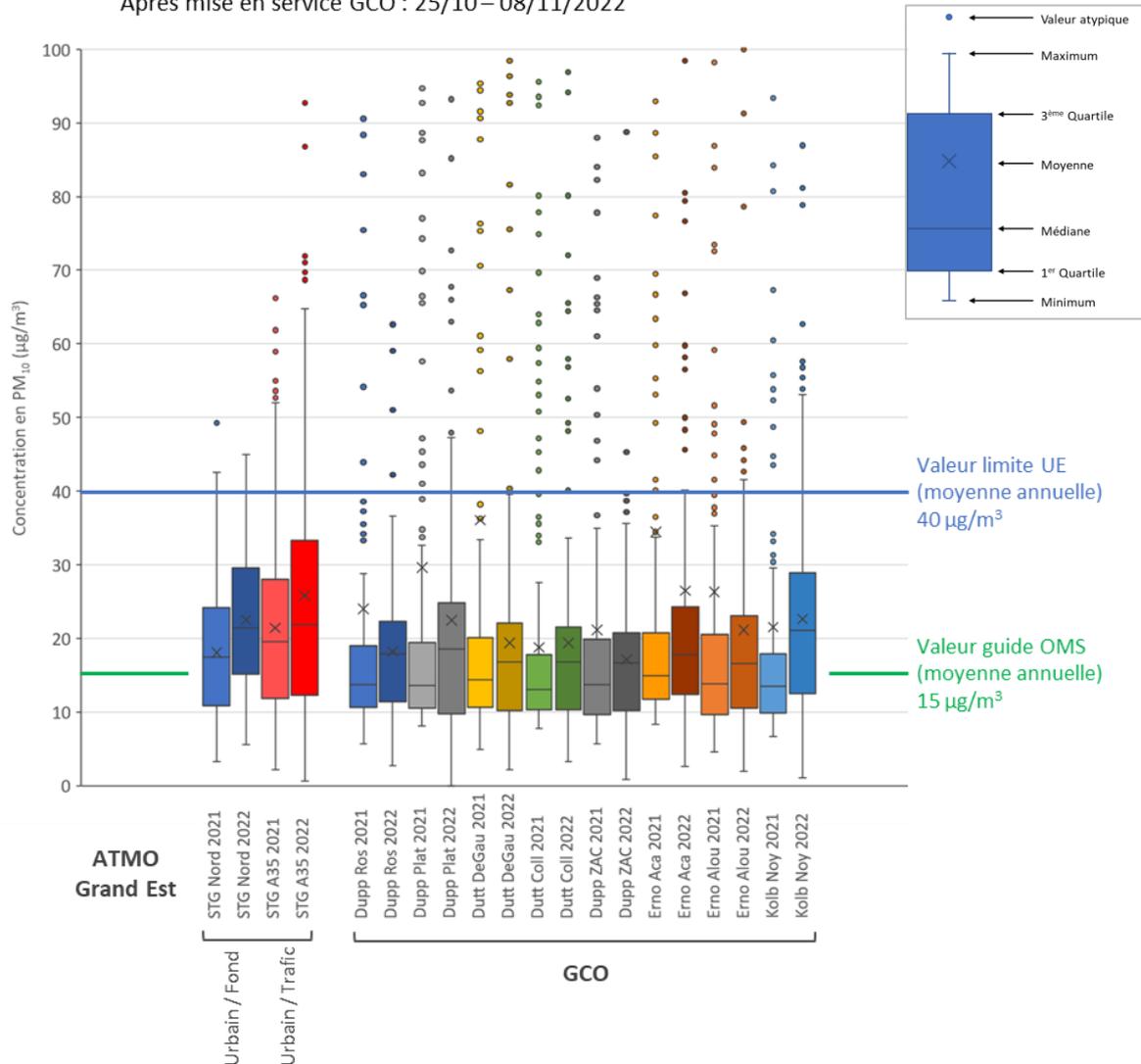


Figure 16. Concentrations en PM₁₀ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est de Strasbourg nord et Strasbourg A35

La concentration en PM₁₀ mesurée sur les stations ATMO Grand Est à Strasbourg est en moyenne plus élevée que sur le domaine d'étude. Elles sont légèrement supérieures sur la station Strasbourg A35 sous influence du trafic routier à celles observées sur la station Strasbourg nord de fond urbain. De plus, les valeurs mesurées en 2022 sont plus fortes qu'en 2021 sur les deux stations de référence et cette tendance concerne l'ensemble des paramètres des séries de données (médiane, moyenne, quartiles 1 et 3 et valeurs maximales). En 2021 comme en 2022, les concentrations en PM₁₀ mesurées à Strasbourg pendant la période de mesure sont en moyenne conformes à la valeur limite en moyenne annuelle, mais elles excèdent sur les deux stations la valeur guide de l'OMS pour la protection de la santé humaine.

Malgré des moyennes tirées vers le haut par de nombreuses valeurs fortes, les concentrations médianes en PM₁₀ enregistrées sur les stations du domaine d'étude en 2021 avant ouverture du GCO

étaient inférieures au niveau de fond urbain mesuré à Strasbourg. En 2022, après ouverture du GCO, la médiane a augmenté sur l'ensemble des stations du domaine d'étude, se rapprochant des niveaux observés en zone urbaine. La hausse relevée en 2022 par rapport à 2021 est également visible à Strasbourg, ce qui suggère qu'elle ne concerne pas que la zone d'étude et que l'ouverture du GCO n'en est pas la seule cause. On note toutefois que les concentrations médianes sur les huit stations du domaine d'étude étaient inférieures à la valeur guide de l'OMS en 2021 et qu'elles sont toutes passées au-dessus de ce seuil en 2022 après ouverture du GCO. Comme en zone urbaine, les concentrations moyennes en PM_{10} observées pendant la période de mesure restent néanmoins toutes inférieures à la valeur réglementaire exprimée en moyenne annuelle.

5.4. Concentration en PM_{10} : évolution des valeurs journalières

La **figure 17** ci-après présente les concentrations en PM_{10} exprimées en moyenne journalière ainsi que les valeurs repères correspondantes.

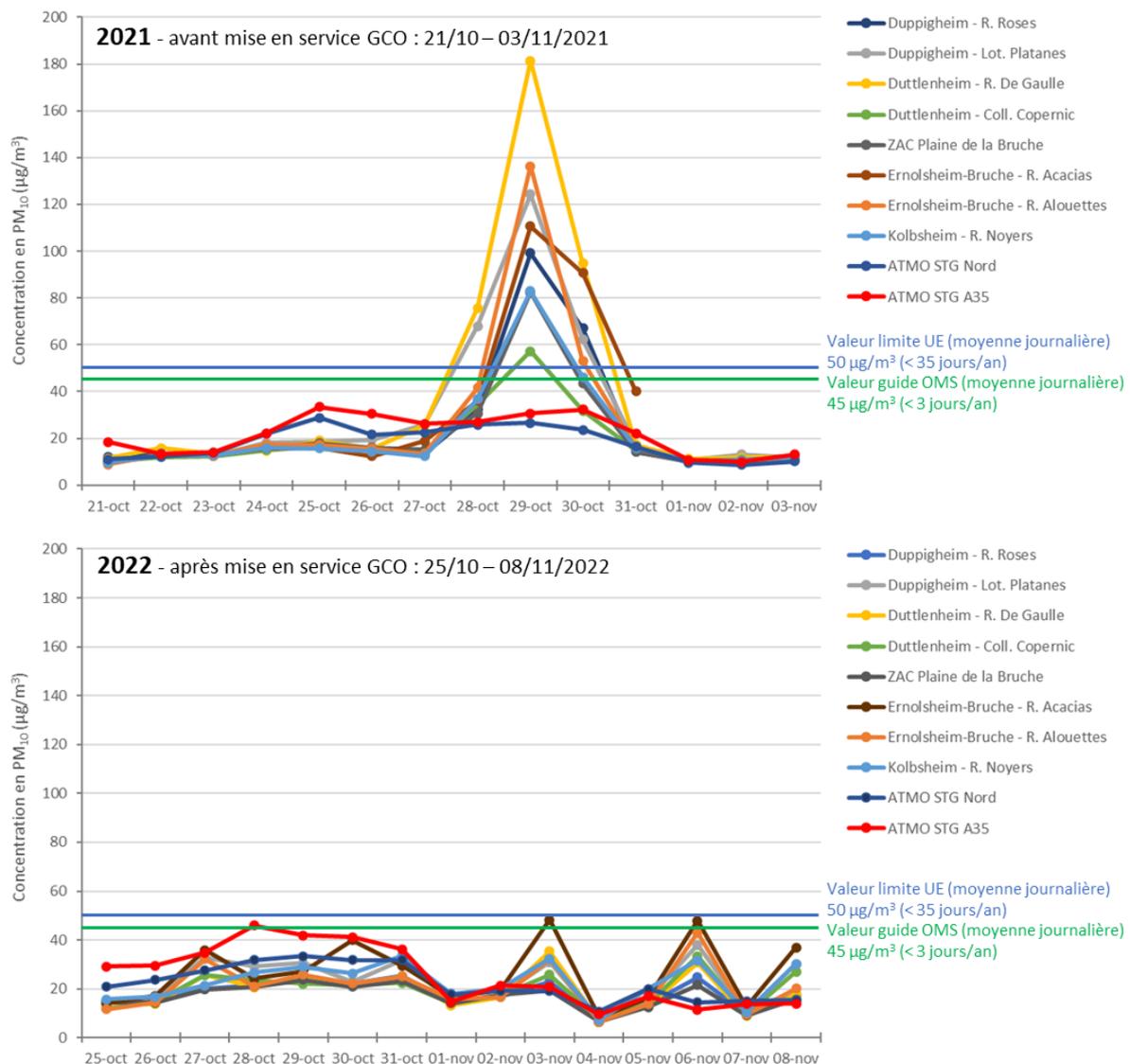


Figure 17. Concentrations en PM_{10} (moyennes journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par les stations ATMO Grand Est de Strasbourg nord et A35

Les concentrations moyennes journalières en PM_{10} mesurées en 2021 et 2022 sur les deux stations ATMO Grand Est de Strasbourg sont comprises entre 10 et $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles restent toutes conformes à la valeur limite européenne de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et seule la valeur relevée le 28/10/2022 excède la valeur guide de l'OMS de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les moyennes journalières mesurées sur la zone d'étude sont en général inférieures ou équivalentes à celles observées à Strasbourg. Comme indiqué sur les **figures 12 à 15**, on note cependant un certain nombre de pics journaliers qui dépassent les valeurs enregistrées à Strasbourg. En 2021, les moyennes journalières des 28, 29 et 30 octobre sont particulièrement élevées et dépassent la valeur limite européenne de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On rappelle que la réglementation française autorise jusqu'à 35 dépassements de ce seuil par an. En 2022, les moyennes journalières des 03, 06 et 08 novembre octobre sont supérieures à celles mesurées sur les stations urbaines de référence, mais elles restent en deçà de la valeur limite européenne de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La comparaison des résultats obtenus en 2022 à ceux relevés en 2021 avant ouverture du GCO ne permet pas de mettre en évidence un effet du trafic routier du GCO sur la concentration en PM_{10} exprimée en moyenne journalière.

5.5. Evolution du profil journalier de la concentration en PM_{10}

La **figure 18** ci-après présente les profils journaliers moyens des PM_{10} observés sur les stations au voisinage du GCO en comparaison à ceux enregistrés sur les stations ATMO Grand Est de fond urbain et de proximité du trafic.

La concentration en PM_{10} mesurée sur la station de fond urbain (Strasbourg nord) varie peu au cours de la journée. Les profils observés en 2021 et 2022 sont similaires. Sur la station de proximité du trafic (Strasbourg A35), l'amplitude des variations journalières est nettement plus marquée, avec un premier pic en début de matinée, plus fort en 2021, et un second en fin d'après-midi voire en début de soirée, très marqué en 2022.

Le profil journalier moyen de la concentration en PM_{10} observé en 2021 au voisinage du GCO est fortement influencé par les valeurs hautes enregistrés les 28, 29 et 30 octobre, ce qui explique le pic relevé en fin de nuit et en matinée. Ce pic est également présent en 2022, mais avec une amplitude bien moins marquée. A cette différence près, le profil mesuré sur le domaine d'étude en 2022 est proche de celui obtenu en 2021. Contrairement aux résultats relatifs au NO_2 (**figure 11**), le régime des PM_{10} sur le domaine d'étude ne montre pas de changements significatifs en 2022 en comparaison à 2021.

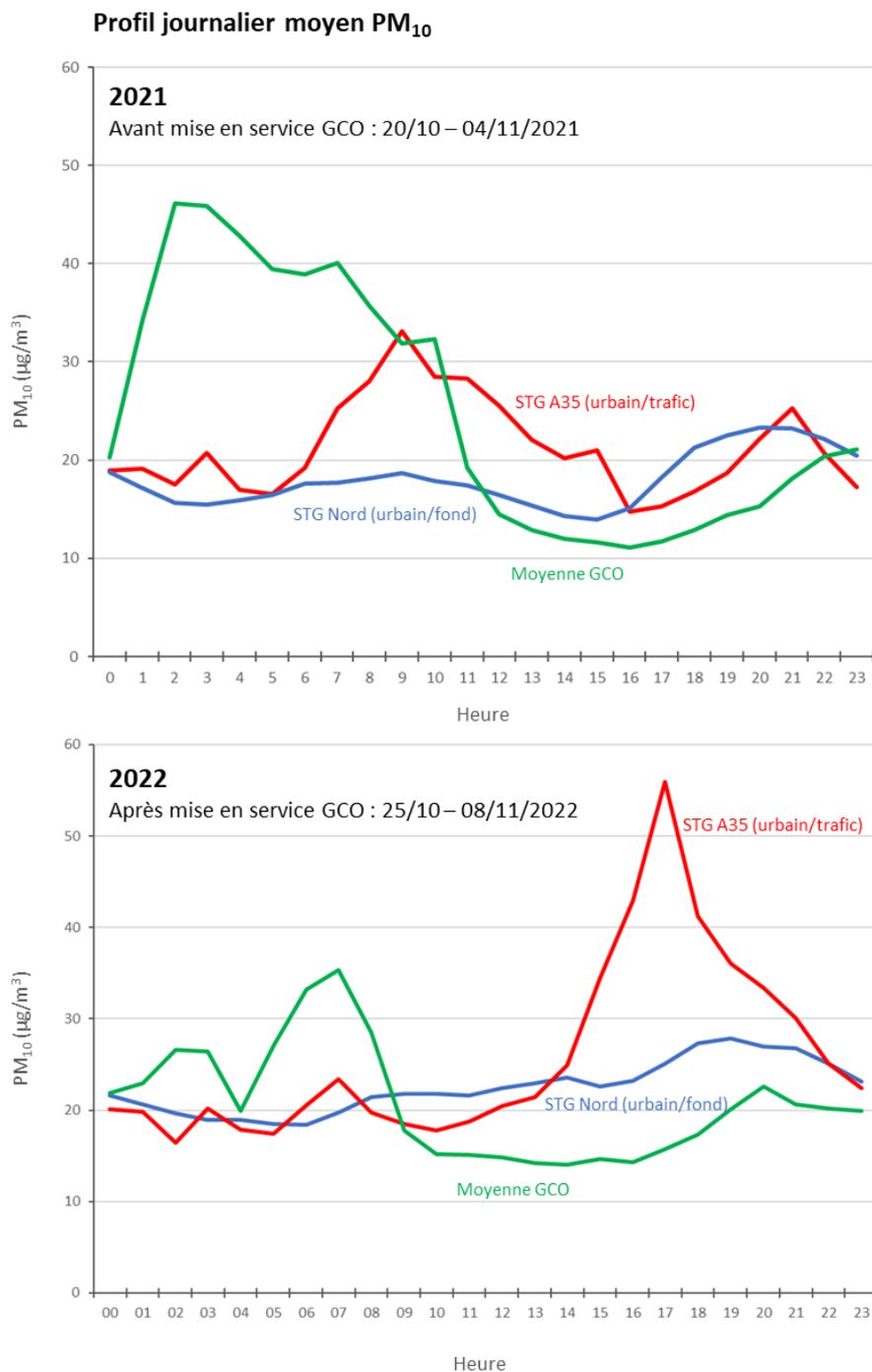


Figure 18. Profil journalier de concentration en PM₁₀ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO (moyenne des huit stations) et sur deux stations ATMO Grand Est de référence

5.6. Bilan PM₁₀

L'examen des résultats relatifs aux PM₁₀ obtenus sur le domaine d'étude en comparaison aux stations urbaines de référence, à l'état initial et aux valeurs réglementaires ne montre pas d'impact majeur de l'ouverture du GCO pour ce paramètre.

6. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN $PM_{2.5}$

6.1. Campagne 2021

La **figure 19** ci-après présente les concentrations horaires en $PM_{2.5}$ mesurées du 20 octobre au 04 novembre 2021 sur les huit stations au voisinage du GCO et sur la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf, station urbaine de fond pour laquelle on dispose de données de $PM_{2.5}$ contrairement aux stations de référence considérées précédemment. Pour les stations GCO, les données présentées ici sont les concentrations corrigées selon les paramètres déterminés à l'issue de la phase d'étalonnage (cf. **annexe 3**).

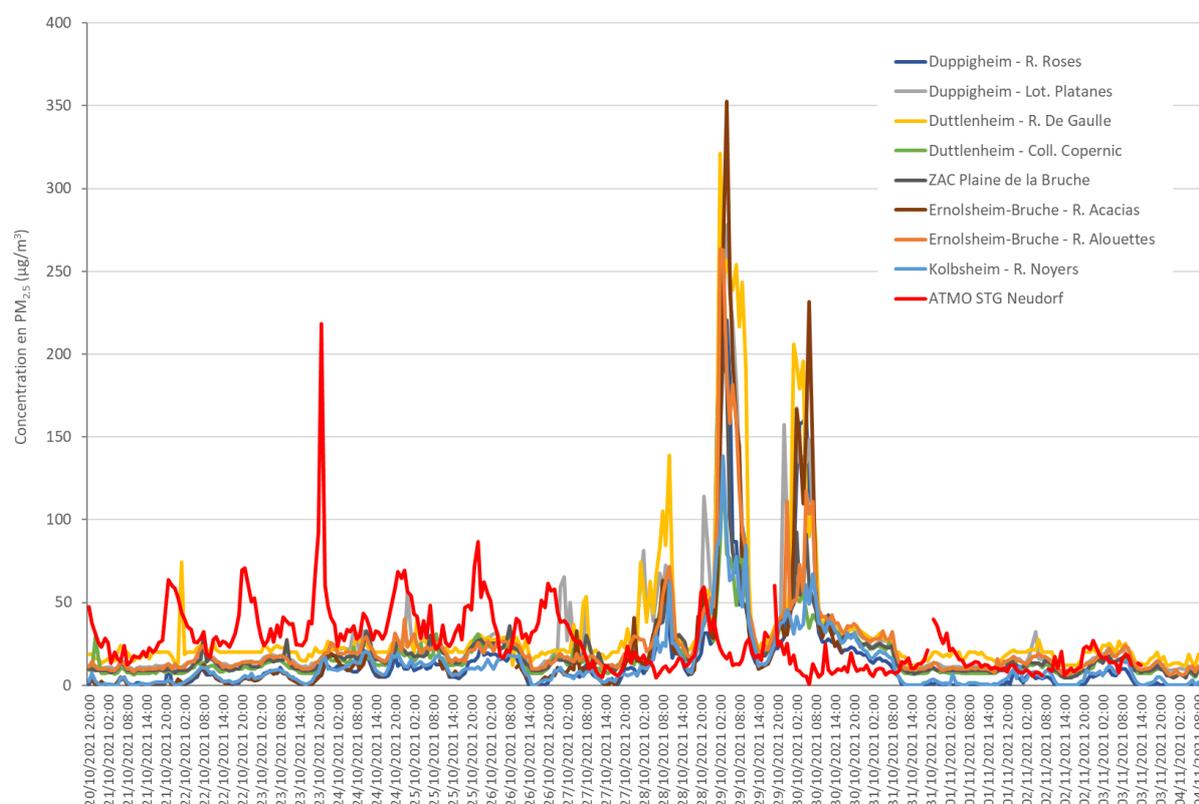


Figure 19. Concentrations en $PM_{2.5}$ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf

Les commentaires relatifs à l'évolution globale de la concentration en $PM_{2.5}$ sur la zone d'étude et à la comparaison des profils enregistrés sur les différentes stations sont identiques à ceux qui ont été émis au sujet des PM_{10} (**figures 14 et 15**). Les concentrations en $PM_{2.5}$ mesurées sur le domaine d'étude sont en général inférieures à celles relevées à Strasbourg Neudorf sauf les 28, 29 et 30 octobre où des pics ont été enregistrés sur la plupart des stations, à des niveaux bien supérieurs au fond urbain de référence. Les mêmes hypothèses que celles proposées pour les PM_{10} peuvent être émises quant à l'origine de ces pics.

6.2. Campagne 2022

La **figure 20** ci-après présente les concentrations horaires en $PM_{2.5}$ mesurées du 25 octobre au 08 novembre 2022 sur les huit stations au voisinage du GCO et sur la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf. Les données présentées ici correspondent aux concentrations corrigées selon les paramètres établis après étalonnage des capteurs (cf. **annexe 4**).

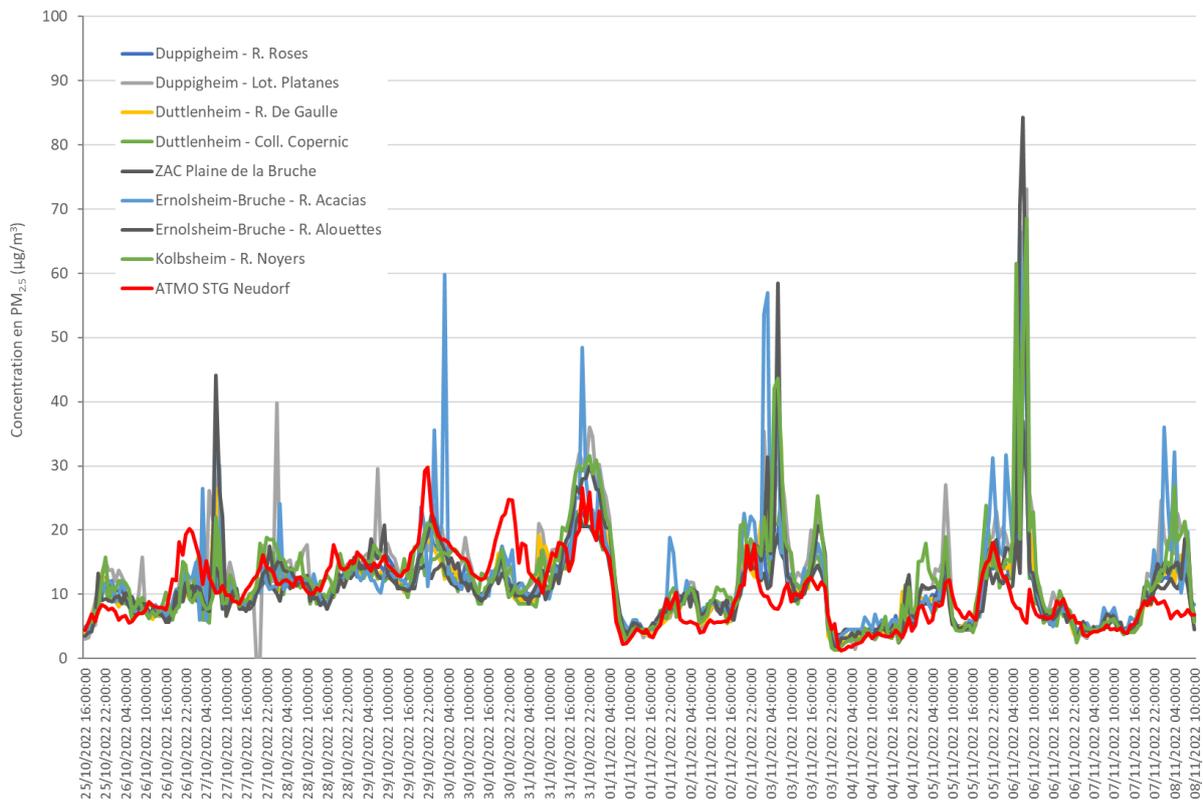


Figure 20. Concentrations en $PM_{2.5}$ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf

Sur la station de référence urbaine de Strasbourg Neudorf, le profil des concentrations en $PM_{2.5}$ mesurées en 2022 est similaire à celui enregistré en 2021, avec un niveau de base relativement stable et des pics journaliers en soirée. On notera cependant que le niveau de base mesuré en 2022, compris entre 5 et 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, est inférieur à celui observé en 2021 à la même période sur cette station, qui était plutôt de 10 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De même, les maxima journaliers ont atteint 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022 contre 50 à 100 voire 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2021.

Les concentrations en $PM_{2.5}$ mesurées en 2022 sur les stations installées à proximité du GCO sont globalement équivalentes à celles enregistrées à Strasbourg Neudorf, avec cependant des pics dépassant nettement la référence urbaine, notamment les 27 et 29 octobre et les 03, 06 et 08 novembre. La même observation a été décrite pour les PM_{10} . A l'instar des mesures réalisées à Strasbourg Neudorf, les concentrations en $PM_{2.5}$ observées en 2022 au voisinage du GCO sont globalement inférieures à celles mesurées en 2021, en termes de niveau de base (5 à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022 contre 10 à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2021) et de valeurs maximales (30 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2022 contre 100 à 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2021). On notera toutefois que les pics observés au voisinage du GCO en 2022 après son ouverture

sont plus nombreux et répartis au cours de la période de mesure, alors qu'un unique épisode avait été enregistré en 2021 avant ouverture du GCO. Comme pour les PM_{10} , certains pics sont observés de manière simultanée sur le domaine d'étude et à Strasbourg Neudorf, mais les valeurs les plus élevées mesurées à proximité du GCO sont généralement relevées en fin de nuit, avec un décalage de plusieurs heures par rapport à ceux mesurés à Strasbourg Neudorf. Ce constat tend à confirmer l'hypothèse d'une surestimation de la concentration en particules dans certaines conditions climatiques (température basse et nébulosité élevée).

6.3. Concentration en $PM_{2.5}$: comparaison à l'état initial

La **figure 21** ci-après regroupe les distributions de données de concentration en $PM_{2.5}$ enregistrées en 2021 et 2022 sur les stations de la zone d'étude en comparaison à la station ATMO Grand Est de référence de Strasbourg Neudorf et aux valeurs repères en matière de qualité de l'air. Pour faciliter la lecture du graphique, la valeur maximale de l'axe des ordonnées a été fixée à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mais de nombreuses valeurs plus élevées ont été mesurées en 2021 au voisinage du GCO, atteignant $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

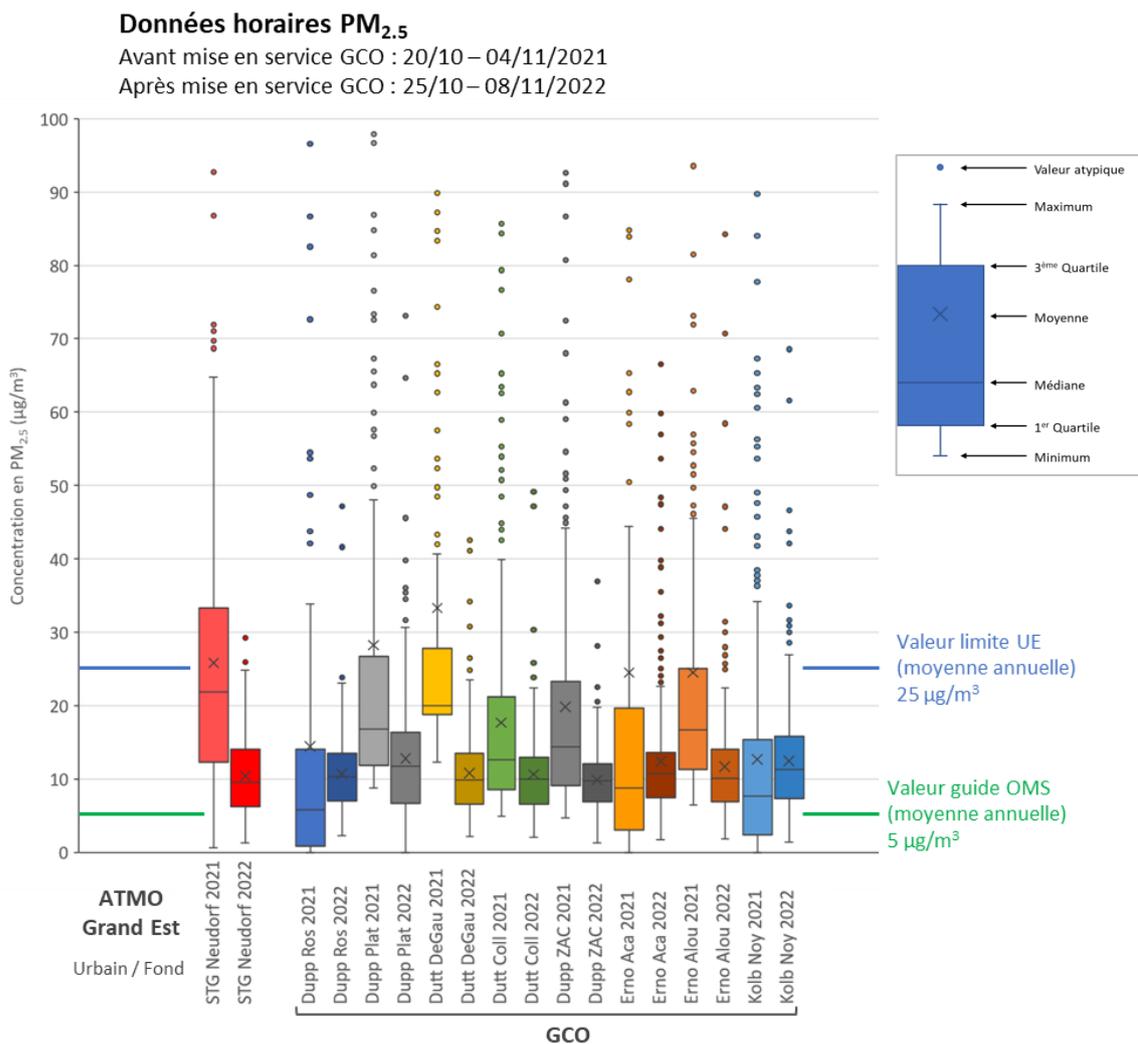


Figure 21. Concentrations en $PM_{2.5}$ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf

Les concentrations en PM_{2.5} mesurées en 2022 sur les stations installées à proximité du GCO sont globalement inférieures à celles mesurées en 2021 avant ouverture du GCO. Ce constat est également valable pour la station de référence urbaine. Seules les stations de Duppigheim – R. des Roses et de Kolbsheim – R. des Noyers se démarquent avec une augmentation de la valeur médiane. Cette tendance à la baisse traduit probablement une baisse des concentrations en PM_{2.5} à l'échelle régionale entre 2021 et 2022. Dans ce contexte, aucune détérioration locale de la qualité de l'air due à l'ouverture du GCO ne peut être identifiée en ce qui concerne la concentration moyenne de PM_{2.5}.

A titre indicatif, l'intégralité des moyennes mesurées pendant la campagne 2022 est inférieure à la valeur limite réglementaire européenne de 25 µg/m³ en moyenne annuelle. En 2021, la moyenne enregistrée pendant la période de mesure à Strasbourg Neudorf ainsi que sur les stations Duppigheim – Lot. Des Platanes et Duttlenheim – R. de Gaulle excédaient ce seuil. Dans le cas des stations du domaine d'étude, les moyennes relativement élevées en 2021 s'expliquent par les pics des 28, 29 et 30 octobre (**figure 19**).

6.4. Concentration en PM_{2.5} : évolution des valeurs journalières

La **figure 22** ci-après présente les concentrations en PM_{2.5} mesurées en 2021 et 2022 exprimées en moyenne journalière, en comparaison à la valeur guide de l'OMS pour la protection de la santé.

En 2021 en début et en fin de période de mesure, la moyenne journalière de la concentration en PM_{2.5} sur les stations au voisinage du GCO est inférieure, ou équivalente sur certains points, à celle déterminée pour la référence urbaine. Comme indiqué précédemment, les journées des 28, 29 et 30 octobre sont marquées par une hausse transitoire de la concentration en PM_{2.5} sur l'ensemble de la zone d'étude, qui n'est pas observée à Strasbourg Neudorf. Pendant la campagne 2021, une proportion importante des moyennes journalières est au-dessus de la valeur guide de l'OMS.

En 2022, les stations au voisinage du GCO affichent une moyenne journalière de concentration en PM_{2.5} équivalente à celle de la référence urbaine, voire légèrement inférieure en début de campagne. Au cours de la seconde partie de la période de mesure, des moyennes journalières plus élevées sont observées sur la zone d'étude le 31 octobre et les 03, 06 et 08 novembre, atteignant sur certaines stations la valeur guide de l'OMS.

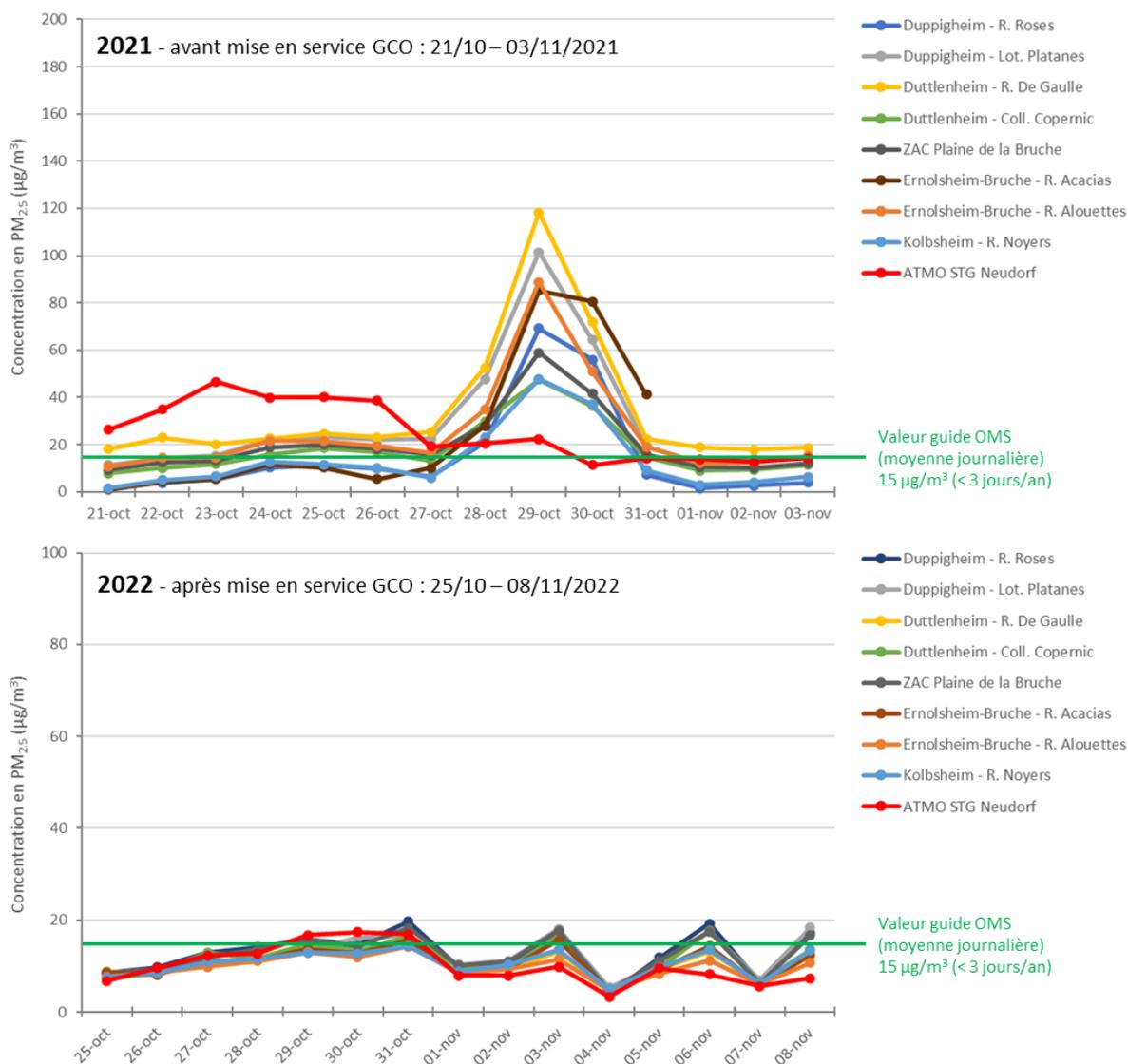


Figure 22. Concentrations en $PM_{2.5}$ (moyennes journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO et par la station ATMO Grand Est de Strasbourg Neudorf

6.5. Evolution du profil journalier de la concentration en $PM_{2.5}$

La **figure 23** ci-après illustre l'évolution journalière de la concentration en $PM_{2.5}$ observée en 2021 et en 2022 sur les stations au voisinage du GCO (moyenne des huit stations) en comparaison à celle mesurée sur la station ATMO Grand Est de fond urbain de Strasbourg Neudorf.

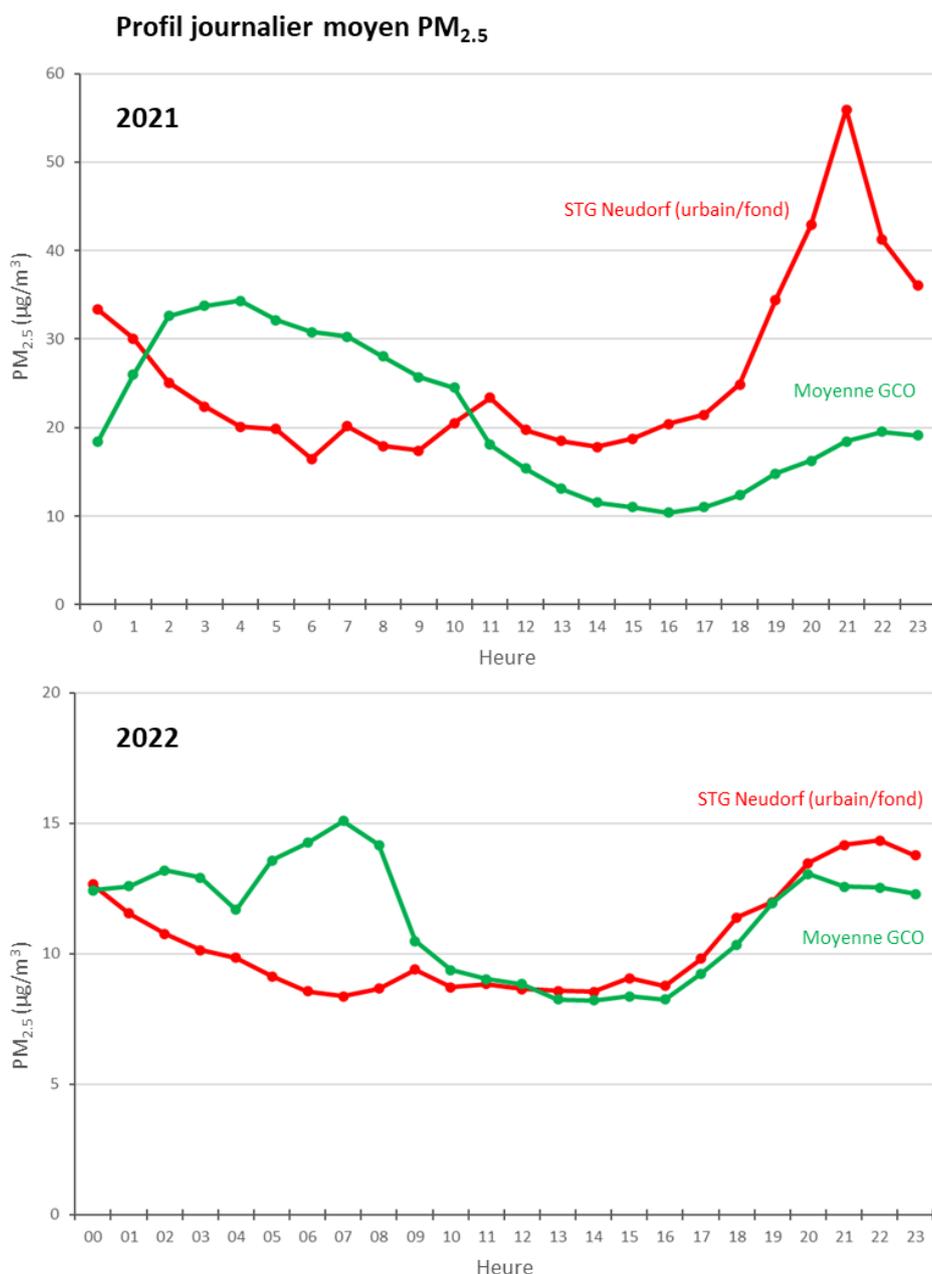


Figure 23. Profil journalier de concentration en PM_{2.5} (moyennes horaires en µg/m³) enregistrés en 2021 et 2022 sur les stations au voisinage du GCO (moyenne des huit stations) et sur la station ATMO Grand Est de référence de Strasbourg Neudorf

La station de fond urbain de Strasbourg Neudorf montre un profil comparable en 2021 et en 2022, avec un niveau de base relativement stable au cours de la journée et un pic en début de soirée, nettement plus marqué en 2021 qu'un 2022.

Au voisinage du GCO, les profils de concentration en PM_{2.5} mesurés en 2021 et 2022 sont proches, avec un creux en milieu de journée suivi d'une hausse qui culmine en fin de nuit. L'allure de la courbe journalière de 2022 paraît s'être rapprochée de celle observée sur la station urbaine de référence, mais ce rapprochement semble provenir d'une baisse des niveaux de PM_{2.5} mesurés à Strasbourg Neudorf plutôt que d'un changement de la situation sur le domaine d'étude.

6.6. Bilan PM_{2.5}

Les résultats relatifs aux PM_{2.5} sont similaires à ceux obtenus pour les PM₁₀. La comparaison des données de la campagne en 2022 à celles de l'état initial en 2021 avant ouverture du GCO et aux valeurs repères en matière de qualité de l'air ne révèle pas d'impact significatif de l'ouverture du GCO sur la concentration en PM_{2.5} sur la zone d'étude.

On notera néanmoins que les concentrations moyenne en PM_{2.5} mesurées pendant les deux campagnes sur le domaine d'étude sont proches de la valeur réglementaire en moyenne annuelle et dépassent la valeur guide de l'OMS pour la protection de la santé. De même, la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière est dépassée régulièrement sur la zone d'étude. Toute source additionnelle de PM_{2.5} est donc susceptible de porter atteinte à la santé des populations riveraines du GCO.

7. RESULTATS RELATIFS A LA CONCENTRATION EN PM₁

7.1. Campagne 2021

La **figure 24** ci-après présente les concentrations horaires en PM₁ mesurées du 20 octobre au 04 novembre 2021 sur les huit stations au voisinage du GCO. Contrairement aux polluants traités précédemment, les PM_{1,0} ne sont mesurées localement par aucune station ATMO Grand Est. L'interprétation des résultats ne pourra donc pas s'appuyer sur des données de référence locale. Les résultats présentés correspondent aux concentrations corrigées après inter-calibrage des capteurs (cf. **annexe 3**).

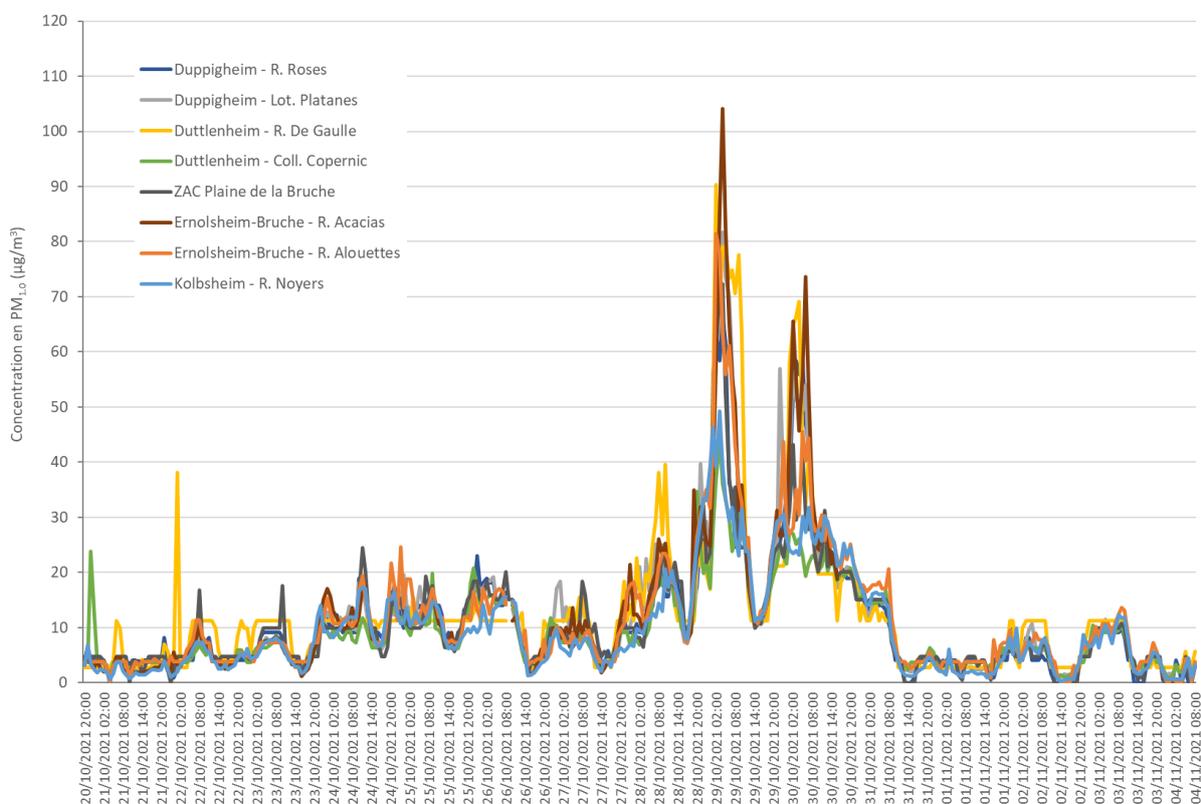


Figure 24. Concentrations en PM₁ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées du 20 octobre au 04 novembre 2021 par les huit stations au voisinage du GCO

Comme pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}, la période de mesure 2021 est caractérisée par un niveau de base relativement bas (compris entre 0 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en début et en fin de campagne, avec des variations journalières assez peu marquées, et par des pics de concentration en PM_{1,0} les 28, 29 et 30 octobre. Les hypothèses proposées pour expliquer l'origine de ces pics de particules sur le domaine d'étude ont été décrites précédemment : source(s) non identifiée(s) ou surestimation de la concentration en particules par les capteurs dans des conditions particulières de température et d'humidité ambiantes.

7.2. Campagne 2022

La **figure 25** ci-après présente les concentrations horaires en PM_1 mesurées du 25 octobre au 08 novembre 2022 sur les huit stations au voisinage du GCO, après correction selon les paramètres établis à la suite de l'étalonnage des capteurs (cf. **annexe 4**).

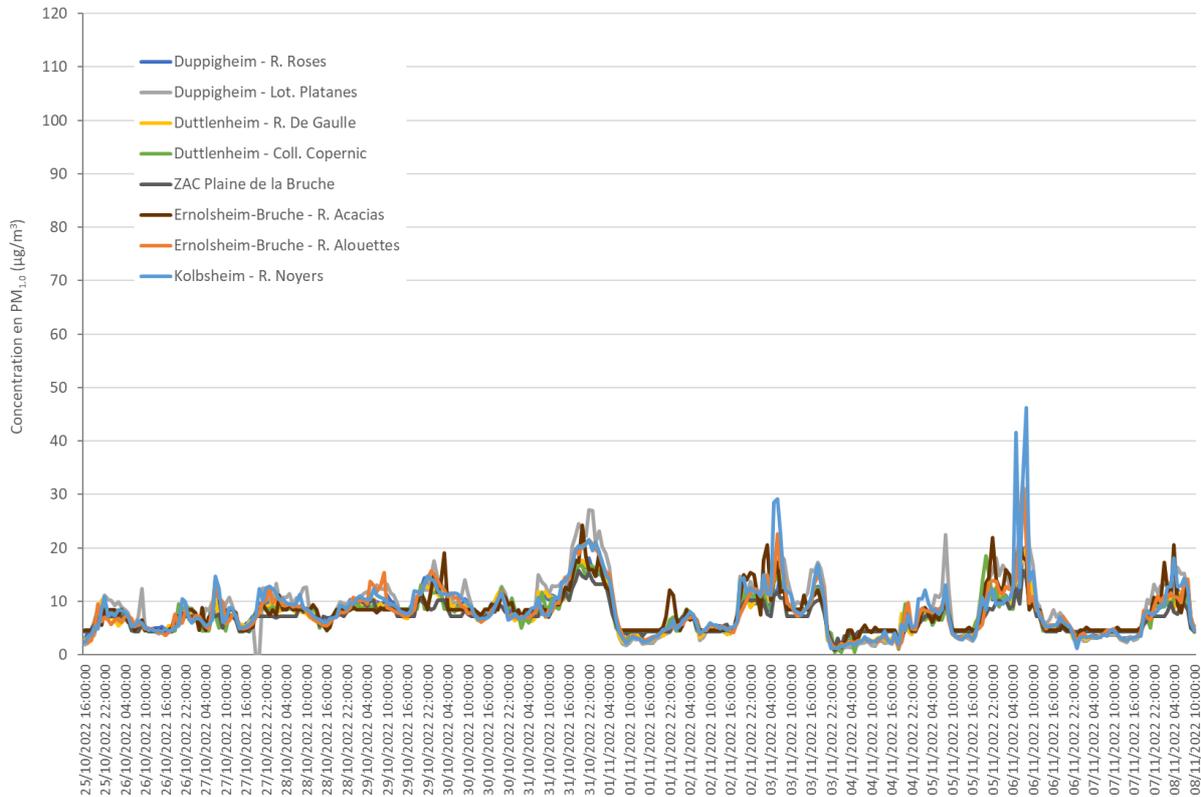


Figure 25. Concentrations en PM_1 (moyennes horaires en $\mu g/m^3$) enregistrées du 25 octobre au 08 novembre 2022 par les huit stations au voisinage du GCO

Le profil des concentrations en PM_1 mesurées lors de la campagne 2022 est similaire à ceux observées pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$. Comme en 2021, le niveau de base est compris entre 0 et $10 \mu g/m^3$. On observe également des variations journalières d'amplitude modérée, avec des pics de concentration moins marqués qu'en 2021 (entre 20 et $50 \mu g/m^3$, contre 50 à $100 \mu g/m^3$ en 2021).

7.3. Concentration en $PM_{1.0}$: comparaison à l'état initial

La **figure 26** ci-après présente une synthèse des données horaires de concentration en PM_1 mesurées en 2021 et 2022 sur la zone d'étude.

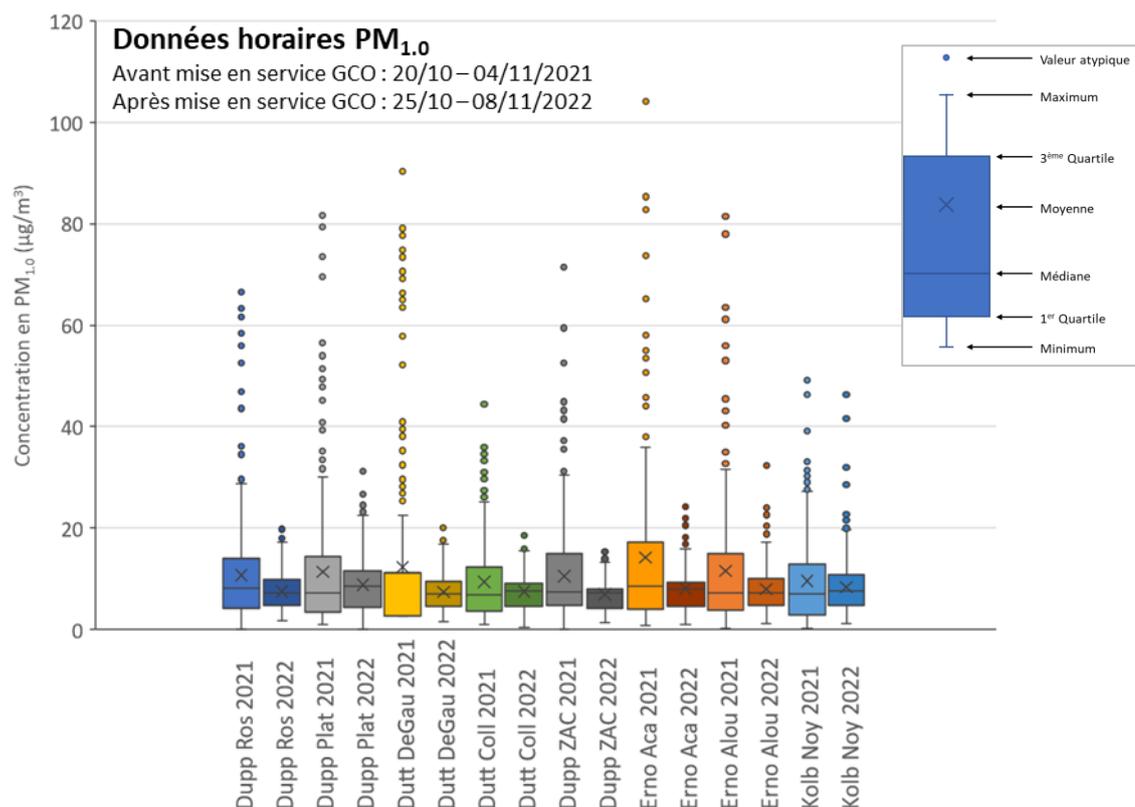


Figure 26. Concentrations en PM₁ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées en 2021 et 2022 par les huit stations au voisinage du GCO

Les concentrations moyennes en PM₁ mesurées en 2022 ont diminué par rapport à celles relevées en 2021 avant ouverture du GCO, ce qui s'explique par des valeurs hautes moins fréquentes et moins élevées en 2022. En comparaison à l'état initial, les concentrations médianes en PM₁ enregistrées en 2022 n'ont presque pas évolué.

7.4. Bilan PM_{1.0}

Comme pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}, l'examen des résultats de la campagne 2022 de mesure des PM₁ et leur comparaison à l'état initial déterminé en 2021 avant ouverture du GCO ne permettent pas de mettre en évidence un effet significatif du trafic routier du GCO pour ce paramètre.

8. BILAN

L'étude a pour objectif d'évaluer l'impact du trafic routier du GCO (ou A355), axe routier mis en service en décembre 2021, sur la qualité de l'air de quatre des communes qu'il traverse : Duppigheim, Duttlenheim, Ernolsheim-Bruche et Kolbsheim. Pour cela, deux campagnes de mesure de la qualité de l'air ont été réalisées au voisinage du GCO, la première en octobre-novembre 2021, un mois avant son ouverture, et la seconde en octobre-novembre 2022, dix mois après la mise en service de l'autoroute. Les deux campagnes ont consisté à mesurer pendant deux semaines la concentration en polluants atmosphériques caractéristiques du trafic routier (dioxyde d'azote NO_2 et particules en suspension PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ et PM_1) sur un ensemble de huit stations réparties le long du tracé du GCO sur le territoire des quatre communes étudiées. La campagne conduite en 2021 avant la mise en service du GCO a permis d'établir l'état initial de référence de la zone d'étude. La comparaison des résultats de cette étude à ceux obtenus lors de la campagne réalisée en 2022 en période de fonctionnement nominal du GCO doit ainsi permettre d'évaluer l'impact du trafic routier sur la qualité de l'air. L'interprétation des résultats est complétée par leur comparaison aux données mesurées sur des stations de référence opérées par ATMO Grand Est dans le département du Bas-Rhin et aux valeurs réglementaires en matière de qualité de l'air.

Du point de vue technique, les mesures ont été réalisées au moyen de stations connectées ETHERA NEMO équipées de microcapteurs de NO_2 et de PM. Les deux campagnes de mesure sur le terrain d'étude ont été accompagnées d'une phase d'étalonnage afin de vérifier la reproductibilité des mesures et l'absence de dérive des capteurs. L'étalonnage a été effectué en comparaison aux données mesurées par une station de référence opérée par ATMO Grand Est, ce qui a permis d'établir des paramètres de correction des signaux générés par les microcapteurs. Leur calibrage a mis en évidence une surestimation possible des concentrations en PM dans certaines conditions environnementales (température faible et humidité de l'air élevée), qui sera prise en compte dans l'interprétation des résultats.

Les données enregistrées en 2021 et 2022 sur les huit stations installées au voisinage du GCO montrent des niveaux de polluants relativement homogènes d'un site à l'autre. Les résultats seront donc interprétés de manière globale pour le domaine d'étude.

Les résultats relatifs à la **concentration en NO_2** enregistrée au voisinage du GCO pendant les deux périodes de mesure ne montrent pas d'augmentation des niveaux médians de ce polluant en 2022. Cependant, l'examen du profil journalier des concentrations en NO_2 indique que l'ouverture du GCO a entraîné un changement du régime de ce polluant sur la zone d'étude. En effet, alors que les données mesurées pendant la campagne 2021 traduisaient un régime de fond de type rural/périurbain, les résultats de la campagne 2022 décrivent un profil journalier se rapprochant d'un régime sous influence du trafic routier tel qu'observé à Strasbourg à proximité de l'A35. Même si les concentrations mesurées restent conformes aux valeurs réglementaires en vigueur, ce changement de régime est accompagné d'une hausse du nombre de pics de NO_2 . Ce changement de régime est susceptible d'augmenter l'exposition des populations riveraines du GCO à des niveaux supérieurs à la valeur guide recommandée par l'OMS pour la protection de la santé humaine.

Concernant les **particules en suspension (PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁)**, l'analyse des résultats obtenus en 2022 en comparaison à l'état initial en 2021, aux données mesurées sur les stations urbaines de référence et aux valeurs réglementaires ne permet pas de mettre en évidence d'effet significatif de l'ouverture du GCO sur cette composante de la qualité de l'air. La concentration médiane en PM₁₀ a augmenté sur l'ensemble des stations en 2022 en comparaison à 2021, mais cette hausse est également observée à Strasbourg. La concentration médiane en PM_{2.5} a diminué en 2022 par rapport à 2021, ce qui est aussi constaté en fond urbain à Strasbourg. Ces observations tendent à montrer que les concentrations en particules suivent une dynamique régionale et que le trafic routier empruntant le GCO a peu d'impact sur le régime des PM à l'échelle locale.

Des pics de particules ont été observés ponctuellement sur la zone d'étude, de forte amplitude lors d'un unique épisode en 2021 et de moindre intensité à plusieurs reprises en 2022, mais leur origine reste incertaine : source(s) non identifiée(s) ou surestimation de la concentration en particules par les capteurs dans des conditions spécifiques de température et d'humidité ambiantes.

Si la réglementation européenne en matière de NO₂, de PM₁₀ et de PM_{2.5} est globalement respectée, les valeurs guides de qualité de l'air recommandées par l'OMS pour la protection de la santé humaine sont en revanche presque systématiquement dépassées. On rappelle que les valeurs interprétatives en question sont exprimées en moyenne annuelle et que leur comparaison à des moyennes déterminées lors de campagnes de deux semaines est réalisée ici à titre indicatif. Pour autant, ces observations indiquent que le trafic routier du GCO représente une source additionnelle de polluants affectant une zone rurale dont la situation en matière de qualité de l'air est déjà sensible.

A une échelle plus globale, du strict point de vue de la qualité de l'air, l'existence du GCO pourrait se justifier si des effets positifs étaient observés à Strasbourg par délestage de l'A35. En effet, une diminution des niveaux de polluants atmosphériques mesurés en zone urbaine densément peuplée est susceptible d'entraîner, par effet de seuil, des bénéfices importants en termes de santé. Même si ces considérations sortent du cadre de la présente étude, l'examen des données mesurées en 2022 à Strasbourg indiquent effectivement une diminution des niveaux de PM_{2.5} et dans une moindre mesure de NO₂ en comparaison à 2021 (mais une hausse de ceux des PM₁₀). Pour être menée à bien, une approche globale de ce type doit cependant s'appuyer sur des jeux de données plus conséquents et des analyses plus poussées, que ne manqueront pas de mettre en œuvre les acteurs régionaux lors de l'évaluation de l'impact global du GCO. On peut toutefois s'interroger sur la pertinence d'une politique d'amélioration de la qualité de l'air qui, au nom de l'intérêt général, organiserait le transfert des sources de polluants des zones urbaines vers les zones périurbaines et rurales, quand la réduction des émissions apparaît comme un objectif prioritaire.

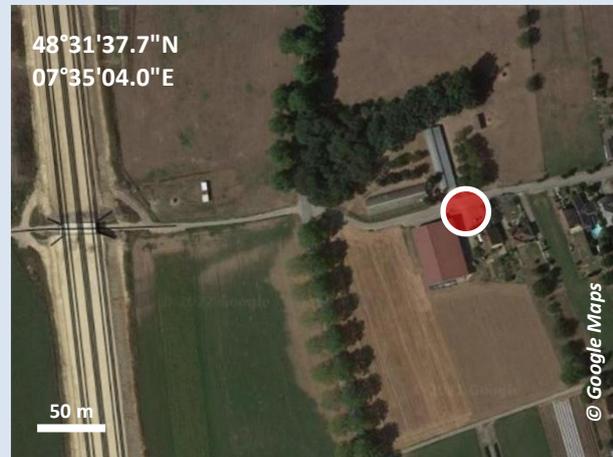
ANNEXES

Annexe 1 – Description des stations.....	46
Annexe 2 – Description du site de référence pour l'étalonnage des capteurs.....	50
Annexe 3 – Etalonnage des capteurs pour la campagne 2021	51
Annexe 4 – Etalonnage des capteurs pour la campagne 2022	59

Annexe 1 – Description des stations

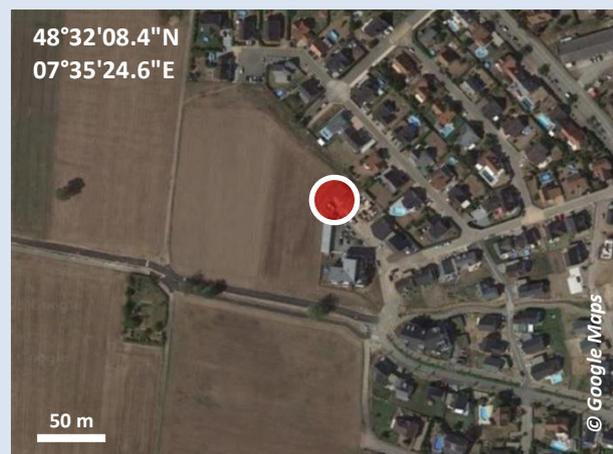
Station 2 : Duppigheim, rue des Roses

La station est localisée à 240 m à l'est de l'A355, à proximité d'une exploitation agricole située en périphérie de Duppigheim.



Station 4 : Duppigheim, lotissement des Platanes

Le point de mesure est localisé à 800 m à l'est de l'A355, au niveau des premières habitations dans un quartier résidentiel situé sur la commune de Duppigheim.

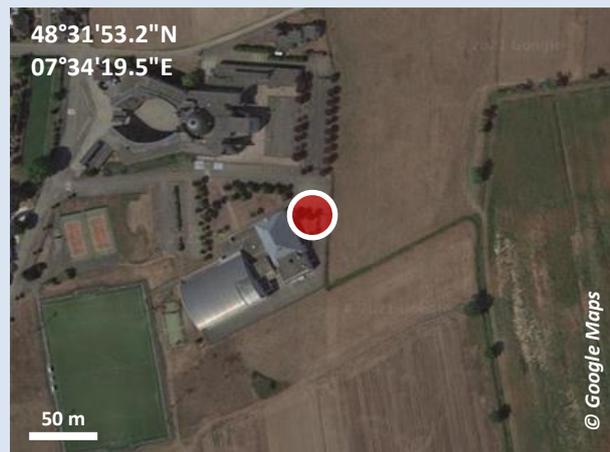


Station 6 : Duttlenheim, rue Général De Gaulle

La station est située à 530 m à l'ouest de l'A355, au niveau des premières habitations à l'entrée de ville sud-est de Duttlenheim.

**Station 7 : Duttlenheim, collège Copernic**

Le point de mesure est situé à 570 m à l'ouest de l'A355, à proximité du collège Nicolas Copernic à Duttlenheim.

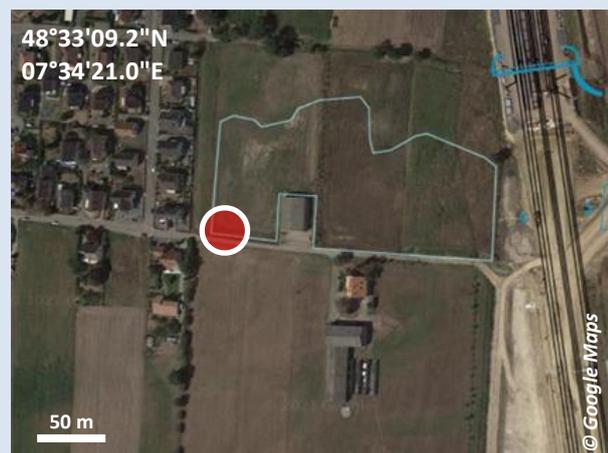


Station 10 : Duppigheim, ZAC de la Plaine de la Bruche

La station est localisée à 70 m à l'est de l'A355, au cœur du parc d'activités de la Plaine de la Bruche, sur la commune de Duppigheim. Le point de mesure est entouré d'établissements industriels et commerciaux.

**Station 13 : Ernolsheim-Bruche, rue des Acacias**

Le point de mesure est situé à 240 m à l'ouest de l'A355, en bordure des premières habitations au sud d'Ernolsheim-Bruche, à proximité d'une exploitation agricole.



Station 14 : Ernolsheim-Bruche, rue des Alouettes

La station est localisée à 330 m à l'ouest de l'A355, en limite d'un quartier résidentiel au nord-est d'Ernolsheim-Bruche.

**Station 16 : Kolbsheim, rue des Noyers**

Le point de mesure est situé à Kolbsheim, à 650 m à l'est de l'A355, au niveau des premières habitations de la commune, à proximité du château de Kolbsheim.



Annexe 2 – Description du site de référence pour l'étalonnage des capteurs

Station de référence ATMO Grand Est

Station : Metz Borny (49°06'36.6"N ; 06°13'23.6"E)

Opérateur : ATMO Grand Est

Code site : FR01012

Type d'implantation : urbaine

Influence : fond urbain

Mesures réglementaires :

NO₂ (chimiluminescence)

PM₁₀ (BAM 1020)

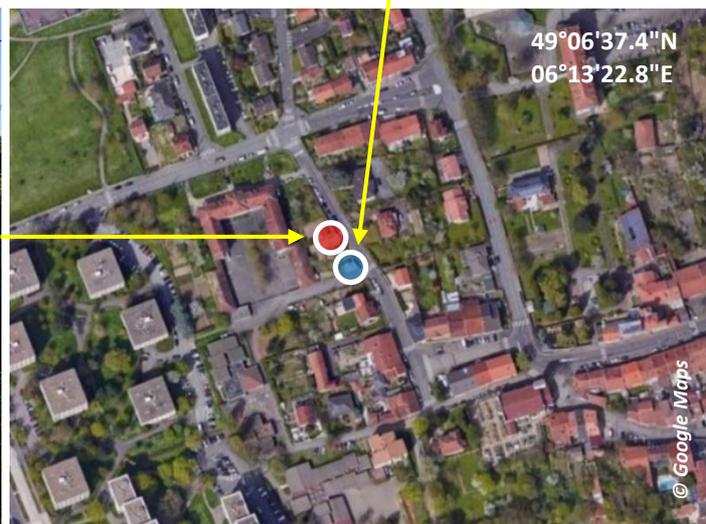
Type de données : moyennes horaires

NO₂ (µg/m³)

PM₁₀ (µg/m³)



Site de référence pour l'étalonnage des capteurs



Annexe 3 – Etalonnage des capteurs pour la campagne 2021

A3.1. Mesure de la concentration en NO₂

La **figure A3.1** ci-après présente les concentrations en NO₂ mesurées sur le site de référence par les huit capteurs NEMo et par la station de référence pendant la période d'étalonnage précédant la campagne de mesure, du 14 au 17 octobre 2021, avant correction (**figure A3.1A**) et après correction (**figure A3.1B**) des données des stations NEMO. Le **tableau A3.1** ci-après présente les coefficients de corrélation (R) associés à l'intercomparaison des données enregistrées par les capteurs.

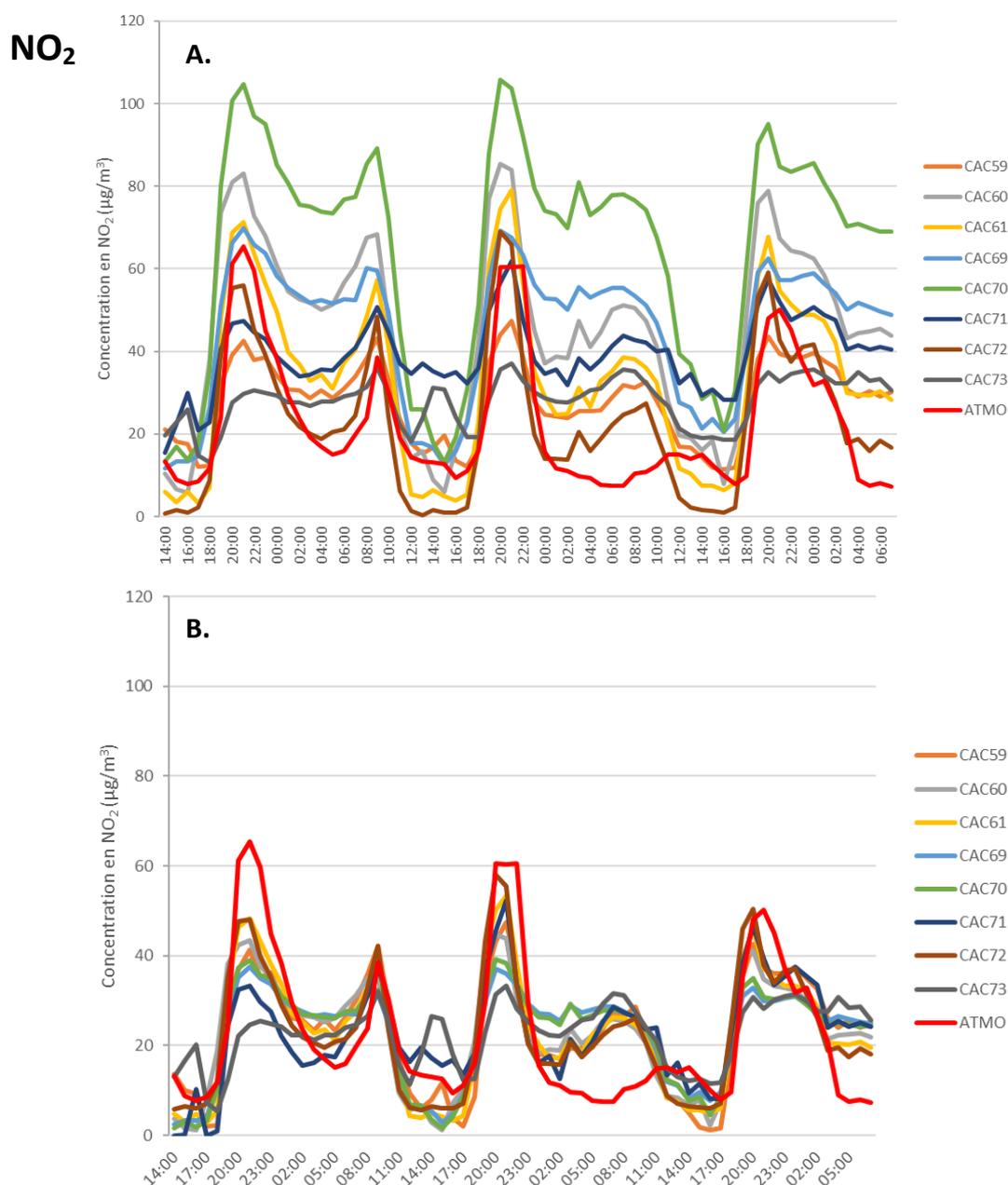


Figure A3.1. Concentrations en NO₂ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées par les huit stations ETHERA NEMO et par la station de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 17 octobre 2021 : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Les profils associés aux capteurs sont relativement bien corrélés (**figure A3.1A**), avec des coefficients de corrélation (R) compris entre 0,85 et 1 pour la comparaison deux à deux des capteurs CAC59, 60, 61, 69, 70 et 72 (**tableau A3.1**). Le capteur CAC71 est légèrement moins bien corrélé aux autres, avec des coefficients compris entre 0,78 et 0,87. Le capteur CAC73 présente la moins bonne corrélation (R entre 0,66 et 0,84). Dans l'ensemble, du point de vue qualitatif (profil des concentrations), la reproductibilité des mesures de NO_2 est satisfaisante. En revanche, les données quantitatives mesurées par les différents capteurs sur un même site de référence montrent des écarts assez marqués. Le capteur CAC70 produit le signal le plus élevé, supérieur d'un facteur 2 à 3 à celui enregistré par le capteur CAC72. Les valeurs mesurées par les six autres capteurs s'échelonnent entre ces deux profils extrêmes. Cette observation confirme la nécessité d'étalonner les capteurs avant d'être déployés sur le terrain.

Tableau A3.1. Coefficients de corrélation (R) associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMo pour les concentrations en NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 17 octobre 2021

	CAC59	CAC60	CAC61	CAC69	CAC70	CAC71	CAC72	CAC73
CAC59		0,92	0,95	0,90	0,91	0,86	0,93	0,81
CAC60			0,97	0,93	0,95	0,82	0,95	0,65
CAC61				0,92	0,94	0,84	0,98	0,69
CAC69					1,00	0,78	0,86	0,75
CAC70						0,80	0,85	0,65
CAC71							0,85	0,83
CAC72								0,65
CAC73								

Le profil des concentrations en NO_2 mesurées par les stations NEMo reproduit assez bien celui enregistré par la station de référence (**figure A3.1B**). Le pic journalier observé en fin d'après-midi sur les données de référence est également présent sur le profil des stations NEMo, avec toutefois des écarts sensibles dans la hauteur du pic selon les capteurs. En revanche, la décroissance nocturne est beaucoup moins marquée pour les stations NEMo que pour la station de référence, ce qui peut entraîner une surestimation de la concentration moyenne, d'un facteur 1 (CAC72) à 3 (CAC70).

La normalisation des données des stations NEMo en fonction des valeurs de référence (réduction de ligne de base et mise à l'échelle des concentrations) permet de réduire sensiblement l'écart entre les stations NEMo et celui entre les stations NEMo et la station de référence (**figure A3.2B**).

Le même exercice a été réalisé pour la période d'étalonnage **post-campagne** qui a eu lieu du 04 au 07 novembre 2021 sur le même site de référence. Des résultats similaires ont été obtenus, confirmant l'absence de dérive des capteurs entre le début et la fin de la période de mesure sur le terrain. En conséquence, seuls les paramètres de correction déterminés lors de la période d'étalonnage pré-campagne ont été retenus et appliqués aux données mesurées au voisinage du GCO.

A3.2. Mesure de la concentration en PM₁₀

La **figure A3.2** ci-après présente les concentrations en PM₁₀ mesurées sur le site de référence par les huit capteurs NEMO et par la station de référence pendant la période d'étalonnage précédant la campagne de mesure, du 14 au 16 octobre 2021, avant correction (**figure A3.2A**) et après correction (**figure A3.2B**) des données des stations NEMO. Le **tableau A3.2** ci-après présente les coefficients de corrélation (R) associés à l'intercomparaison des données enregistrées par les capteurs.

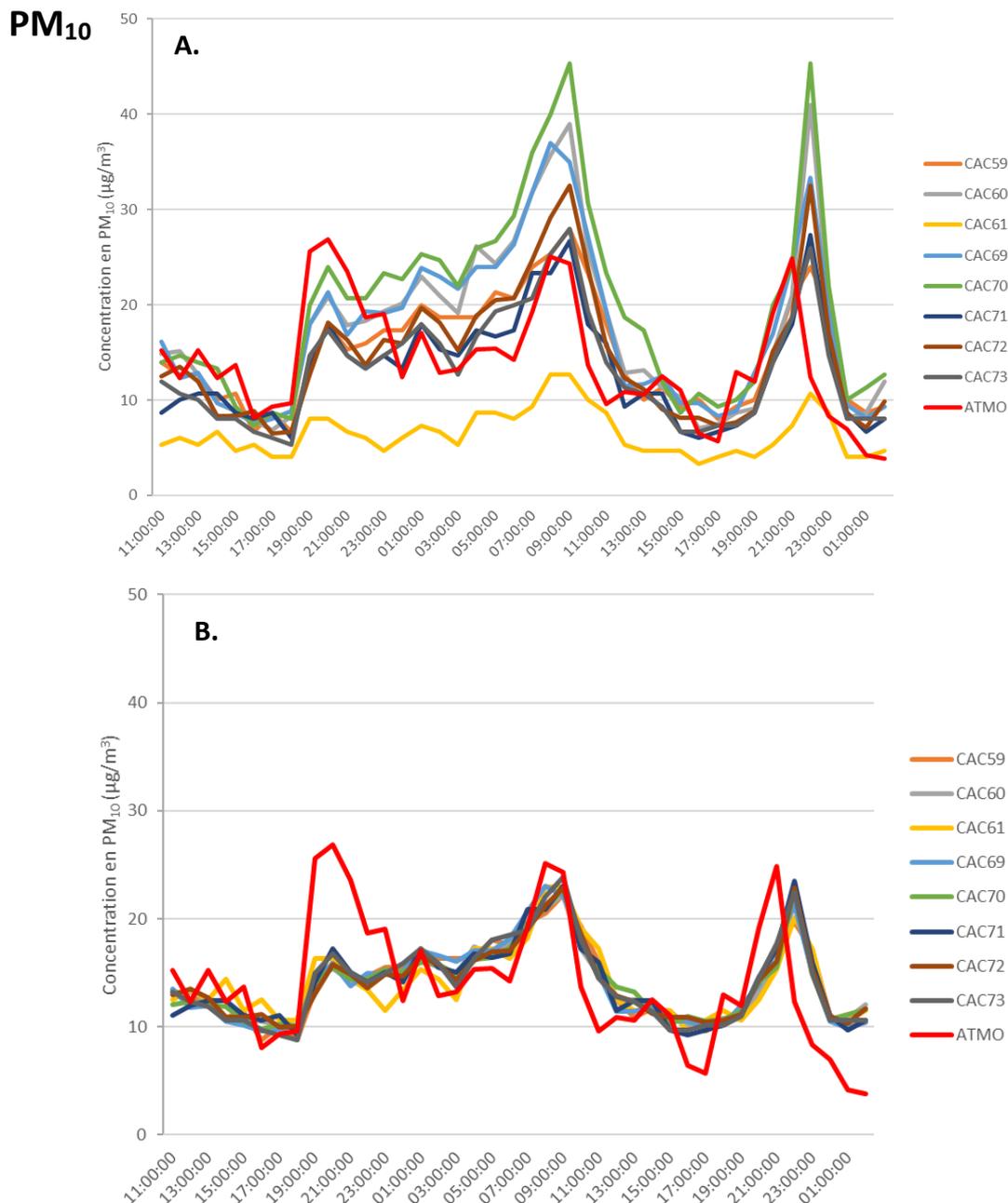


Figure A3.2. Concentrations en PM₁₀ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées par les huit stations ETHERA NEMO et par la station de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 16 octobre 2021 : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

La corrélation entre les données brutes mesurées par les huit capteurs est relativement forte (**figure A3.2A**). Pour les stations CAC59, 60, 69, 70, 71, 72 et 73, R est compris entre 0,89 et 0,99 (**tableau A3.2**). Le capteur CAC61 se distingue par une moindre corrélation avec les capteurs CAC59, 60, 70 et 73 (R compris entre 0,72 et 0,83). Si l'on considère le profil des concentrations en PM_{10} , la reproductibilité des mesures entre stations NEMo est satisfaisante. De plus, les données collectées par les micro-capteurs reproduisent assez bien le profil observé sur la station de référence. Du point de vue quantitatif, les données brutes mesurées par les capteurs CAC59, 70, 71, 72 et 73 génèrent une moyenne équivalente à la moyenne de référence (rapport de 0,94 à 1,07). Les capteurs CAC60, 69 et 70 tendent à surestimer la concentration de référence (+20 à 40 %). Le capteur CAC61 se démarque avec une sous-estimation de 40 % de la moyenne de référence.

Tableau A3.2. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMo pour les concentrations en PM_{10} ($\mu g/m^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021

	CAC59	CAC60	CAC61	CAC69	CAC70	CAC71	CAC72	CAC73
CAC59		0,96	0,74	0,93	0,98	0,89	0,91	0,95
CAC60			0,82	0,99	0,97	0,95	0,96	0,97
CAC61				0,83	0,72	0,94	0,91	0,72
CAC69					0,95	0,96	0,96	0,97
CAC70						0,89	0,99	0,90
CAC71							0,99	0,89
CAC72								0,90
CAC73								

Après correction (**figure A3.2B**), les concentrations données par les stations NEMo sont très proches les unes des autres, y compris pour la station CAC61.

La période d'étalonnage post-campagne réalisée du 04 au 07 novembre 2021 a produit des résultats équivalents, ce qui indique une dérive peu importante des capteurs PM_{10} entre le début et la fin de la période de mesure. A l'instar de la correction des données de NO_2 , la correction des concentrations en PM_{10} a été effectuée en appliquant les paramètres déterminés lors de la phase d'étalonnage pré-campagne.

L'étalonnage des concentrations en PM_{10} a été réalisé sur une période plus courte que pour le NO_2 . En effet, la fin de la phase d'étalonnage a été caractérisée par une décorrélation des données mesurées par les stations NEMo vis-à-vis des concentrations enregistrées par la station de référence (**figure A3.3**). En particulier, les capteurs Next-PM des huit stations NEMo ont mesuré les 16 et 17 octobre 2021 deux pics de PM_{10} qui n'ont pas été enregistrés par la station de référence. Ces deux pics sont indiqués par des flèches rouges sur la **figure A3.3**. Les capteurs optiques de PM montrant parfois une surestimation significative du signal lorsque l'humidité de l'air est élevée, on a représenté sur la **figure A3.4** la température, la pression atmosphérique et l'humidité relative enregistrées par les stations NEMo pendant la période d'étalonnage. Les pics sont observés en fin de nuit, lorsque la température est la plus basse et l'humidité relative de l'air est saturante. Ces conditions favorisent la

formation de condensats au niveau du capteur qui, malgré le chauffage du flux d'air entrant, pourrait expliquer la surestimation du signal. Cette hypothèse a déjà été proposée lors d'essais métrologiques réalisés par Air Breizh sur le capteur Next-PM monté sur des stations ETHERA NEMo⁷.

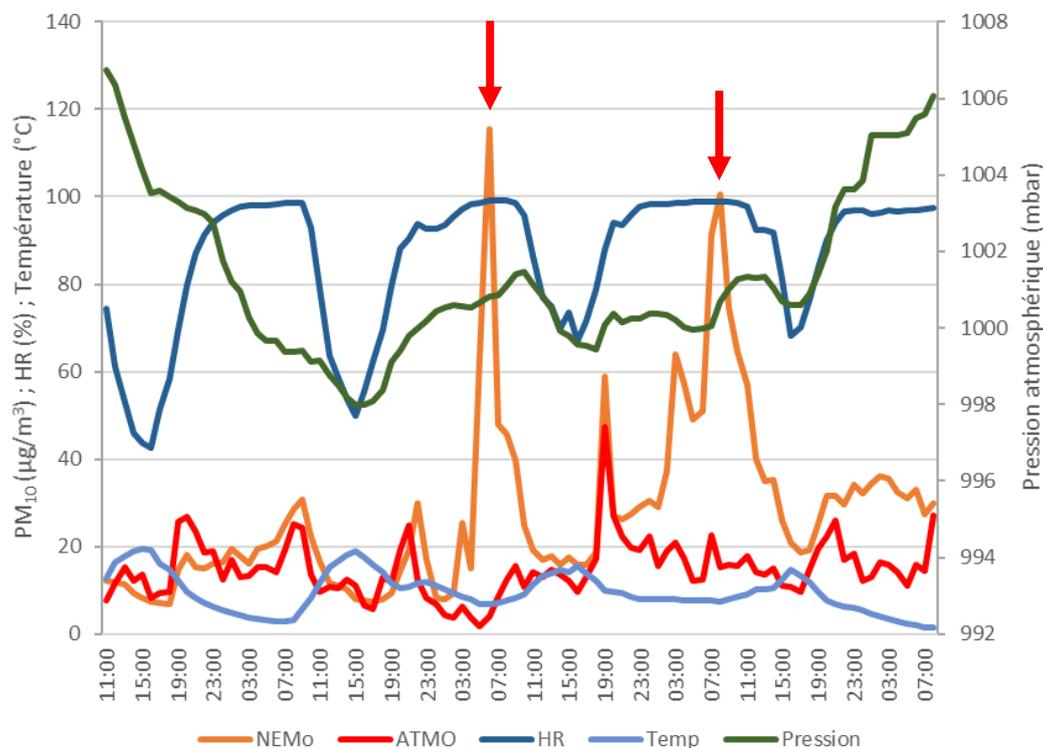


Figure A3.3. Moyenne des données horaires corrigées des huit stations NEMo lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021 pour la concentration en PM_{10} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), l'humidité relative (%), la pression atmosphérique (mbar) et la température de l'air ($^{\circ}\text{C}$), et concentration en PM_{10} (moyenne horaire en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées par la station de référence ATMO Grand Est de Metz Borny

A3.3. Mesure des concentrations en $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$

Les $PM_{2.5}$ et les $PM_{1.0}$ n'étant pas mesurées sur la station de référence, la correction des capteurs repose ici sur la normalisation des signaux de chaque capteur par rapport à la moyenne des valeurs enregistrées par les huit capteurs pendant la période d'étalonnage. Hormis ce changement de référence (moyenne des données des stations NEMo au lieu des données de la station de référence), la méthode de normalisation est identique à celle appliquée aux données de NO_2 et PM_{10} (réduction de ligne de base et mise à l'échelle des signaux).

Les données relatives aux $PM_{2.5}$ et aux $PM_{1.0}$ avant et après correction sont présentées sur les **figures A3.4** et **A3.5**, respectivement. Les coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des capteurs sont donnés dans les **tableaux A3.3** et **A3.4** ci-après.

⁷ Air Breizh (Mai 2020). Evaluation des micro-capteurs next-PM/NEMo TERA Environnement -Campagnes de mesures janvier/février 2020

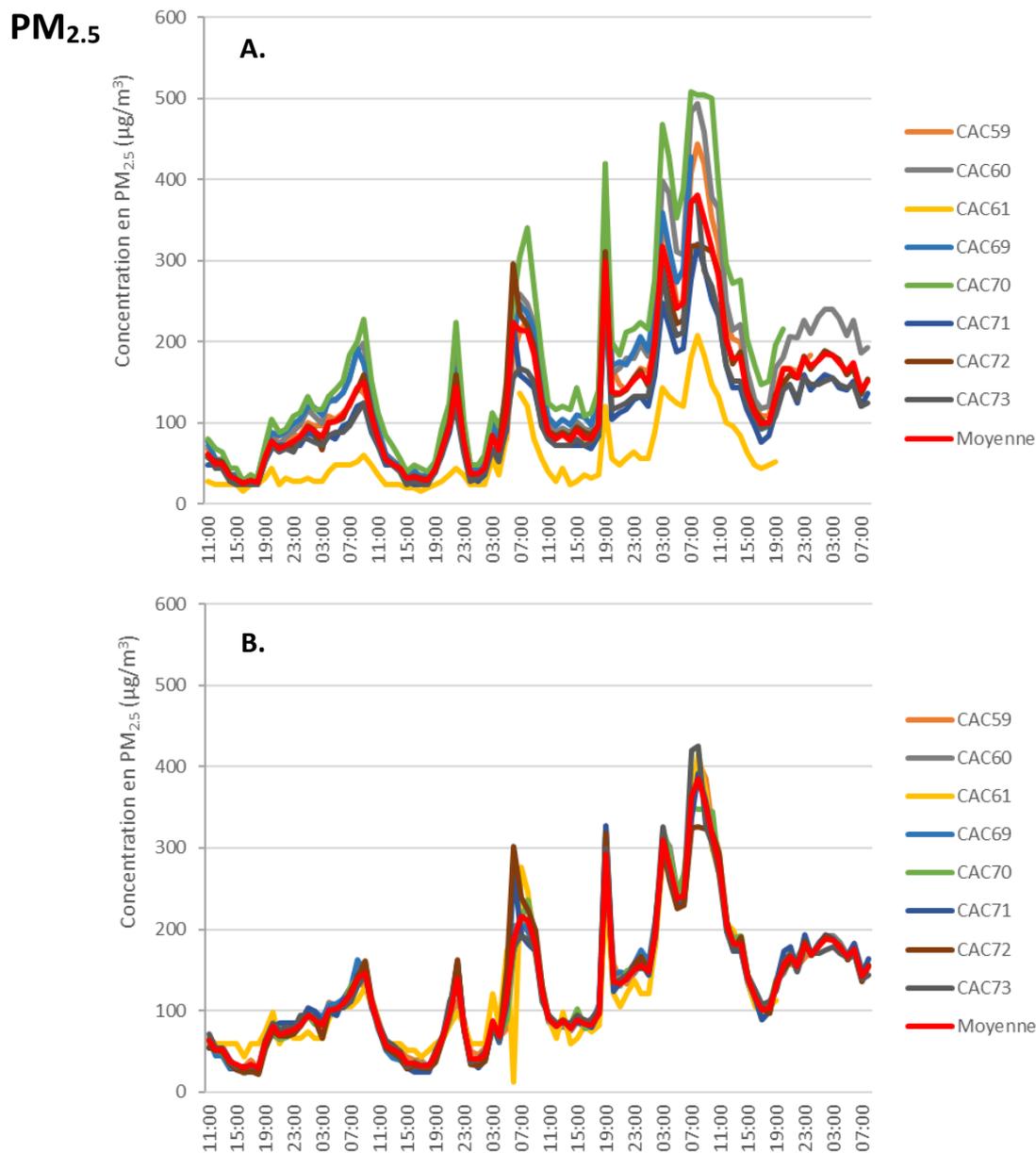


Figure A3.4. Concentrations en PM_{2.5} (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021 sur le site de référence par les huit stations ETHERA NEMO : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Le profil global de concentration en PM_{2.5} (**figure A3.4A**) est similaire à celui observé pour les PM₁₀ (**figure A3.2**). Les signaux enregistrés par les huit stations sont bien corrélés, avec des coefficients de corrélation compris entre 0,96 et 0,99 pour 7 des 8 capteurs (**tableau A3.3**). Comme pour les PM₁₀, le capteur CAC61 se démarque avec un signal plus faible et une moins bonne corrélation en comparaison aux données mesurées par les autres capteurs. La correction permet d'aligner les signaux sur la moyenne de manière satisfaisante (**figure A3.4B**). Seul le capteur CAC61 affiche des écarts résiduels pour certaines portions du profil.

Tableau A3.3. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMO pour les concentrations en $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021

	CAC59	CAC60	CAC61	CAC69	CAC70	CAC71	CAC72	CAC73
CAC59		0,99	0,85	0,98	0,99	0,97	0,95	0,99
CAC60			0,87	0,99	0,99	0,98	0,97	0,99
CAC61				0,84	0,85	0,90	0,92	0,85
CAC69					0,99	0,98	0,97	0,99
CAC70						0,97	0,99	0,96
CAC71							0,99	0,97
CAC72								0,96
CAC73								

Les résultats relatifs aux $PM_{1.0}$ sont identiques à ceux obtenus pour les $PM_{2.5}$, avec une reproductibilité encore plus importante (**figure A3.5A**). La déviation la plus forte est à nouveau observée pour le capteur CAC61, qui affiche un signal plus faible, mais ses données montrent tout de même une bonne corrélation à celles des autres capteurs ($R > 0,9$, **tableau A3.4**). La correction appliquée aux données permet d'atteindre un haut niveau d'alignement des capteurs, y compris pour le CAC61 (**figure A3.5B**).

Tableau A3.4. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMO pour les concentrations en $PM_{1.0}$ ($\mu g/m^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021

	CAC59	CAC60	CAC61	CAC69	CAC70	CAC71	CAC72	CAC73
CAC59		0,99	0,91	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98
CAC60			0,91	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
CAC61				0,90	0,93	0,90	0,92	0,89
CAC69					0,99	0,99	0,99	0,99
CAC70						0,98	0,99	0,98
CAC71							0,99	0,98
CAC72								0,98
CAC73								

En l'absence de données de référence pour les $PM_{1.0}$ et $PM_{2.5}$ pour cette phase d'étalonnage, l'interprétation ne peut pas être approfondie. On relève que la reproductibilité des capteurs Next-PM est d'autant plus élevée que le diamètre des particules diminue. On note par ailleurs que les pics observés pour les PM_{10} (**figure A3.3**) sont également présents sur les profils des $PM_{1.0}$ et $PM_{2.5}$. On peut donc penser que les commentaires au sujet de la surestimation des concentrations en particules PM_{10} dans certaines conditions météorologiques sont également valables pour les $PM_{1.0}$ et les $PM_{2.5}$.

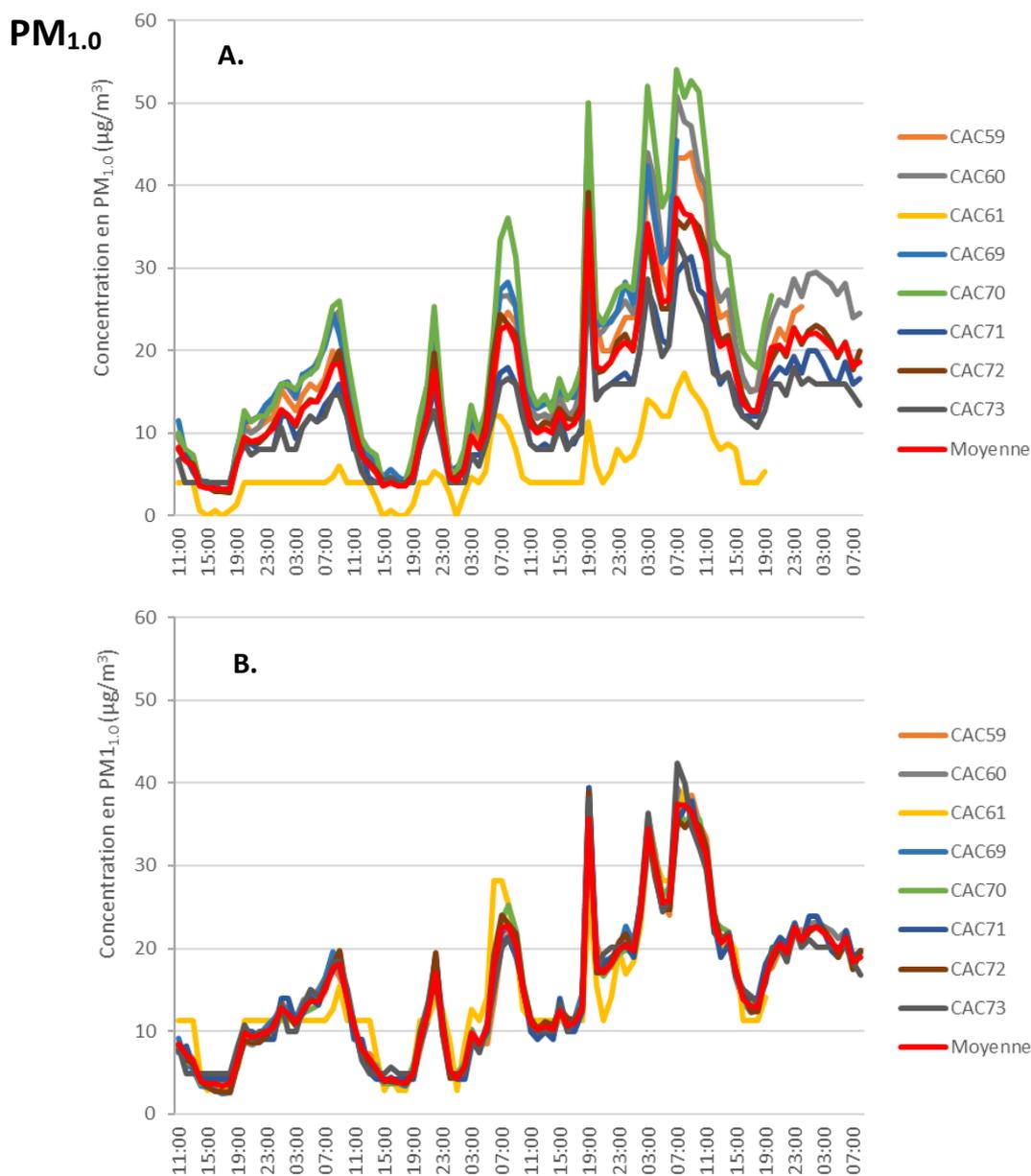


Figure A3.5. Concentrations en PM_{1.0} (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées lors de la période d'étalonnage du 14 au 18 octobre 2021 sur le site de référence par les huit stations ETHERA NEMo : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Annexe 4 – Etalonnage des capteurs pour la campagne 2022

A4.1. Mesure de la concentration en NO₂

La **figure A4.1** ci-après présente les concentrations en NO₂ mesurées sur le site de référence par les huit capteurs NEMo et par la station de référence pendant la période d'étalonnage précédant la campagne de mesure, du 21 au 24 octobre 2022, avant correction (**figure A4.1A**) et après correction (**figure A4.1B**) des données des stations NEMo. Le **tableau A4.1** ci-après présente les coefficients de corrélation associés à l'intercomparaison des données enregistrées par les capteurs.

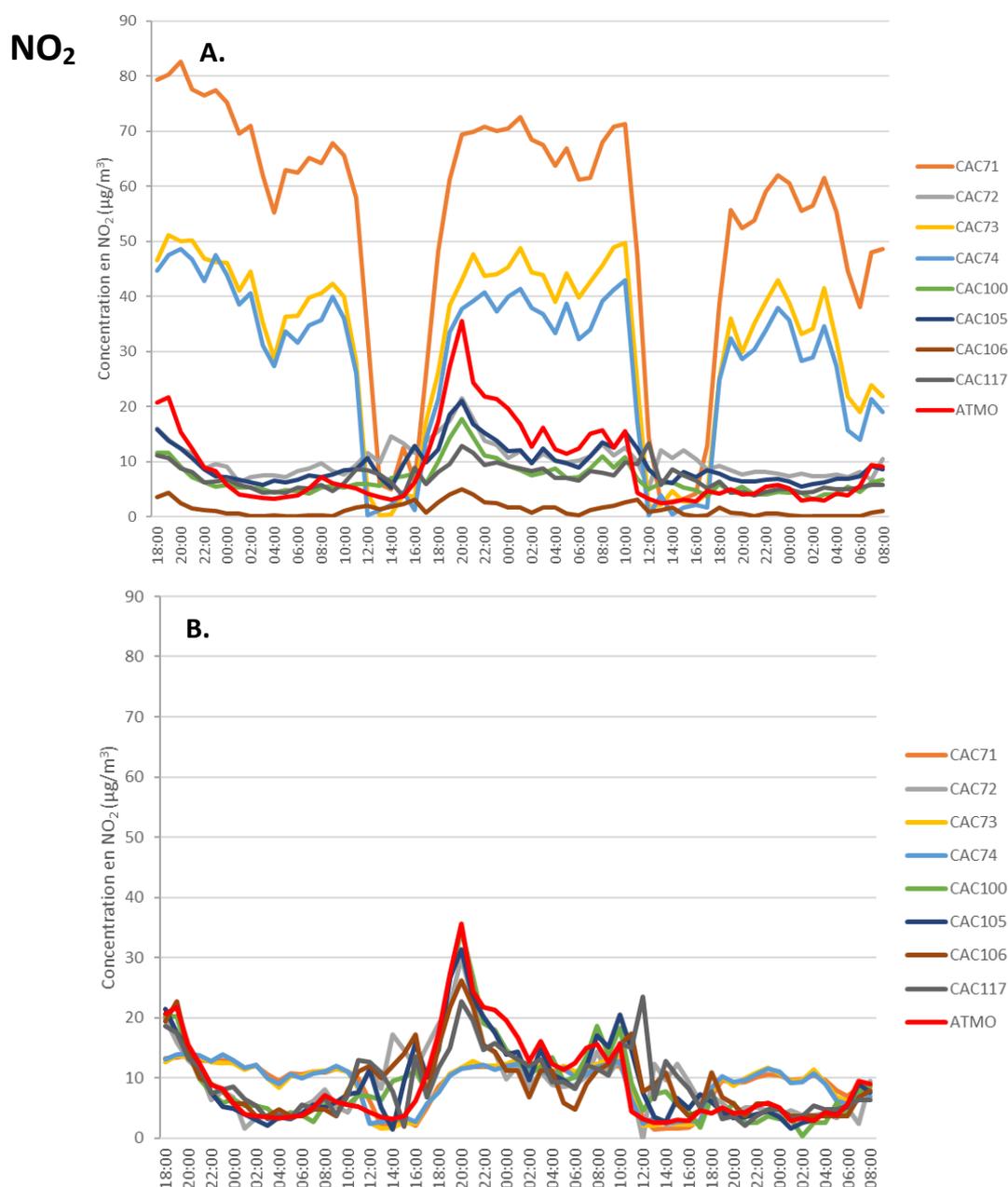


Figure A4.1. Concentrations en NO₂ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées par les huit stations ETHERA NEMo et par la station de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022 : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Deux groupes de profils se distinguent. Le premier rassemble les capteurs CAC72, CAC100, CAC105, CAC106 et CAC117, qui tendent à sous-estimer les données de référence mais dont les profils sont proches du profil de référence (R compris entre 0,5 et 0,9). Pour ces capteurs, la correction permet de les aligner sur la station de référence de manière satisfaisante. Le second groupe comprend les capteurs CAC71, 72 et 74, qui sont très bien corrélés entre eux mais peu avec le signal de référence (R d'environ 0,25) et qui surestime ce dernier d'un facteur 3 à 6. La correction permet d'améliorer la corrélation avec les données de référence, mais au prix d'une distorsion importante du signal (amplification des valeurs faibles et atténuation des valeurs fortes). Les concentrations en NO_2 enregistrées par ces trois capteurs sont donc à considérer avec prudence.

Tableau A4.1. Coefficients de corrélation (R) associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMo pour les concentrations en NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022

	CAC71	CAC72	CAC73	CAC74	CAC100	CAC105	CAC106	CAC117
CAC71		0,03	0,97	0,97	0,30	0,31	0,12	0,11
CAC72			0,07	0,06	0,88	0,82	0,84	0,64
CAC73				0,99	0,33	0,32	0,12	0,11
CAC74					0,31	0,29	0,12	0,09
CAC100						0,94	0,89	0,77
CAC105							0,88	0,80
CAC106								0,79
CAC117								

A4.2. Mesure de la concentration en PM_{10}

La **figure A4.2** ci-après présente les concentrations en PM_{10} mesurées sur le site de référence par les huit capteurs NEMo et par la station de référence pendant la période d'étalonnage précédant la campagne de mesure, du 21 au 24 octobre 2022, avant correction (**figure A4.2A**) et après correction (**figure A4.2B**) des données des stations NEMo. Le **tableau A4.2** ci-après présente les coefficients de corrélation associés à l'intercomparaison des données enregistrées par les capteurs.

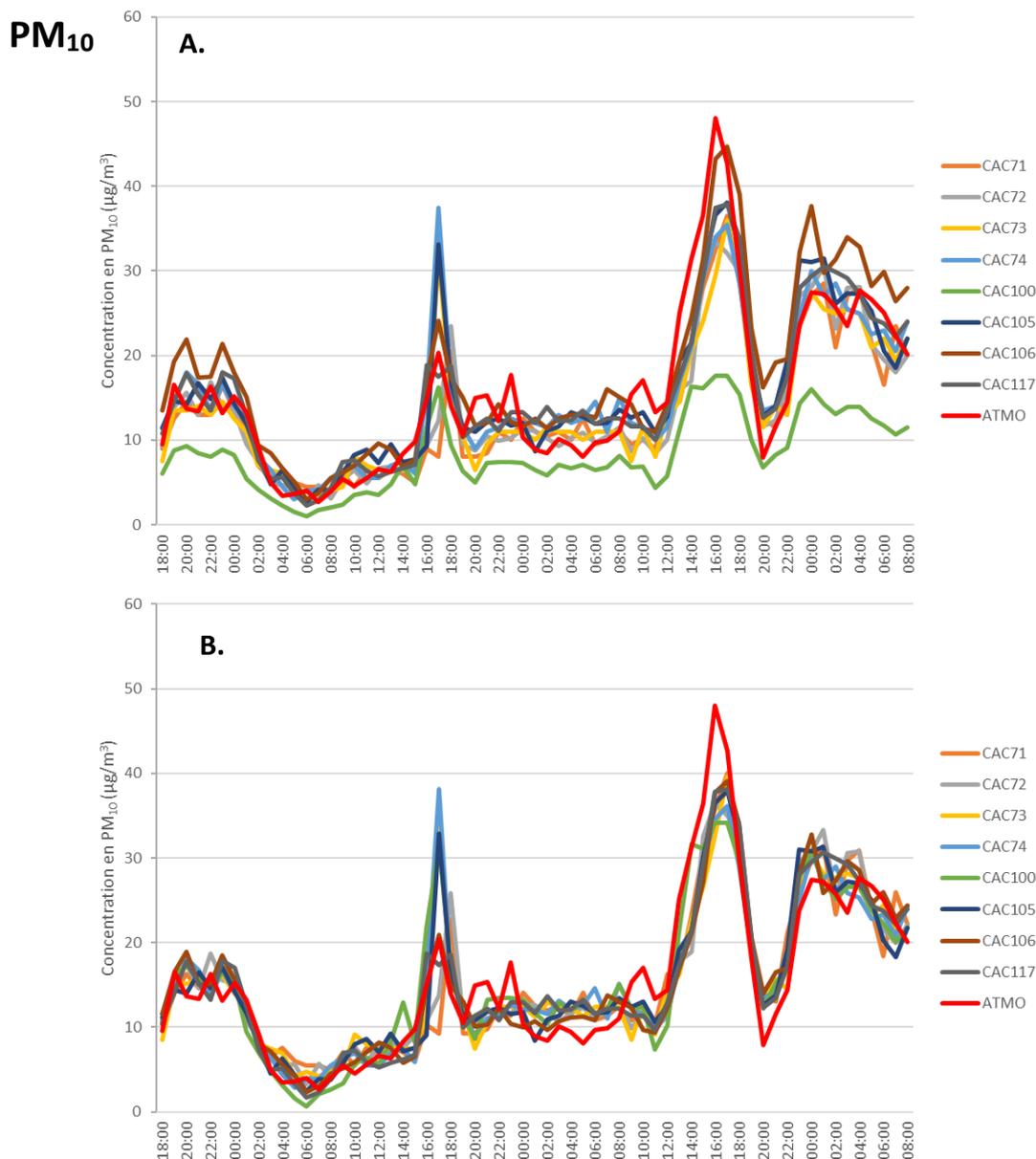


Figure A4.2. Concentrations en PM₁₀ (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées par les huit stations ETHERA NEMo et par la station de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022 : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

La corrélation entre les données brutes mesurées par les huit capteurs est relativement forte (**figure A4.2A**), avec un R est compris entre 0,87 et 0,98 (**tableau A4.2**). Si l'on considère le profil des concentrations en PM₁₀, la reproductibilité des mesures entre stations NEMo est satisfaisante. De plus, les données collectées par les micro-capteurs reproduisent assez bien le profil observé sur la station de référence. Du point de vue quantitatif, les données brutes mesurées par les capteurs génèrent une moyenne équivalente à la moyenne de référence (rapport de 0,89 à 1,16). Seul le capteur CAC100 se démarque avec une sous-estimation d'un facteur 2 de la moyenne de référence.

Tableau A4.2. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMO pour les concentrations en PM_{10} ($\mu g/m^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022

	CAC71	CAC72	CAC73	CAC74	CAC100	CAC105	CAC106	CAC117
CAC71		0,97	0,89	0,87	0,88	0,91	0,94	0,96
CAC72			0,91	0,89	0,90	0,93	0,95	0,97
CAC73				0,98	0,94	0,98	0,96	0,94
CAC74					0,96	0,97	0,94	0,94
CAC100						0,95	0,94	0,94
CAC105							0,95	0,95
CAC106								0,98
CAC117								

Après correction (**figure A4.2B**), les concentrations données par les stations NEMO sont très proches les unes des autres, y compris pour la station CAC100.

Contrairement à l'étalonnage des concentrations en PM_{10} réalisé en 2021, les données de la campagne 2022 ne montrent pas de décorrélation des données mesurées par les stations NEMO vis-à-vis des concentrations enregistrées par la station de référence (**figure A4.2**). On note seulement que le pic observé le 22 octobre sur la station de référence a été surestimé par la plupart des NEMO.

A4.3. Mesure des concentrations en $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$

Les $PM_{2.5}$ et les $PM_{1.0}$ n'étant pas mesurées sur la station de référence, la correction des capteurs repose ici sur la normalisation des signaux de chaque capteur par rapport à la moyenne des valeurs enregistrées par les huit capteurs pendant la période d'étalonnage. Hormis ce changement de référence (moyenne des données des stations NEMO au lieu des données de la station de référence), la méthode de normalisation est identique à celle appliquée aux données de NO_2 et PM_{10} (réduction de ligne de base et mise à l'échelle des signaux).

Les données relatives aux $PM_{2.5}$ et aux $PM_{1.0}$ avant et après correction sont présentées sur les **figures A4.3** et **A4.4**, respectivement. Les coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des capteurs sont donnés dans les **tableaux A4.3** et **A4.4** ci-après.

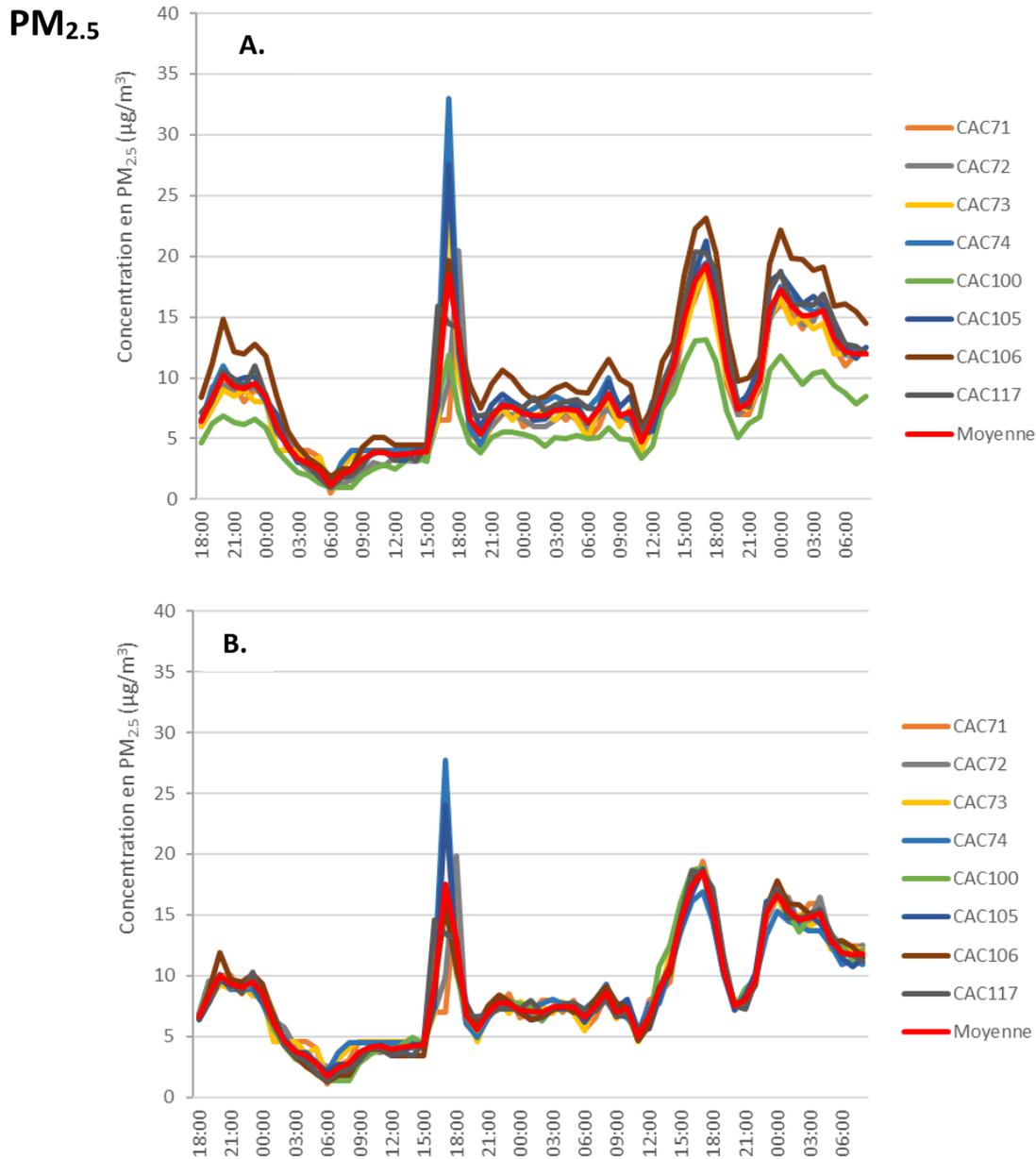


Figure A4.3. Concentrations en PM_{2.5} (moyennes horaires en µg/m³) enregistrées lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022 sur le site de référence par les huit stations ETHERA NEMo : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Le profil global de concentration en PM_{2.5} (**figure A4.3A**) est similaire à celui observé pour les PM₁₀ (**figure A4.2**). Les signaux enregistrés par les huit stations sont bien corrélés, avec des coefficients de corrélation compris entre 0,77 et 0,98 (**tableau A4.3**). Comme pour les PM₁₀, le capteur CAC100 se démarque avec un signal plus faible que ceux mesurés par les autres capteurs. La correction permet d'aligner les signaux sur la moyenne de manière satisfaisante (**figure A4.3B**).

Tableau A4.3. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMO pour les concentrations en $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022

	CAC71	CAC72	CAC73	CAC74	CAC100	CAC105	CAC106	CAC117
CAC71		0,98	0,82	0,77	0,91	0,85	0,93	0,93
CAC72			0,85	0,80	0,92	0,88	0,93	0,94
CAC73				0,98	0,94	0,99	0,94	0,89
CAC74					0,92	0,97	0,91	0,88
CAC100						0,96	0,98	0,98
CAC105							0,96	0,92
CAC106								0,97
CAC117								

PM_{1.0}

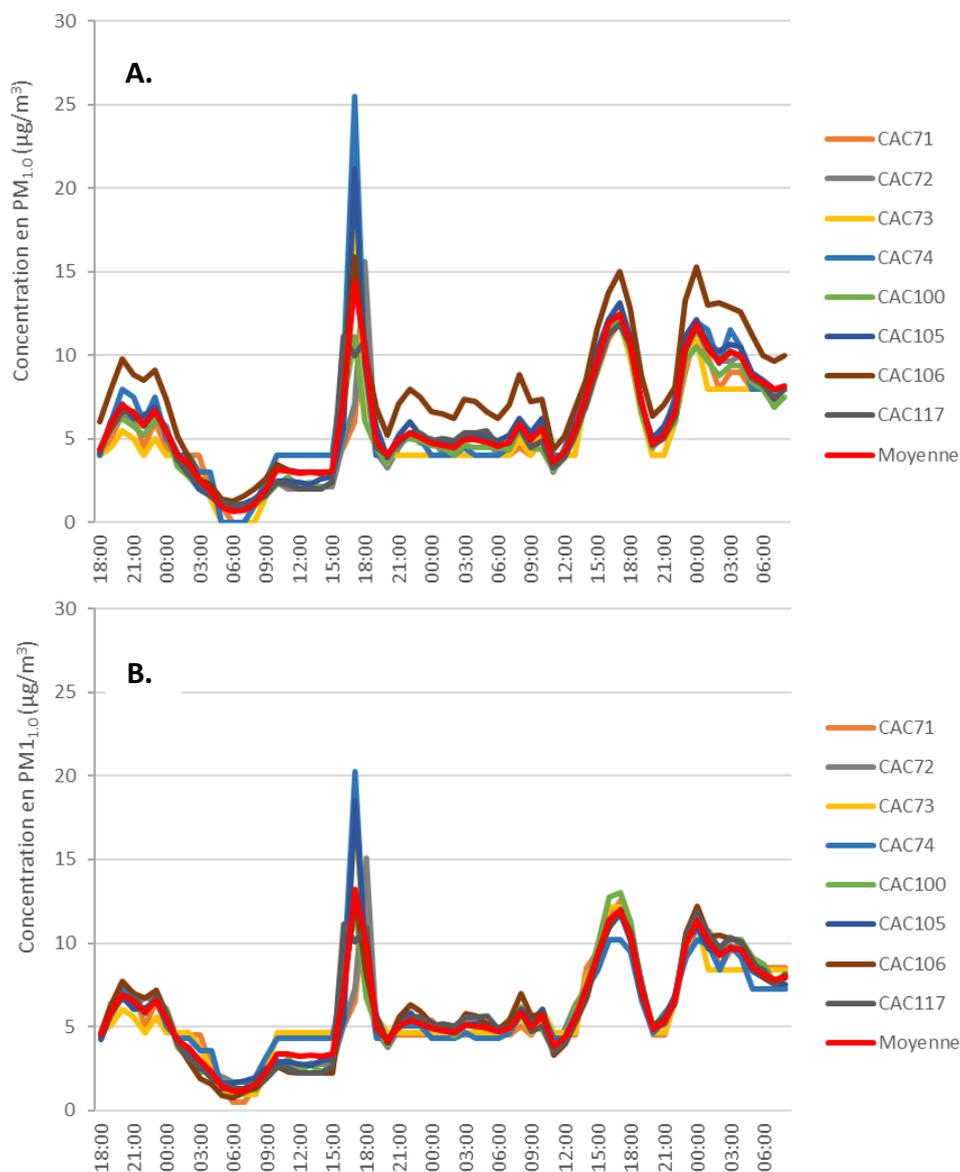


Figure A4.4. Concentrations en $PM_{1.0}$ (moyennes horaires en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) enregistrées lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022 sur le site de référence par les huit stations ETHERA NEMO : (A.) données brutes et (B.) données corrigées

Les résultats relatifs aux PM_{1.0} sont identiques à ceux obtenus pour les PM_{2.5}, avec une reproductibilité similaire (**figure A4.4A** et **tableau A4.4**). La correction appliquée aux données permet d'atteindre un haut niveau d'alignement des capteurs (**figure A4.4B**).

Tableau A4.4. Coefficients de corrélation associés à la comparaison deux à deux des huit stations ETHERA NEMO pour les concentrations en PM_{1.0} (µg/m³) enregistrées sur le site de référence lors de la période d'étalonnage du 21 au 24 octobre 2022

	CAC71	CAC72	CAC73	CAC74	CAC100	CAC105	CAC106	CAC117
CAC71		0,95	0,82	0,75	0,87	0,80	0,86	0,90
CAC72			0,78	0,74	0,90	0,84	0,91	0,93
CAC73				0,96	0,90	0,96	0,89	0,85
CAC74					0,88	0,96	0,88	0,84
CAC100						0,94	0,98	0,96
CAC105							0,95	0,89
CAC106								0,96
CAC117								