

AtmoSud

Inspirer un air meilleur



Document d'évaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air 2022

Document du référentiel
technique national

Mai 2023

RÉSUMÉ :

DOCUMENT D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DES PRÉVISIONS DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Document du référentiel technique national

Le système opérationnel de prévisions de la qualité de l'air, opéré par AtmoSud sur la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, est composé de plusieurs modèles de dispersion, de calculs statistiques et d'une expertise finale des productions par un prévisionniste d'AtmoSud.

Ce système est opérationnel tous les jours de l'année et permet la prévision de l'état de la qualité de l'air pour le jour même et jusqu'au surlendemain. Les polluants pris en compte sont les particules fines (PM10 et PM2.5), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃). Il alimente les productions cartographiques mises à disposition par AtmoSud sur ces différents supports de communication (site internet, bulletins, ...) ainsi que les procédures préfectorales lors de prévisions d'un épisode de pollution.

Ce document présente les principaux scores de chacune des composantes de la chaîne de prévisions ainsi que les scores de la production finale. Ces scores sont comparés aux objectifs de qualité définis dans le cadre du référentiel technique national.

Pour l'année 2022, les objectifs de qualité sont respectés pour l'ensemble des productions finales de la chaîne de prévisions. Le taux de disponibilité des prévisions de la plateforme est de 98% pour un objectif de qualité fixé à 95%. L'intégration de Prév'air dans l'adaptation statistique garantit les prévisions lors des dysfonctionnements de la plateforme régionale.

Auteurs du document

Romain Derain, AtmoSud

Morgan Jacquinet, AtmoSud

SOMMAIRE

1. Présentation de la plateforme de prévision	4
2. Evaluation de la plateforme de prévision Ozone	7
2.1 Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)	7
2.1.1 Par rapport aux objectifs de qualité.....	7
2.1.2 Par typologie et échéances de prévision	11
2.1.3 Par gamme de concentration.....	13
2.1.4 Sur plusieurs années	14
2.2 Performances sur les seuils réglementaires – scores aux stations	15
3. Evaluation de la plateforme de prévision PM10	18
3.1 Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)	18
3.1.1 Par rapport aux objectifs de qualité.....	18
3.1.2 Par typologie et par échéances de prévision	20
3.1.3 Par gamme de concentration.....	22
3.1.4 Sur plusieurs années.....	23
3.2 Performances sur les seuils réglementaires – scores aux stations	23
4. CONCLUSION	27

1. Présentation de la plateforme de prévision

La prévision quotidienne de la qualité de l'air à l'échelle régionale est réalisée par la plateforme nommée AIRES qui regroupe au sein d'une chaîne de calcul, le calcul des champs météorologiques, le calcul des émissions, le calcul des champs de concentration et les différents post-traitements réalisés afin d'adapter statistiquement les prévisions dites brutes et d'exploiter les résultats produits sous forme cartographique, d'indices de la qualité de l'air, de calculs de population soumise à un dépassement de seuil réglementaire ou encore pour alimenter des chaînes de calculs à hautes résolutions.

► Les émissions

Les émissions anthropiques utilisées dans les premiers domaines aux échelles continentales ou interrégionales sont issues de la base de données EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). Ces émissions sont redistribuées en fonction de l'occupation du sol avec des résolutions spatiales similaires aux domaines de simulation. Les émissions anthropiques des domaines les plus fins (échelle régionale ou infrarégionale) sont issues de l'inventaire régional des émissions produit annuellement par AtmoSud à l'échelle communale et conformément aux recommandations du guide national PCIT¹ sur l'élaboration des inventaires spatialisés. Lors de l'élaboration de l'inventaire, les informations spatiales et temporelles des sources d'émissions sont conservées afin de permettre l'élaboration la plus précise possible des données d'émissions sous forme de grille, appelée cadastre des émissions, aux mêmes résolutions que les domaines de calcul des champs de concentrations. Pour les émissions du secteur résidentiel, celles-ci sont modulées pour chacune des mailles de calculs en fonction des prévisions quotidiennes de températures.

Les émissions biogéniques sont calculées par le modèle MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature²) et contraintes par les données météorologiques issues de WRF. Les émissions de poussières minérales dues à l'érosion et à la re-suspension ainsi que les émissions de sels marins sont calculées par des modules supplémentaires intégrés directement au modèle CHIMERE. Ces émissions sont également contraintes par les prévisions météorologiques.

► Le modèle de prévisions météorologiques

Le modèle WRF (Weather Forecast Research³) est utilisé pour calculer l'ensemble des paramètres météorologiques nécessaires aux calculs de la dispersion et de la chimie atmosphériques. Ce modèle, libre et ouvert, est développé de manière collaborative par un consortium scientifique composé notamment du NCAR (National Center for Atmospheric Research) et de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), et d'autres organismes de recherche ou de défense. Les conditions limites et initiales requises par le premier domaine de calculs sont des données GFS (Global Forecast System) pour la prévision ou GDAS (Global Data Assimilation System) pour l'analyse produites par le NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

► Le modèle de prévisions des champs de concentrations

Le modèle CHIMERE est un modèle Eulérien de chimie-transport pour les espèces organiques et inorganiques d'origines primaires ou secondaires. Ce modèle, libre et ouvert, est développé par les équipes françaises du LMD, du LISA et de l'INERIS. Il permet des simulations sur de grands domaines avec une résolution spatiale pouvant aller de 100km à 1km. Ce modèle est utilisé par AtmoSud pour ses calculs de modélisation de la qualité de l'air depuis plus de 10 ans, notamment pour les concentrations en particules fines (PM10 et PM2.5), en Ozone (O₃) et en dioxyde d'azote (NO₂).

► Les configurations

Les calculs des champs météorologiques et de concentrations sont réalisés sur des domaines imbriqués allant de 36km de résolution à l'échelle continentale jusqu'à 4km pour les domaines régionaux (Figure 1). Pour ne pas ralentir la

¹ https://www.lcsqa.org/system/files/rapport/MTES_Guide_methodo_elaboration_inventaires_PCIT_mars2019.pdf

² Guenther A., Karl T., Harley P., Wiedinmyer C., Palmer P. I., Geron, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). *Atmos. Chem. Phys.*, 6:3181–3210, 2006

³ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

production opérationnelle quotidienne, les calculs des champs de concentration pour la région SUD et la région Corse sont réalisés sur deux domaines séparés.

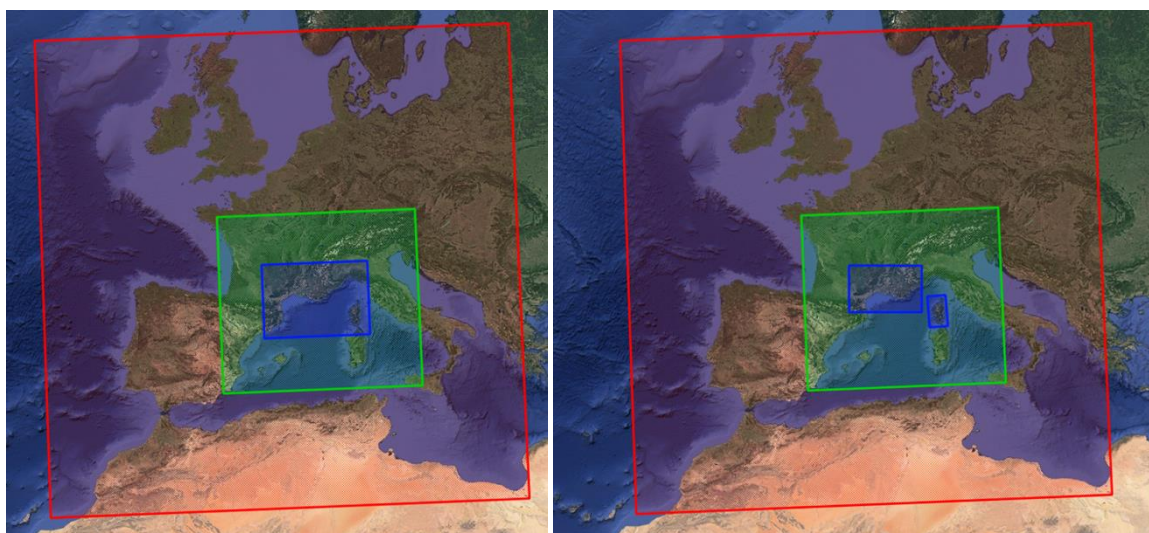


Figure 1 : Domaines de calculs des champs météorologiques (gauche) et des champs de concentrations (droite)

Actuellement, deux chaînes de prévisions dites « brutes » sont opérationnelles. Ces chaînes diffèrent par les versions de modèles utilisées ainsi que par des paramétrisations différentes. Les principales composantes de leurs configurations sont données dans le Tableau 1.

Les productions de ces deux chaînes de calculs sont dites « brutes » par opposition aux résultats des algorithmes de post-traitement qui adaptent statistiquement les sorties de ces chaînes de prévisions.

		AIRES v3	AIRES v5
Météorologie	Version du modèle	WRF v3.1	WRF v3.8
	Domaines de calculs météorologiques	Europe36 > Méditerranée12 > SUD4 (Figure 1)	Europe36 > Méditerranée12 > SUD4 (Figure 1)
	Conditions limites et initiales météorologique	Données GFS (0.5°)	Données GFS (0.5°)
Dispersion	Version du modèle météorologique	CHIMERE v2008	CHIMERE v2017r4
	Domaines de calculs météorologiques	Europe36 > Méditerranée12 > LR+PACA4 et CORSE4 (Erreur ! Source du renvoi introuvable.)	Europe36 > Méditerranée12 > LR+PACA4 et CORSE4 (Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
	Conditions limites et initiales météorologique	Données limites : climatologie (LMDZ) Données initiales : restart à partir du J-1 de la veille	Données limites : climatologie (LMDZ) Données initiales : restart à partir du J-1 de la veille

Tableau 1 : Configuration des chaînes de prévision

► L'adaptation statistique : méthode « adapt_stat_agreg »

A la suite de travaux menés par l'équipe modélisation d'AtmoSud, une méthodologie d'adaptation statistique a été développée basée sur la prévision brute V3 afin de tenir compte de plusieurs modèles de prévisions. Cette modélisation d'ensemble utilise plusieurs modèles d'apprentissage (forêts aléatoires, gradient boosting machine, Ridge Regression avec sélection de variable, splines, modèle linéaire généralisé bayésien) permettant de corriger le modèle brut V3 avec plusieurs variantes de la variable objectif (valeur journalière, différence entre les valeurs journalières du jour et de la veille, rapport entre les valeurs journalières du jour et de la veille). Ces différentes combinaisons permettent d'obtenir 15 experts de prévisions auxquels s'ajoutent les prévisions de Prév'air, soit 16 experts en tout.

Cet ensemble de 16 experts est ensuite agrégé afin d'obtenir une prévision unique à l'aide de la méthode « agrégation séquentielle de prédicteurs »⁴. L'application de cette méthode permet d'optimiser chaque jour, pour chaque échéance et pour chaque station les poids de chaque expert à prendre en compte.

Cette version de l'adaptation statistique est utilisée dans l'outil d'expertise et de diffusion opéré par AtmoSud.

► Les observations

Les performances de ces différentes composantes de la chaîne de prévisions sont évaluées en les comparant aux observations réalisées par le réseau de surveillance réglementaire opéré par AtmoSud pour l'ozone et les PM10.

Le récapitulatif du nombre d'observations par polluants, typologie et implantation géographique est donné dans le Tableau 2.

	Urbaines	Péri-urbaines	Rurales	Trafic	Industrielles	Observations
PM10	14	2	1	7	5	1
O3	16	6	5	0	1	1

	Alpes-de-Haute-Provence [04]	Hautes-Alpes [05]	Alpes-Maritimes [06]	Bouches-du-Rhône [13]	Var [83]	Vaucluse [84]
PM10	1	2	2	7	4	1
O3	2	1	6	10	5	3

Tableau 2 : Caractéristiques du réseau d'observation en 2022

⁴ Gilles Stoltz « Agrégation séquentielle de prédicteurs : méthodologie générale et applications à la prévision de la qualité de l'air et à celle de la consommation électrique », Journal de la Société Française de Statistique Vol. 151 No. 2 (2010)

2. Evaluation de la plateforme de prévision Ozone

Les scores du modèle de prévision ozone sont établis sur les maximum horaires journaliers. Ils sont calculés sur la période d'avril à septembre.

2.1 Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)

2.1.1 Par rapport aux objectifs de qualité

Ce paragraphe présente les scores pour la région et par département avec l'objectif de qualité à respecter (**Tableau 3 : Objectifs de qualité définis pour O₃ pour le biais, la RMSE et la corrélation**)

Principaux résultats des Figure 2 à Figure 4:

- Concernant les objectifs de qualité :
 - RMSE : Pour l'adaptation statistique, l'objectif est respecté pour chacun des départements de la région PACA. AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3 dans les Alpes-de-Haute-Provence et surtout dans les Hautes-Alpes.
 - Biais : Pour l'adaptation statistique, l'objectif est respecté pour chacun des départements de la région PACA. AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3.
 - Corrélation : Pour l'adaptation statistique, l'objectif sur la corrélation est respecté sur chacun des départements. Le modèle AIREsv3 a de meilleures corrélations que AIREsv5.
- Comparaison des modèles : l'adaptation statistique est significativement meilleure que les modèles bruts. Le modèle AIREsv5 est le plus souvent meilleur que la version AIREsv3 concernant la RMSE et le biais. Pour la corrélation, le modèle AIREsv3 est meilleur que la version AIREsv5.

► Score de RMSE

) toutes typologies de station.

Polluant	RMSE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Biais [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Corrélation
O ₃	25	-10 / +10	0.7

Tableau 3 : Objectifs de qualité définis pour O₃ pour le biais, la RMSE et la corrélation

Principaux résultats des Figure 2 à Figure 4:

- Concernant les objectifs de qualité :
 - RMSE : Pour l'adaptation statistique, l'objectif est respecté pour chacun des départements de la région PACA. AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3 dans les Alpes-de-Haute-Provence et surtout dans les Hautes-Alpes.
 - Biais : Pour l'adaptation statistique, l'objectif est respecté pour chacun des départements de la région PACA. AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3.
 - Corrélation : Pour l'adaptation statistique, l'objectif sur la corrélation est respecté sur chacun des départements. Le modèle AIREsv3 a de meilleures corrélations que AIREsv5.
- Comparaison des modèles : l'adaptation statistique est significativement meilleure que les modèles bruts. Le modèle AIREsv5 est le plus souvent meilleur que la version AIREsv3 concernant la RMSE et le biais. Pour la corrélation, le modèle AIREsv3 est meilleur que la version AIREsv5.

► Score de RMSE

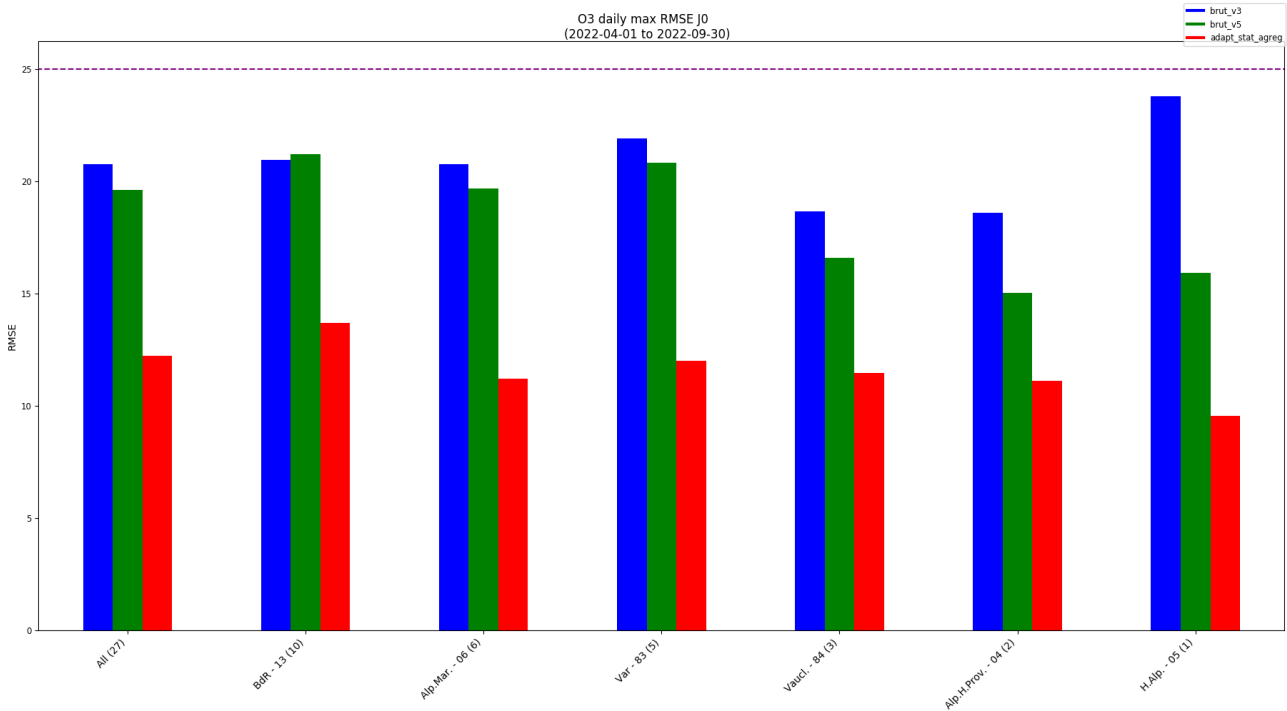


Figure 2 : Ozone - Scores de RMSE par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d’avril à septembre 2022 sur l’échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l’objectif de qualité.

Pour l’adaptation statistique (« adapt_stat_agreg ») les scores de RMSE respectent l’objectif de qualité et sont assez homogènes sauf dans les Bouches-du-Rhône où les résultats se dégradent. Concernant les modèles bruts, AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3 dans les Alpes-de-Haute-Provence et surtout dans les Hautes-Alpes.

► Score de biais

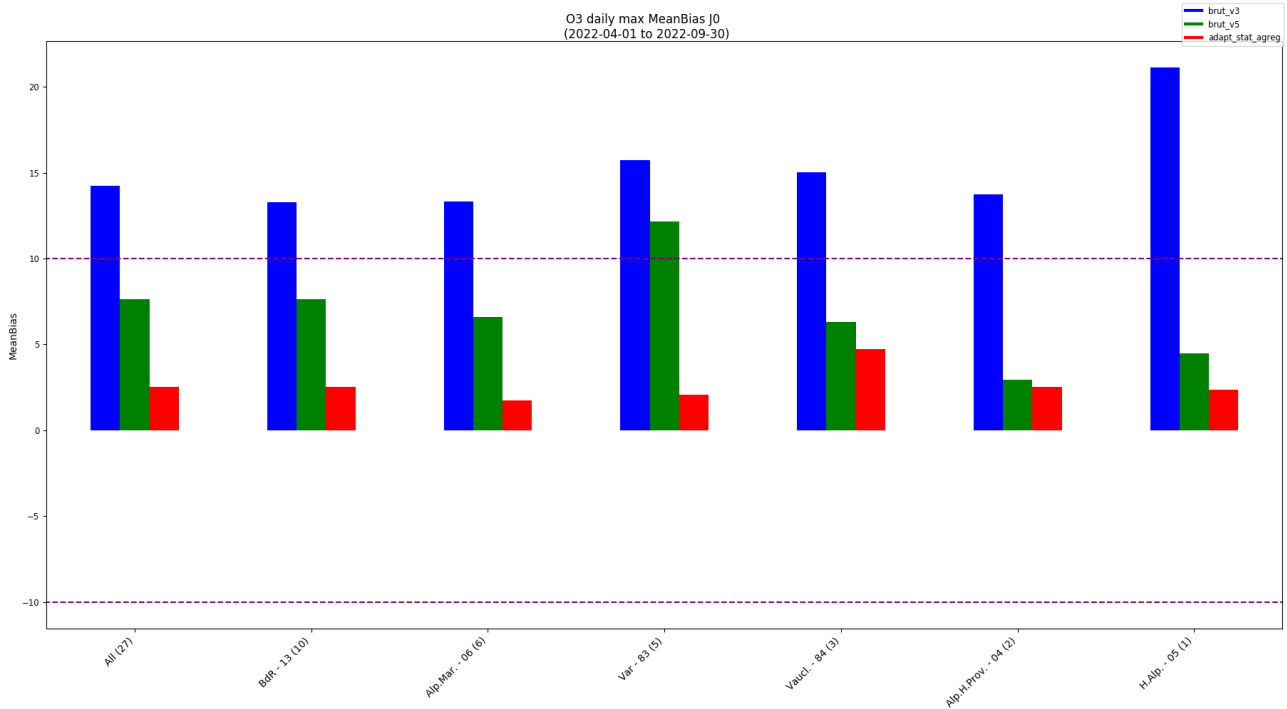


Figure 3 : Ozone - Scores de biais par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l'objectif de qualité.

L'adaptation statistique réduit le biais de façon importante et permet de respecter l'objectif de qualité. Concernant les modèles bruts, les différences entre les versions de AIREs v3 et v5 sont marquées sauf pour le Var. AIREsv5 est significativement meilleur que AIREsv3.

► Score de corrélation

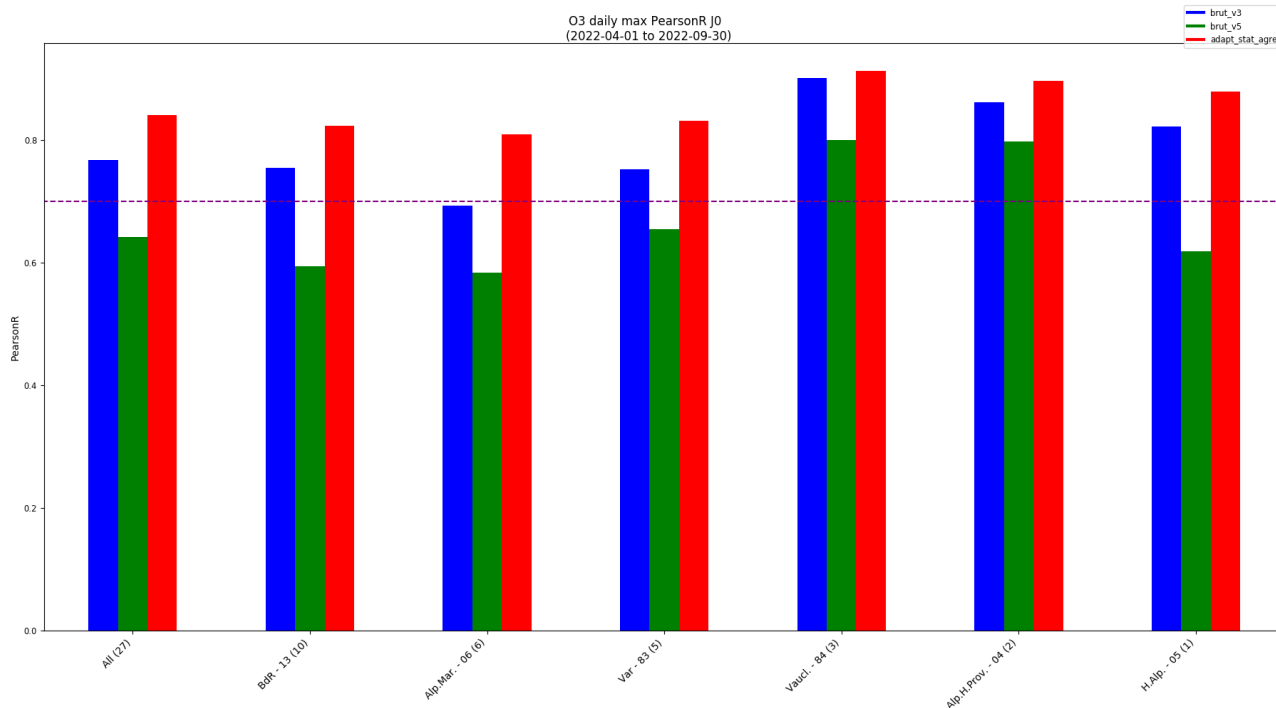


Figure 4 : Ozone - Scores de corrélation par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l'objectif de qualité.

L'adaptation statistique respecte l'objectif de qualité. Le modèle AIREsv3 a de meilleures corrélations que AIREsv5.

L'adaptation statistique répond aux exigences de performances nationales.

2.1.2 Par typologie et échéances de prévision

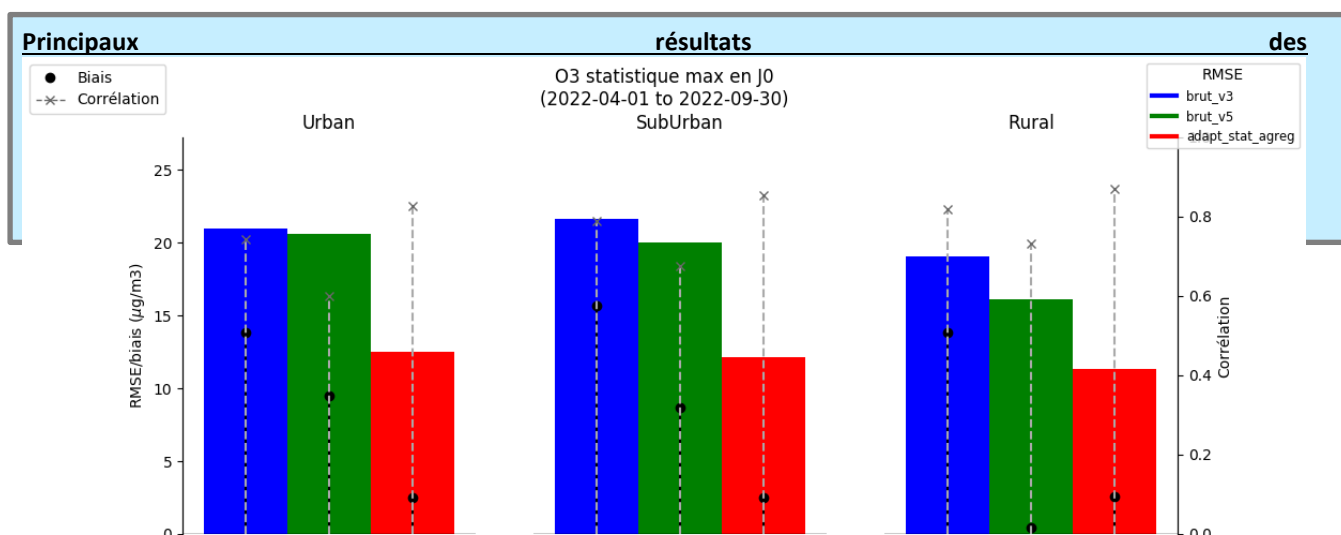


Figure 5 à Figure 7 :

- L'adaptation statistique est meilleure que les modèles bruts pour chacune des typologies.
- La version AIREsv5 est meilleure que la version AIREsv3 en particulier sur les stations rurales.
- Les différences entre modèles se retrouvent sur toutes les échéances et typologies.

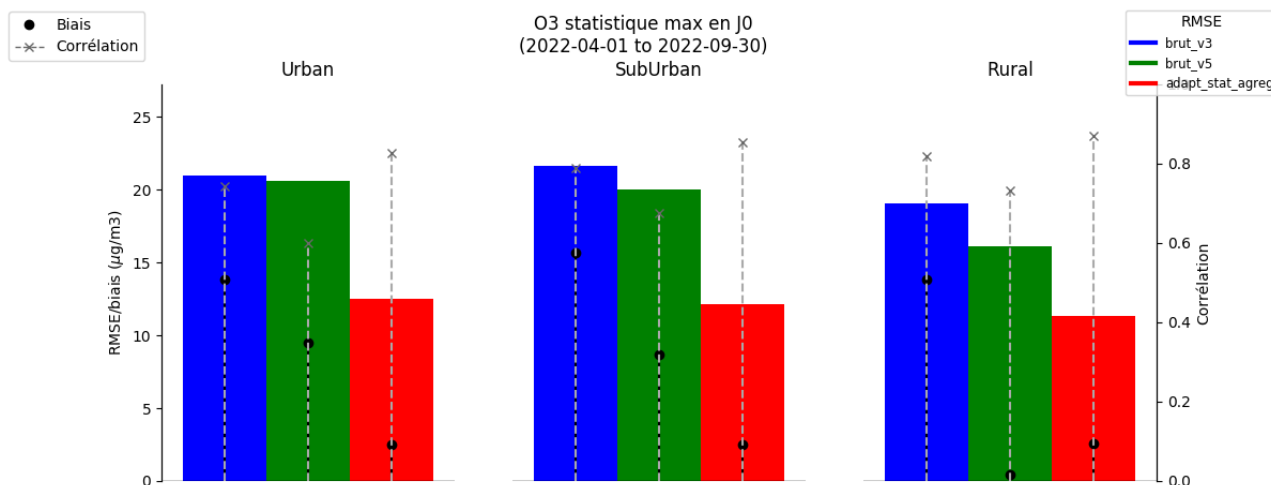


Figure 5 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0.

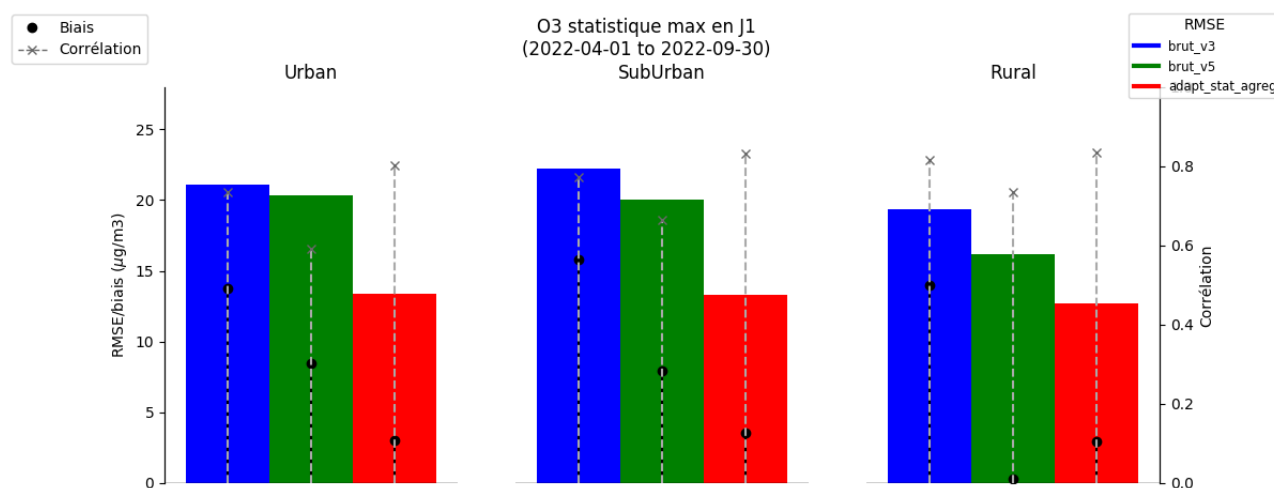


Figure 6 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J1.

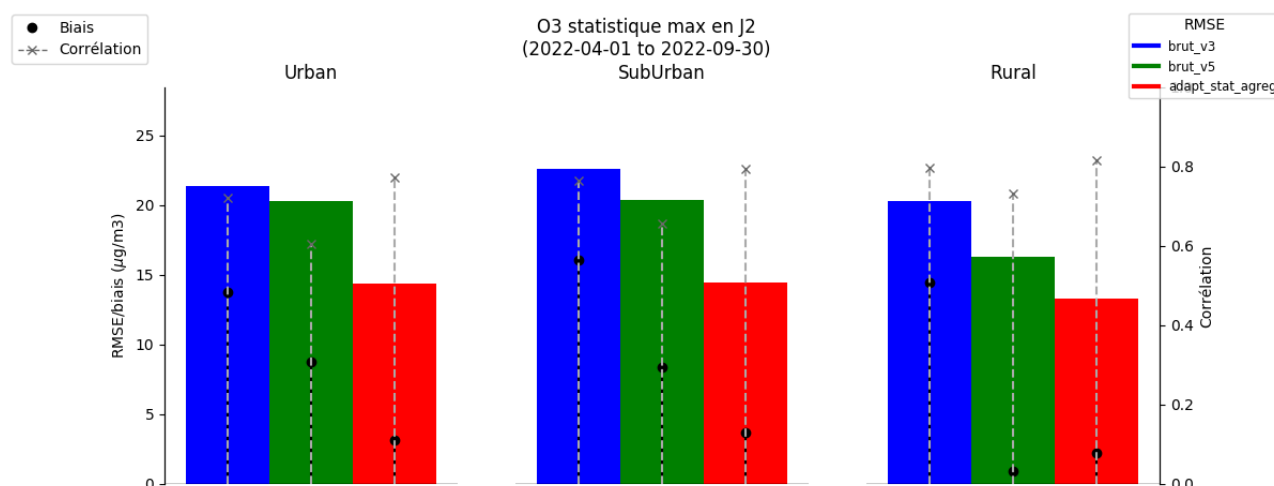


Figure 7 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J2.

L'adaptation statistique répond aux exigences de performances nationales.

2.1.3 Par gamme de concentration

Principaux résultats de la Figure 8:

- L'adaptation statistique est meilleure pour le rmse et le biais sauf pour la classe supérieure à 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ où AIREv3 prend l'avantage.
- Le RMSE et le biais se dégradent dans les gammes de valeurs supérieures à 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- AIREsv5 prend l'avantage sur la AIREsv3 entre 110 et 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

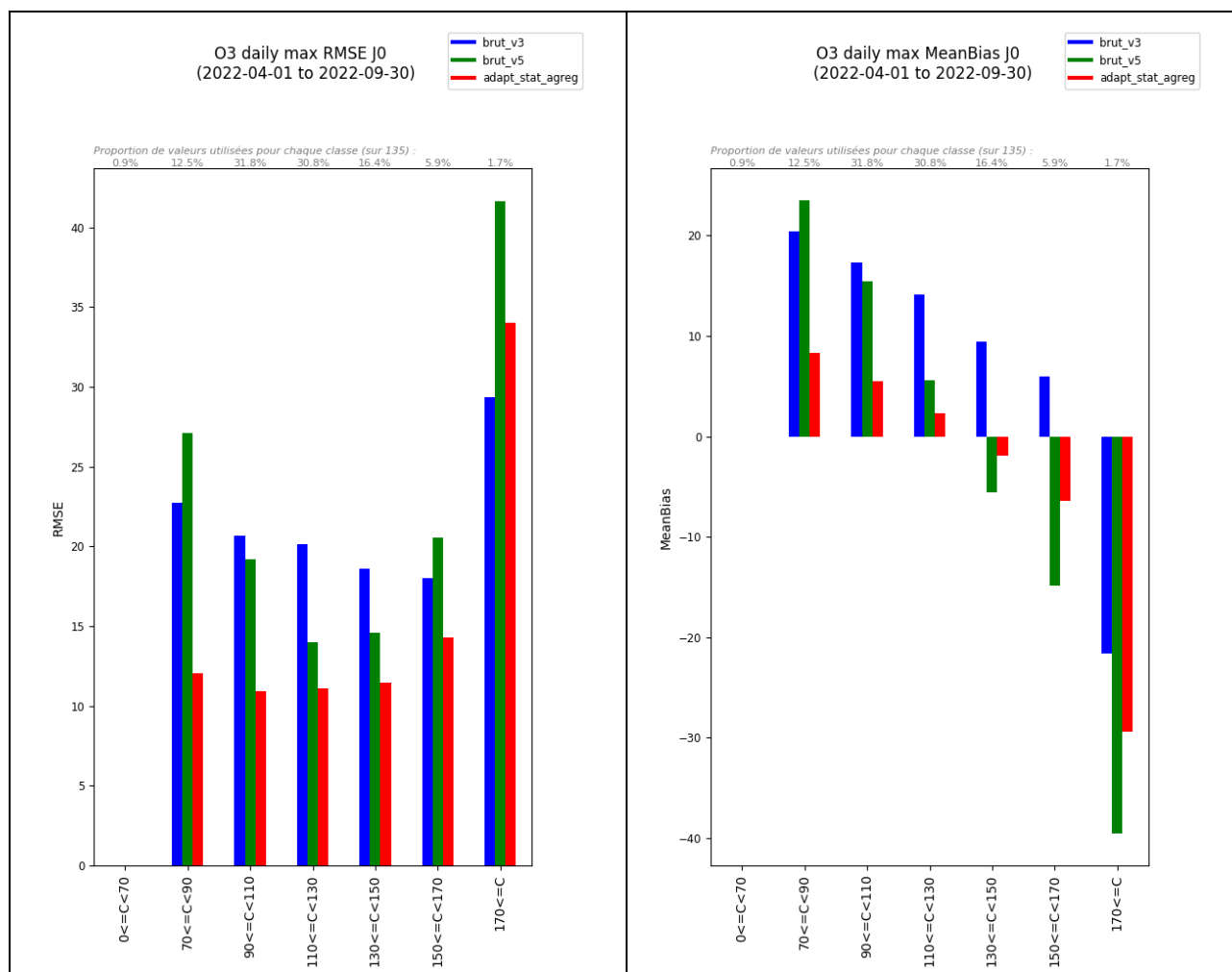


Figure 8 : Ozone - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022. Sur les figures, les taux d'observations pour chaque classe de concentrations.

L'adaptation statistique est meilleure pour le rmse et le biais sauf pour la classe supérieure à 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou AIREv3 prend l'avantage.

2.1.4 Sur plusieurs années

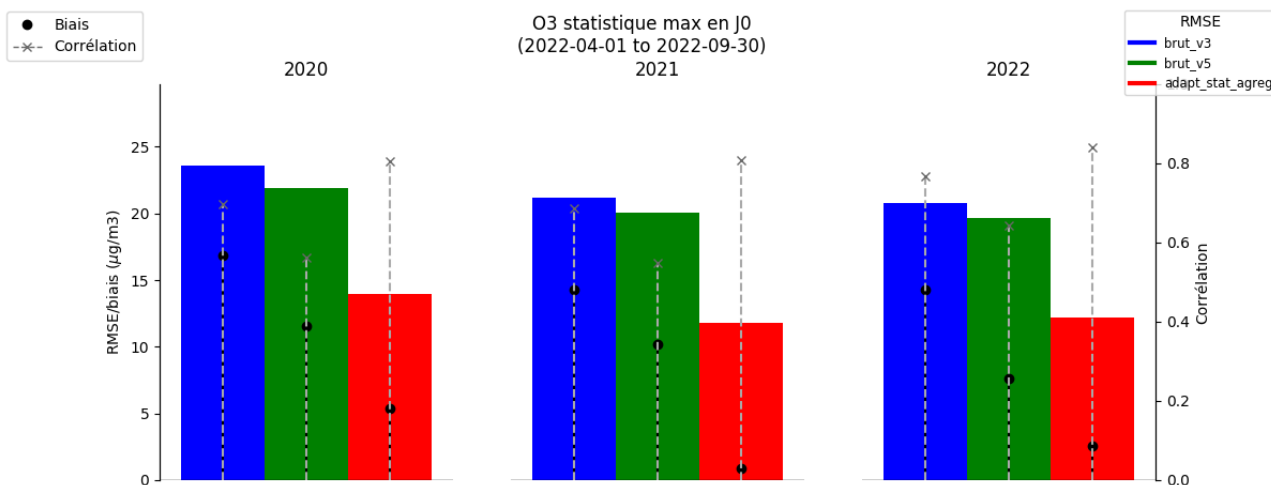


Figure 9 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé) et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge)

Les performances des modèles sont comparables entre 2021 et 2022 et répondent aux exigences nationales.

2.2 Performances sur les seuils réglementaires – scores aux stations

Principaux résultats des figures de Figure 10 à Figure 15 :

- L'ensemble des modèles à un nombre de détections manquées important.
- Le modèle AIREsv3 fait quelques bonnes détections mais au détriment de très nombreuses fausses détections.
- Le modèle AIREsv5 fait peu de bonnes détections.
- L'adaptation statistique fait peu de bonne détection, ces performances sont moins bonnes que AIREsv5

► Séries temporelles

Les figures suivantes représentent le nombre de dépassements observés (en pointillés gris) et prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de la période considérée.

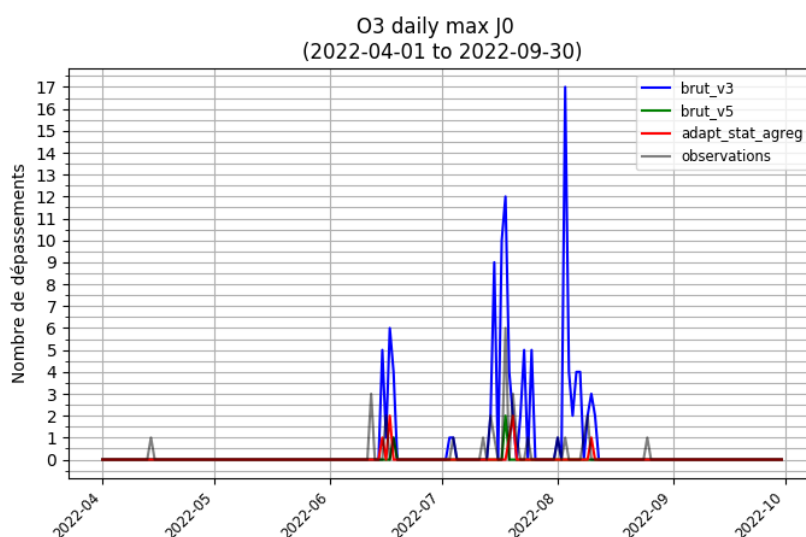


Figure 10 : Ozone – Nombre d'occurrences au cours du temps des dépassements du seuil d'information ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$) de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 sur l'échéance J0.

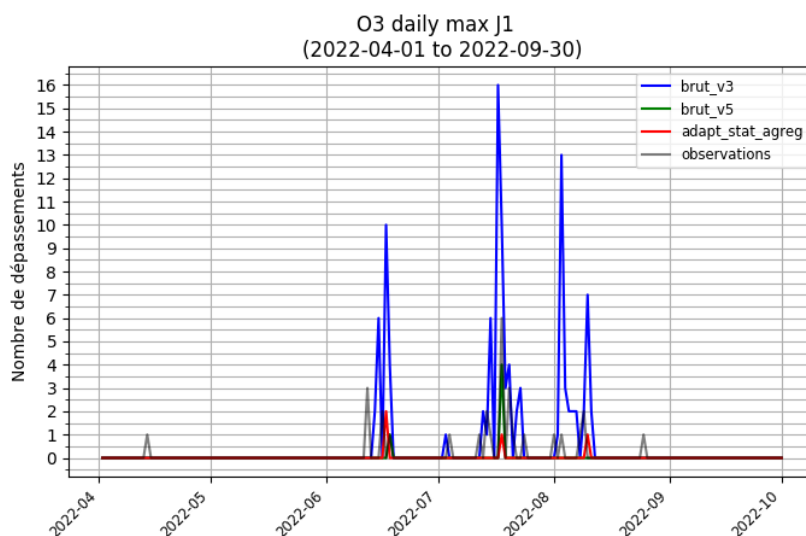


Figure 11 : Ozone – Nombre d’occurrences au cours du temps des dépassements du seuil d’information (180µg/m³) de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d’avril à septembre 2022 sur l’échéance J1.

► **Éléments de la table de contingence**

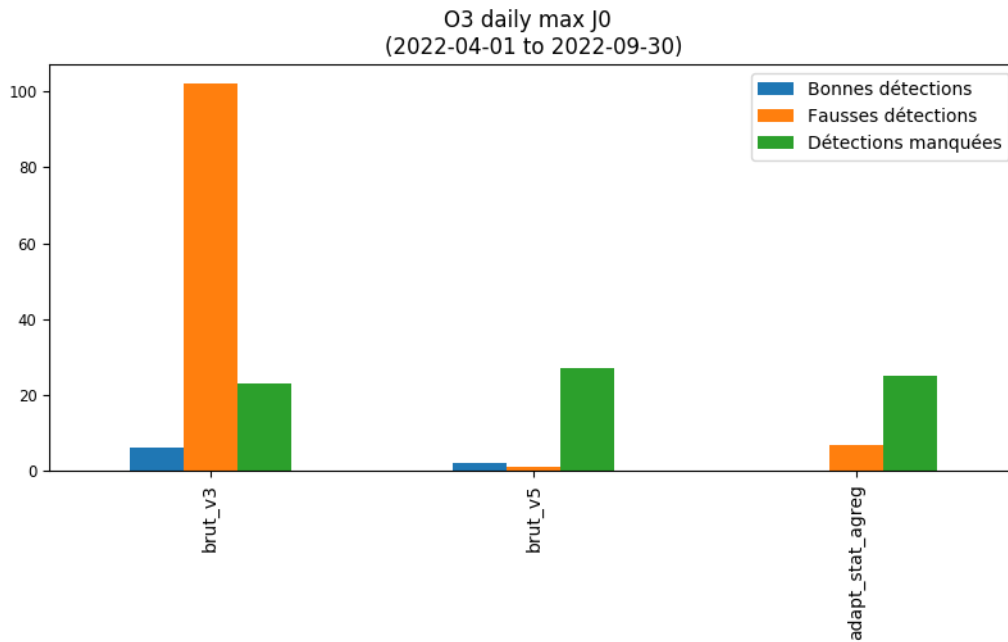


Figure 12 : Ozone - Tables de contingence sur la période d’avril à septembre 2022 à l’échéance J0 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en vert. Tables de contingence d’AIREsv3 – Brut (brut_v3), AIREsv5 – Brut (brut_v5), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (adapt_stat_agreg).

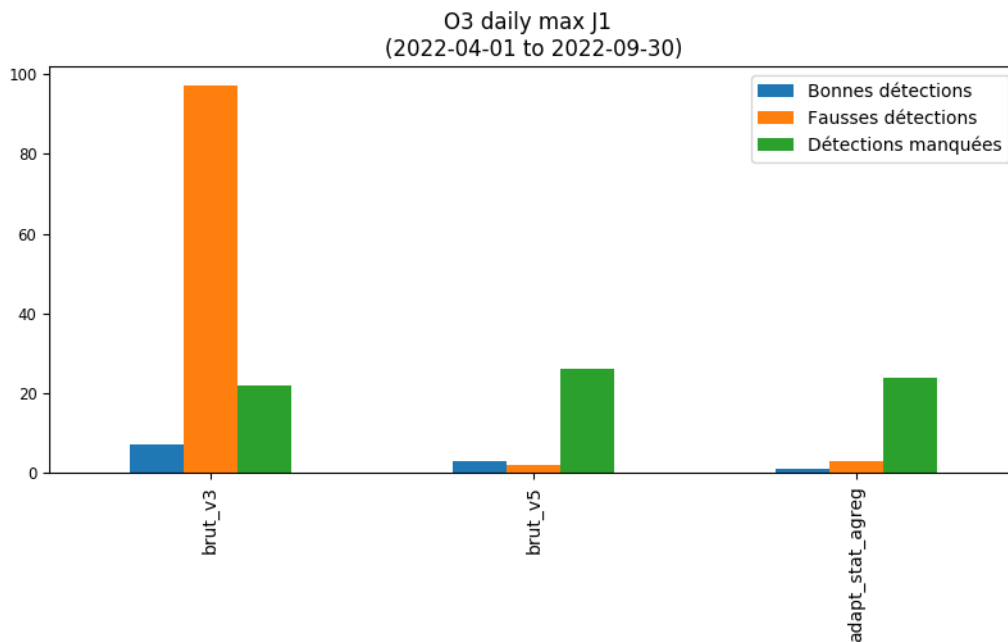


Figure 13 : Ozone - Tables de contingence sur la période d’avril à septembre 2022 à l’échéance J1 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en vert. Tables de contingence d’AIREsv3 – Brut (brut_v3), AIREsv5 – Brut (brut_v5), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (adapt_stat_agreg).

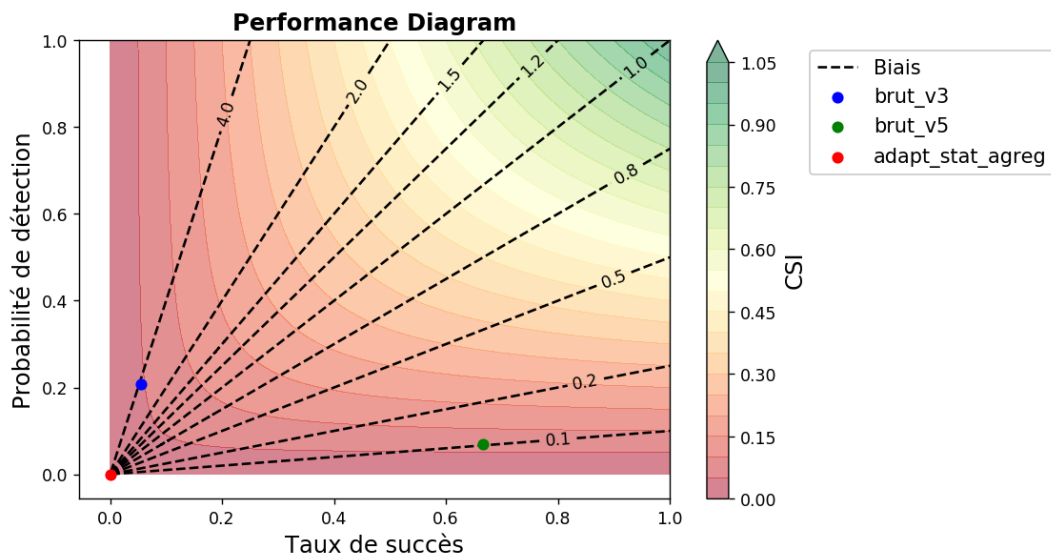


Figure 14 : Ozone - Diagramme de performance pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 pour l'échéance J0

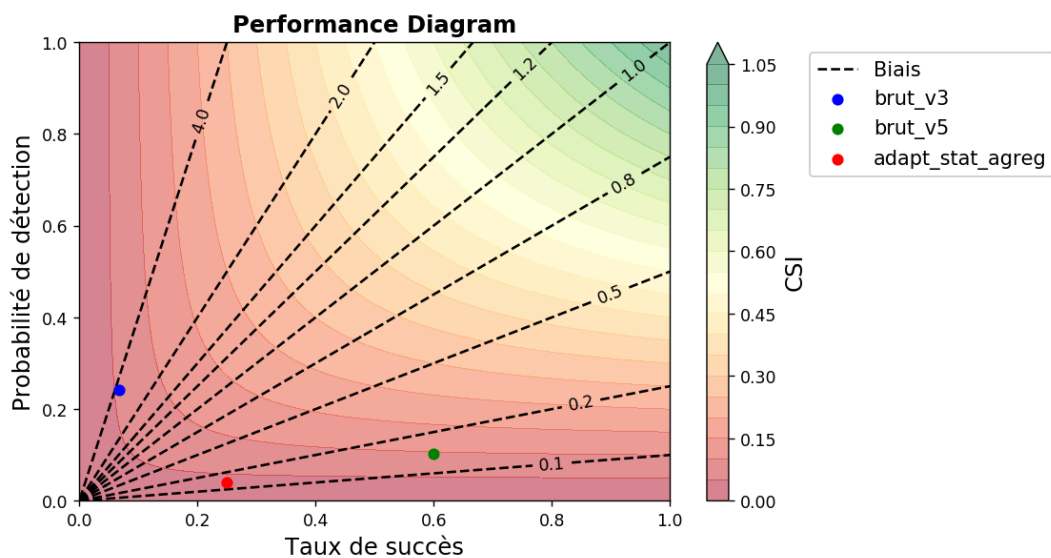


Figure 15 : Ozone - Diagramme de performance pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) d'avril à septembre 2022 pour l'échéance J1

Les figures ci-dessus représentent une vue complète des performances des prévisions par rapport à la détection des seuils réglementaires (l'objectif est de se situer au plus proche du coin supérieur droit) pour les échéances J0 et J1 :

- Axe horizontal : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions parmi les détections.
- Axe vertical : capacité du modèle à prévoir des dépassements.
- Axe transverse : proportion de fausses alertes par rapport aux alertes manquées.
- Axe couleur : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions sans évènements parasites (fausses alertes, alertes manquées).

Dans tous les cas le nombre de détection manquées est élevé. Le modèle AIREsv5 et l'adaptation statistique (basé sur le modèle AIREsv3) donnent des scores assez similaires.

Le modèles brut AIREsv5 est meilleur que l'adaptation statistique basée sur AIREsv3.

3. Evaluation de la plateforme de prévision PM10

Les scores PM10 sont établis en moyenne journalière sur l'ensemble de l'année.

3.1 Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)

3.1.1 Par rapport aux objectifs de qualité

Ce paragraphe présente les scores pour la région et par département avec l'objectif de qualité à respecter (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Polluant	RMSE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Biais [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Corrélation
PM10	15	-7.5 / +7.5	0.6

Tableau 4: Objectifs de qualité définis pour PM10 pour le biais, la RMSE et la corrélation.

Principaux résultats des Figure 16 à Figure 18 :

- Les objectifs de qualité sont respectés pour l'adaptation statistique sur chacun des départements.
- Le modèle AIREsv3 est le plus souvent meilleur que AIREsv5.

► Score RMSE

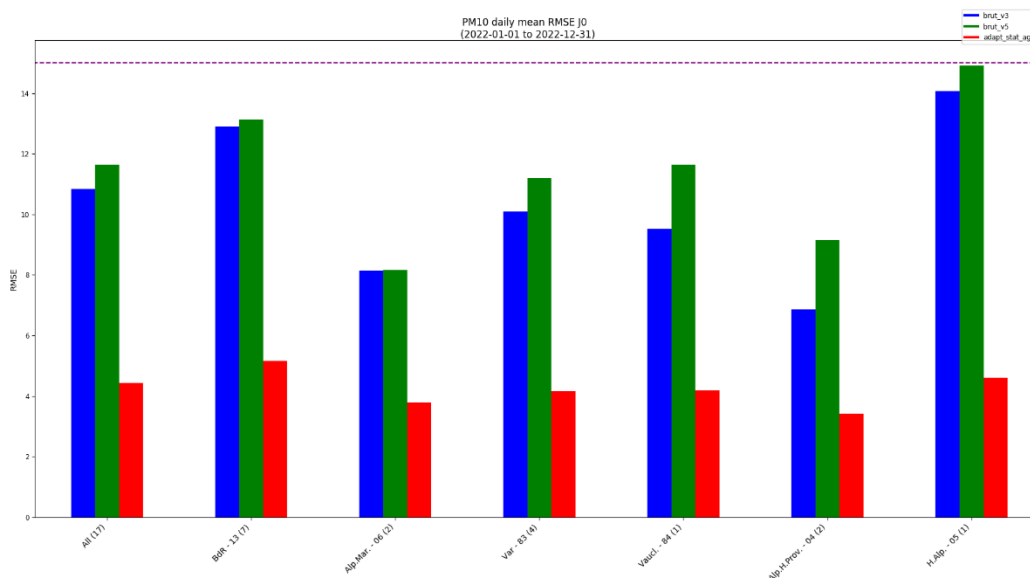


Figure 16 : PM10 - Scores de RMSE par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l'objectif de qualité.

Le rmse de notre modèle opérationnel « adapt stat » répond à l'objectif de qualité

► Score de biais

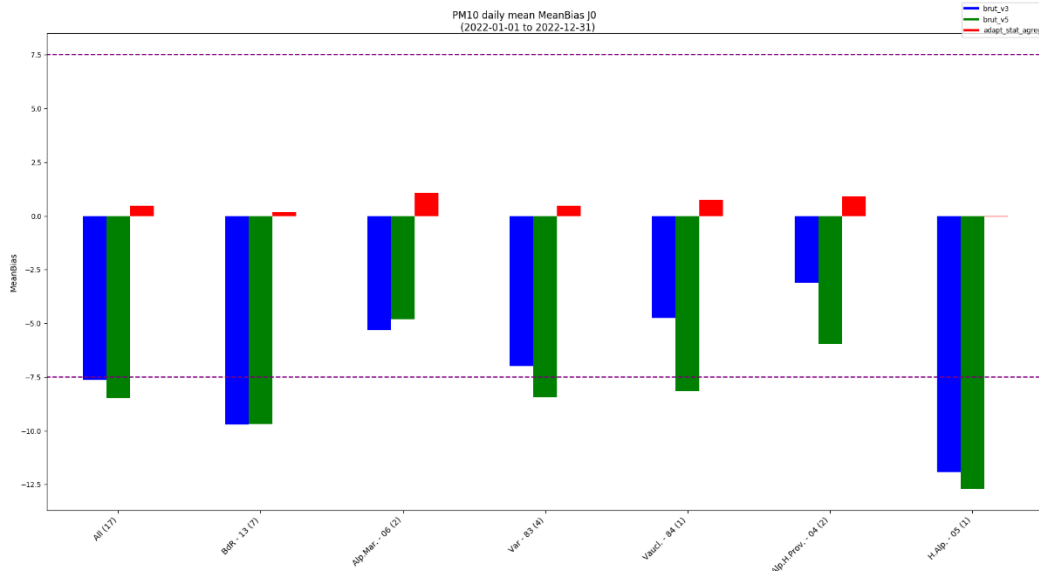


Figure 17 : PM10 - Scores de biais par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l'objectif de qualité.

Le biais de notre modèle opérationnel « adapt stat » réduit significativement le biais par rapport au modèles bruts. Il répond à l'objectif de qualité

► Score de corrélation

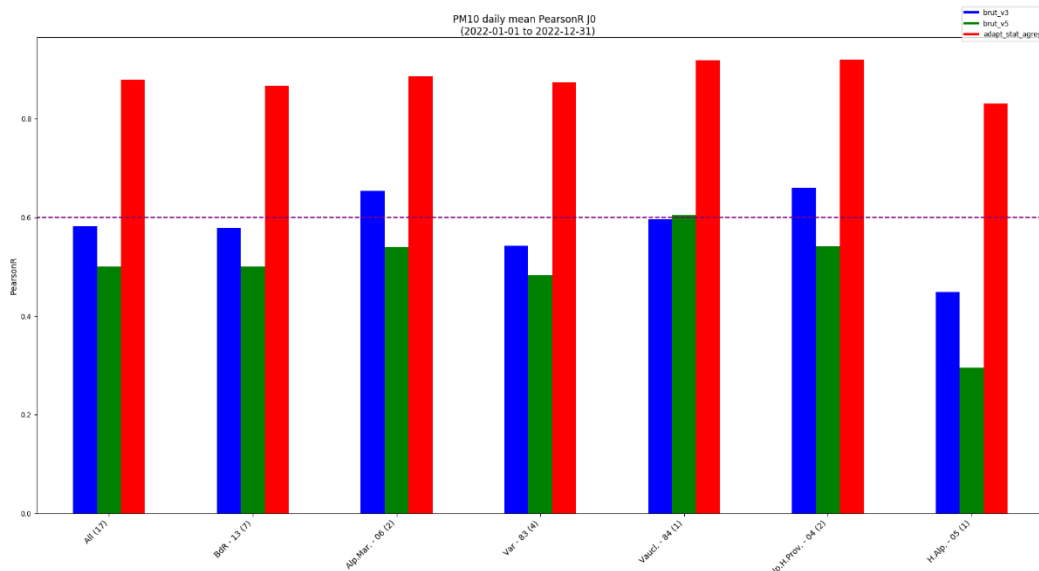


Figure 18 : PM10 - Scores de corrélation par zone des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J0. Accolés entre parenthèses aux zones se trouvent le nombre de stations prises en compte pour le calcul. La ligne en pointillé violet indique l'objectif de qualité.

La corrélation de notre modèle opérationnel « adapt stat » répond à l'objectif de qualité

L'adaptation statistique répond aux exigences de performances nationales.

3.1.2 Par typologie et par échéances de prévision

Principaux résultats des Figure 19 à Figure 21 :

- L'adaptation statistique est meilleure que les modèles bruts
- Pour les typologies périurbaines et rurales, les modèles sont meilleurs que pour la typologie urbaine.
- AIREs V3 est meilleurs que AIREsV5
- Pour les stations rurales à J1 et j2 les scores de AIREsV3 sont proche de l'adaptation statistique

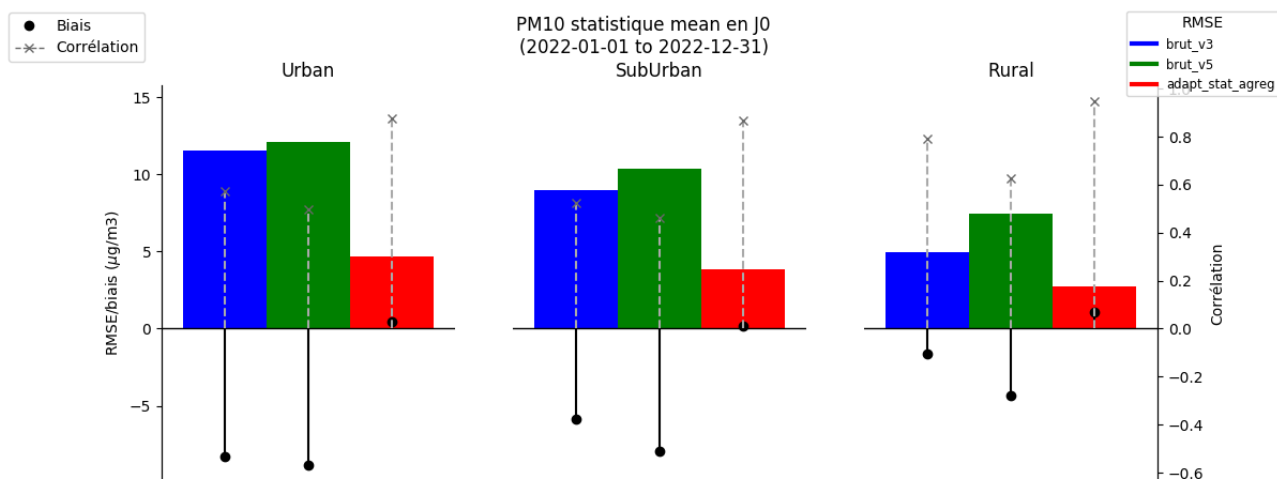


Figure 19 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsV3 – Brut (bleu), AIREsV5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J0.

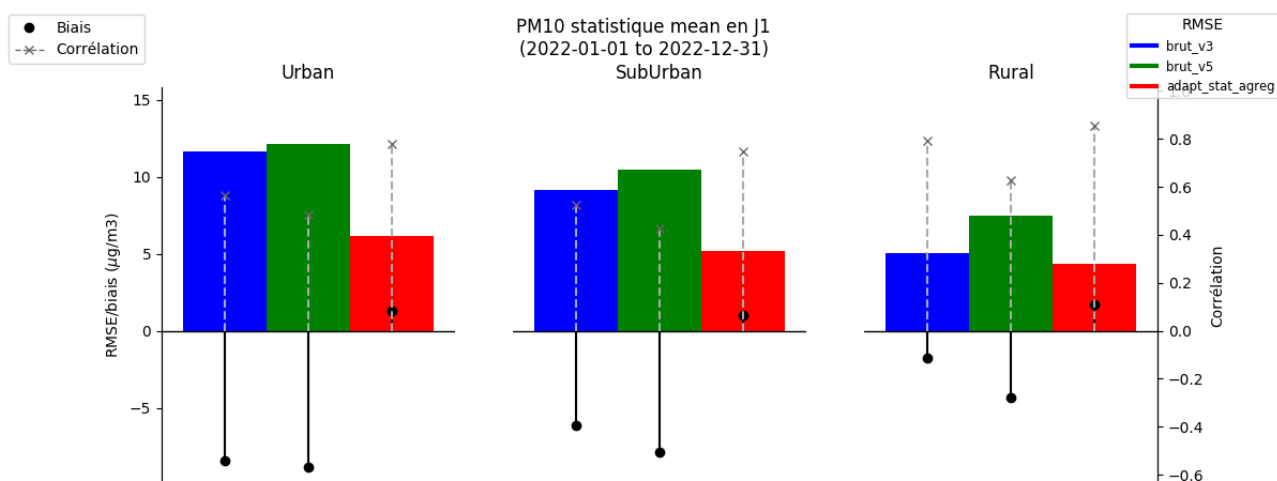


Figure 20 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsV3 – Brut (bleu), AIREsV5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J1.

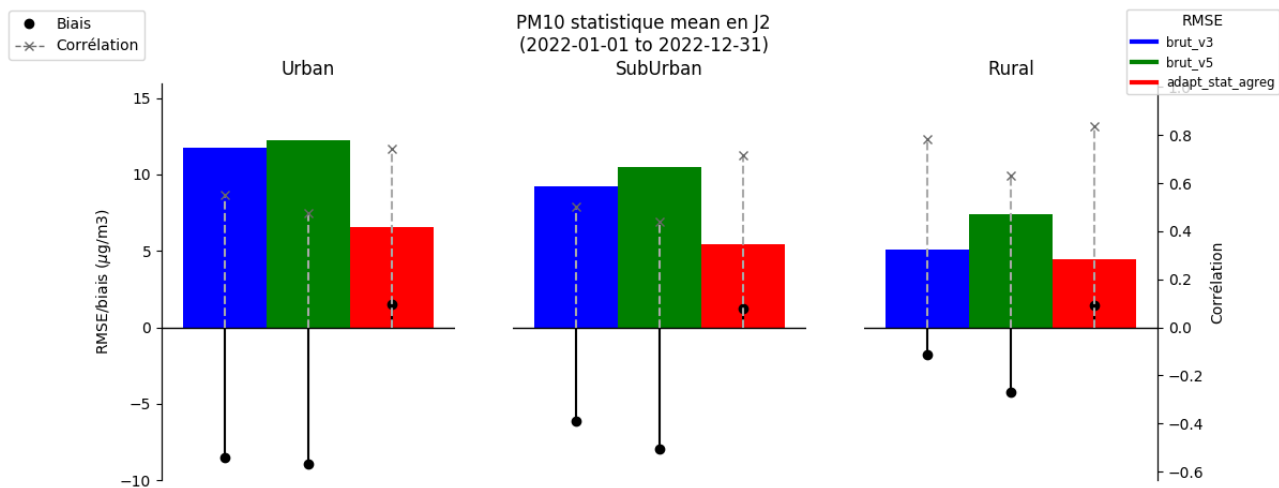


Figure 21 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l'échéance J2.

La résolution de notre modèle régional 3km n'est pas adaptée à la variabilité des zones urbaines néanmoins pour chaque typologie l'adaptation statistique répond aux exigences nationales.

3.1.3 Par gamme de concentration

Principaux résultats de la Figure 22:

- L'adaptation statistique à des scores bien meilleur que les modèles bruts.
- La RMSE et le biais se dégradent à partir de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Les modèles AIRESv3 et AIRESv5 ont des scores similaires.
- Pour les valeurs élevées au-delà de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'adaptation statistique est en forte sous-estimation.

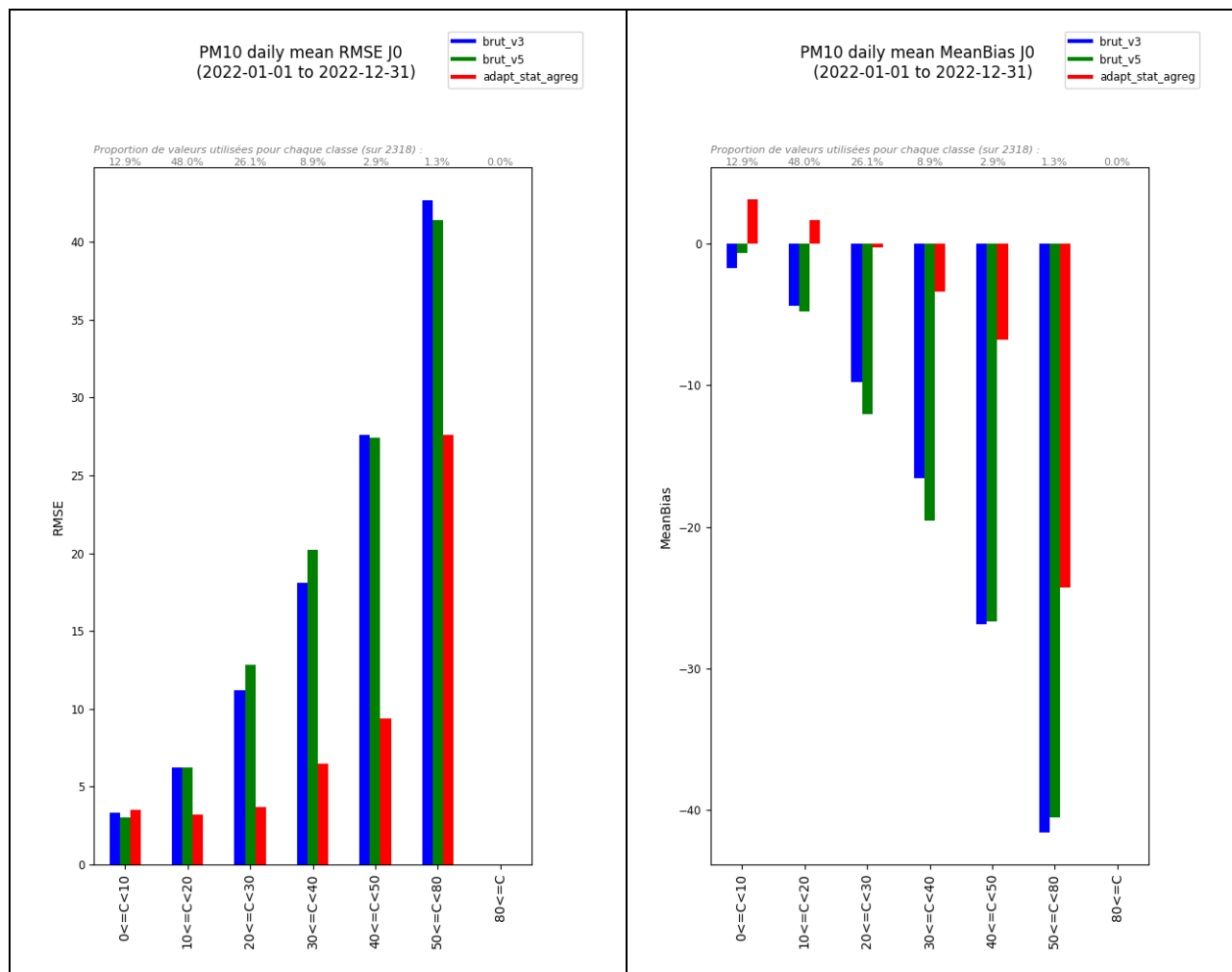


Figure 22 : PM10 - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions AIRESv3 – Brut (bleu), AIRESv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022. Sur les figures, les taux d'observations pour chaque classe de concentrations.

Les occurrences de valeurs supérieures à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont assez rares et de ce fait sont difficiles à anticiper par l'apprentissage statistique.

3.1.4 Sur plusieurs années

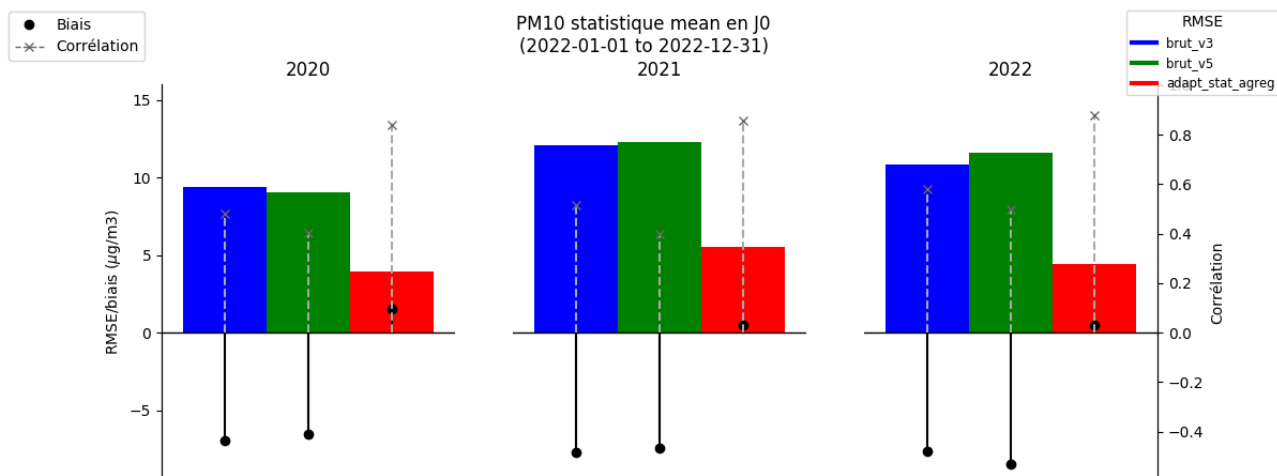


Figure 23 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé) et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge)

La performance des modèles est meilleure en 2020 qu'en 2021 et 2022 mais l'adaptation statistique répond tout de même aux exigences réglementaires.

3.2 Performances sur les seuils réglementaires – scores aux stations

Principaux résultats des figures Figure 24 à Figure 29 :

- Les modèles bruts AIREsv3 et AIREsv5 ne prévoient pas de valeurs supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Concernant l'adaptation statistique :
 - Elle fait des bonnes détections uniquement à j0.
 - Sa probabilité de détection est faible
 - Son taux de succès est important

► Séries temporelles

Les figures suivantes représentent le nombre de dépassements observés (en pointillés gris) et prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de la période considérée.

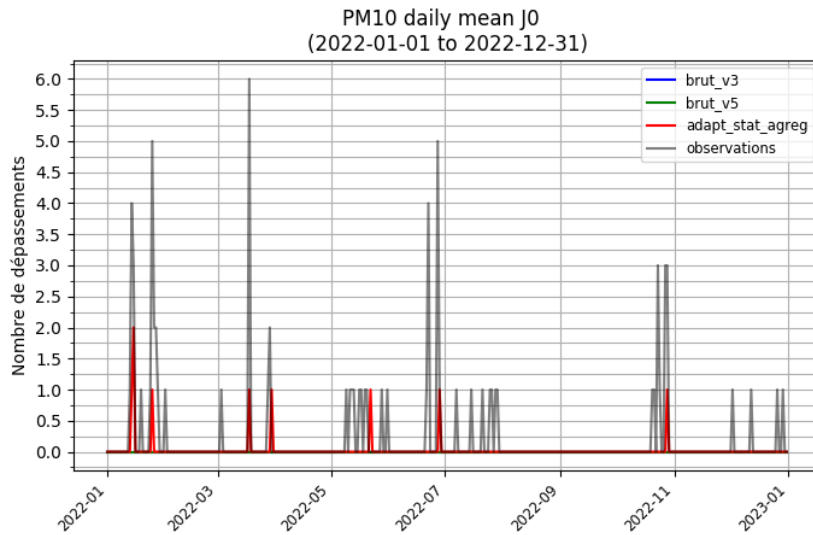


Figure 24 : PM10 – Nombre d’occurrences au cours du temps des dépassements du seuil d’information ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l’échéance J0.

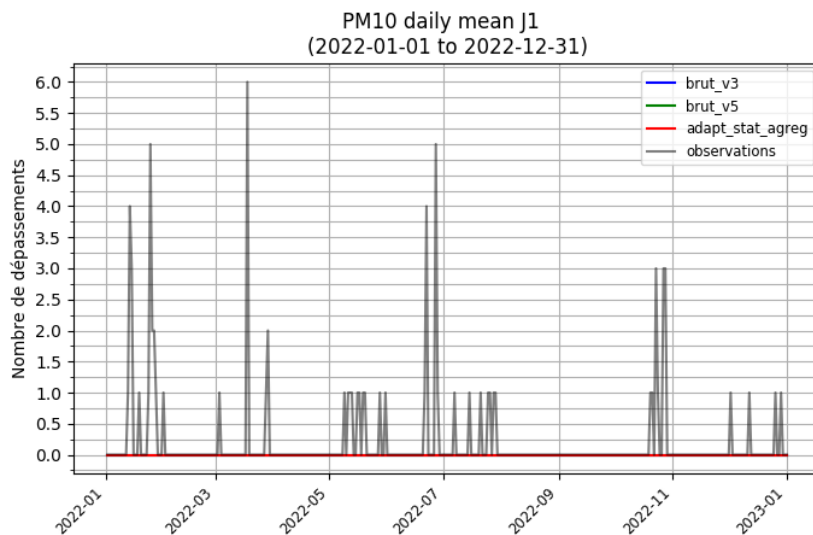


Figure 25 : PM10 – Nombre d’occurrences au cours du temps des dépassements du seuil d’information ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) de AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l’agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 sur l’échéance J1.

► **Éléments de la table de contingence**

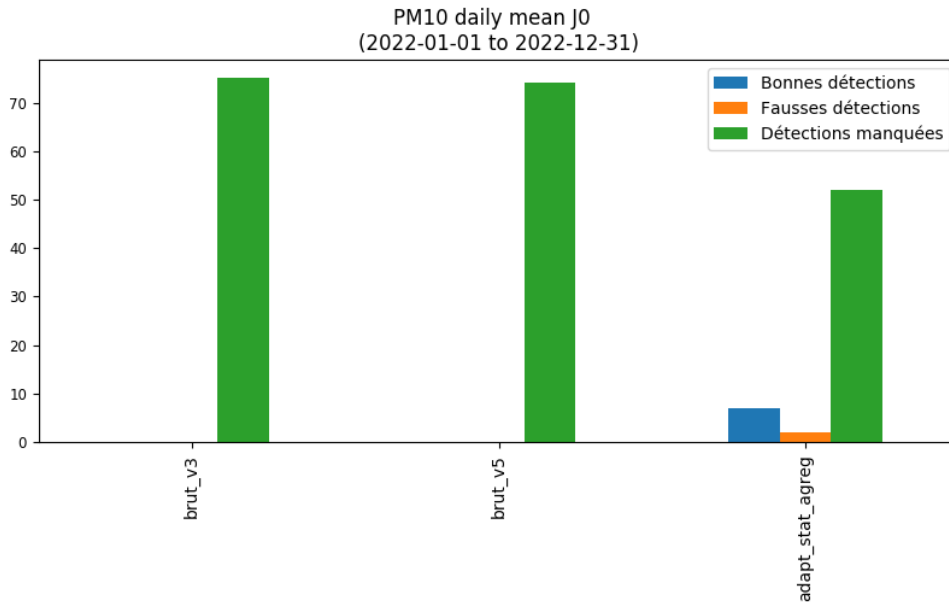


Figure 26 : PM10 - Tables de contingence sur 2022 à l'échéance J0 pour le seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en vert. Tables de contingence d'AIREsv3 – Brut (brut_v3), AIREsv5 – Brut (brut_v5), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (adapt_stat_agreg).

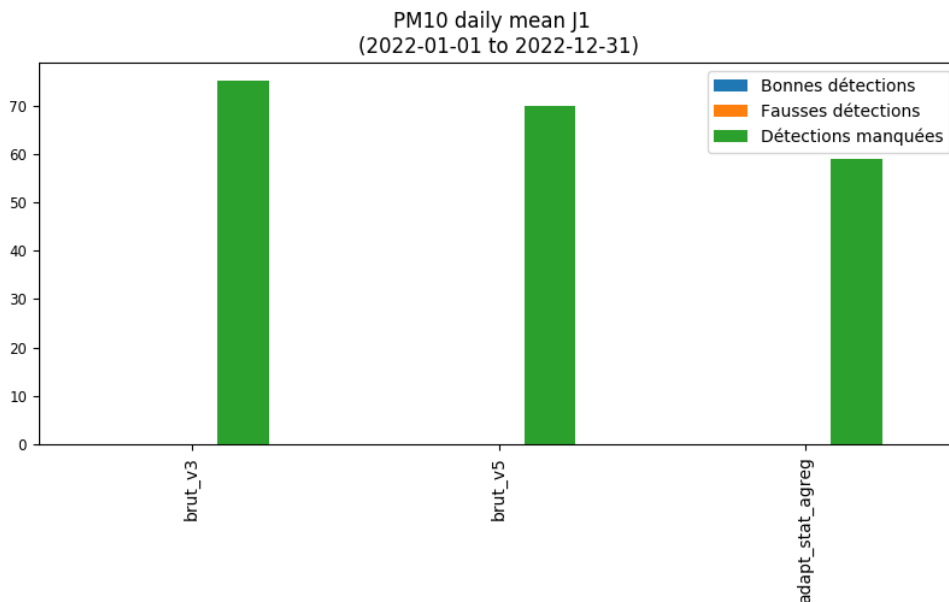


Figure 27 : PM10 - Tables de contingence sur 2022 à l'échéance J1 pour le seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en vert. Tables de contingence d'AIREsv3 – Brut (brut_v3), AIREsv5 – Brut (brut_v5), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (adapt_stat_agreg).

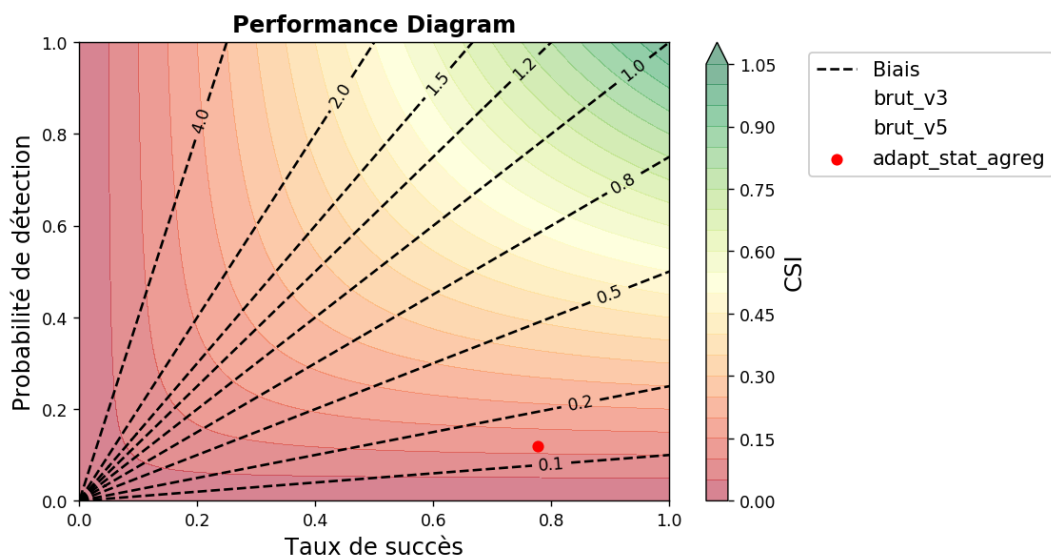


Figure 28 : PM10 - Diagramme de performance pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 pour l'échéance J0

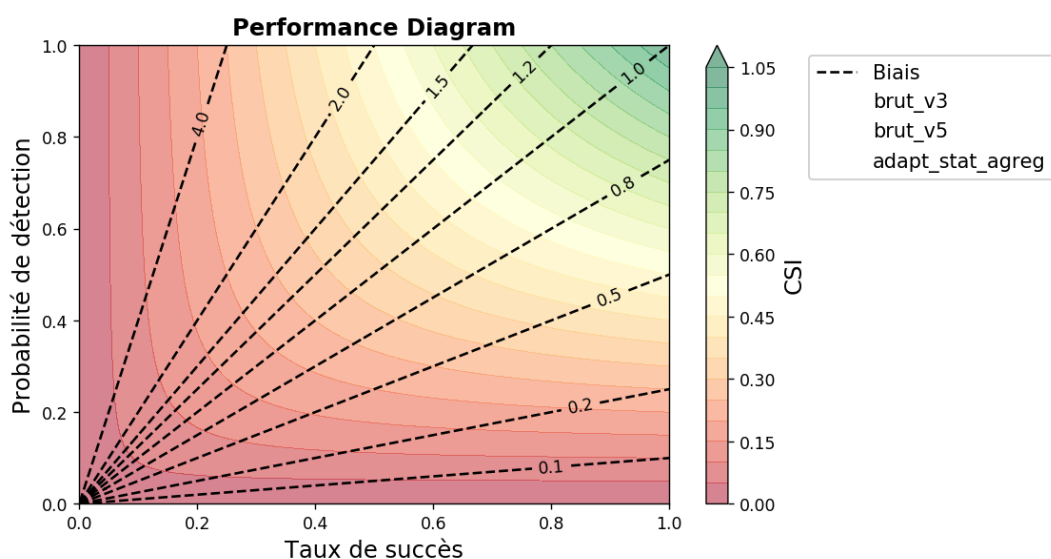


Figure 29 : PM10 - Diagramme de performance pour AIREsv3 – Brut (bleu), AIREsv5 – Brut (vert foncé), et l'agrégation séquentielle des différentes modélisations (rouge) pour 2022 pour l'échéance J1

Les figures ci-dessus représentent une vue complète des performances des prévisions par rapport à la détection des seuils réglementaires (l'objectif est de se situer au plus proche du coin supérieur droit) pour les échéances J0 et J1 :

- Axe horizontal : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions parmi les détections.
- Axe vertical : capacité du modèle à prévoir des dépassements.
- Axe transverse : proportion de fausses alertes par rapport aux alertes manquées.
- Axe couleur : capacité du modèle à faire de bonnes prévisions sans évènements parasites (fausses alertes, alertes manquées).

Elles s'appuient sur la table de contingence (les données sont considérées d'un bloc – pas de moyenne aux stations) pour obtenir le POD en fonction du TS.

Dans l'ensemble, l'adaptation statistique détecte peu de dépassements et privilégie la confiance dans une prévision de dépassement.

4. CONCLUSION

Ce rapport fournit une évaluation des chaînes de prévisions du système Aires et son adaptation statistique. La méthodologie utilisée s'appuie sur les conclusions du groupe de travail prévision (composé du LCSQA et des AASQA), maintenant intégrées au référentiel technique national de surveillance de la qualité de l'air concernant les éléments à analyser dans les rapports annuels décrivant les performances des prévisions. Les prévisions brutes ainsi que l'adaptation statistique sont évaluées.

L'adaptation statistique qui alimente les cartographies en région Provence-Alpes-Côte d'Azur améliore nettement les performances des modèles bruts AIREsv3 et AIREsv5 pour les PM10 et l'ozone. Elle respecte les objectifs de qualité attendus pour les polluants considérés.

Au sujet des dépassements du seuil en ozone, le modèle AIREsv3 prévoit de nombreux dépassements à tort alors que AIREsv5 et l'adaptation statistique en prévoient peu.

Pour les dépassements du seuil en particule PM10, les modèles AIREsv3 et AIREsv5 n'en prévoient aucun et ne réalisent aucune fausse alerte. L'adaptation statistique permet de rehausser l'ensemble des concentrations prévues en PM10 par les modèles bruts et de ce fait prévoir les dépassements du seuil à j0.

Pour les deux polluants étudiés, l'adaptation statistique privilégie la confiance dans une prévision de dépassement mais en détecte globalement peu.

Pour l'ozone, on constate des différences marquées entre les deux modèles bruts AIREsv3 et AIREsv5 dans les départements du Vaucluse, des Alpes-de-Haute-Provence et des Hautes-Alpes. En effet, AIREsv3 est moins performante dans les départements alpins que AIREsv5. Cela peut s'expliquer par les versions des modèles météorologiques et chimiques plus récents.

Concernant les PM10, l'ensemble des modèles ont des performances plus faibles dans les Hautes-Alpes que dans les autres départements. Cela peut s'expliquer par la résolution des grilles de modélisation (4 km) qui n'est pas adaptée à la simulation des masses d'air dans les vallées alpines qui génèrent des phénomènes météorologiques locaux. De plus, les émissions dues à des pratiques locales (écobuage) auxquelles s'ajoutent le chauffage résidentiel au bois sont moins bien renseignées dans les inventaires que les émissions issues d'autres sources d'activités comme le trafic routier ou l'industrie.

Compte tenu des résultats obtenus, les prochains travaux sur l'adaptation statistique porteront sur la prise en compte du modèle AIREsv5 présentant de meilleurs résultats en ozone par rapport au modèle AIREsv3 dans les territoires alpins ainsi que dans l'ensemble de la région pour les valeurs élevées.

ANNEXE 1

Méthode de calcul des scores

Taux de disponibilité des données fixé à 75%. Cela signifie qu'il faut que sur la période d'évaluation, 75% des couples journaliers (ou horaires) mesures-concentrations prévues soient disponibles pour qu'une station soit prise en compte dans le calcul des scores

- **Biais** : Estimateur des écarts entre prévisions et observations :

$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)$$

N est le nombre de stations de mesure, P_i la valeur de prévision à la station i et O_i la valeur observée à la station.

Si le biais est établi pour le maximum journalier, alors le maximum journalier des 2 valeurs doit être pris, s'il s'agit d'un biais pour la moyenne journalière, alors la moyenne journalière des 2 valeurs doit être prise. *Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

- **RMSE** : Root Mean Square Error (RMSE) donne une information sur la qualité du modèle à reproduire les niveaux de concentrations observées. Elle doit être la plus faible possible.

$$\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

N est le nombre de stations, P_i correspond à la prévision à la station i et O_i l'observation à la station i . Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Corrélation : Corrélation r informe sur la cohérence des variabilités temporelle ou spatiale des concentrations observées et prévues. Plus celle-ci est proche de 1 plus la prévision est en mesure de reproduire les bonnes variations des concentrations observées.

$$r = \frac{\text{cov}(P, O)}{\sqrt{\text{var}(P)} \cdot \sqrt{\text{var}(O)}} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

N est le nombre de stations, P_i correspond à la prévision à la station i et O_i l'observation à la station i . Valeurs sans dimension. (cov correspond à la covariance et var à la variance).

ANNEXE 2

Éléments de table de contingence

En préambule, un dépassement est comptabilisé lorsqu'une valeur observée ou prévue excède strictement le seuil de concentration considéré.

La table de contingence des prévisions d'un modèle se présente comme suit :

	<i>Obs > seuil</i>	<i>Obs < seuil</i>
<i>Prévi > seuil</i>	Bonne détection (GD+)	Fausse alerte (FA)
<i>Prévi < seuil</i>	Alerte manquée (MA)	Bonne non-détection (GD-)

Bonne détection +, ou GD+ (Good Detection +) : bonne prévision de dépassement du seuil

Bonne détection -, ou GD- (Good Detection -) : bonne prévision de non-dépassement du seuil

Alerte manquée, ou MA (Missed Alarm) : dépassement de seuil observé en station mais non prévu par le modèle

Fausse alerte, ou FA (False Alarm) : dépassement de seuil prévu par le modèle mais non observé en station

A partir de ces paramètres, il est possible de calculer plusieurs indicateurs permettant de mieux formaliser les performances d'un modèle vis-à-vis de la détection des dépassements.

	<i>Obs > seuil</i>	<i>Obs < seuil</i>	<i>Total</i>
<i>Prévi > seuil</i>	a	b	a+b
<i>Prévi < seuil</i>	c	d	c+d
<i>Total</i>	a+c	b+d	a+b+c+d

POD = « Probability of Detection », ou probabilité de détection

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements observés.

$$POD = \frac{a}{a + c}$$

FAR = « False Alarm Ratio », ou taux de fausses alertes

C'est le taux de mauvaises prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements prévus par le modèle.

$$FAR = \frac{b}{a + b}$$

SR = « Success Ratio », ou taux de succès

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total de dépassements prévus par le modèle.

$$SR = \frac{a}{a + b} = 1 - FAR$$

FB = « Frequency Bias », ou biais de prévision

C'est le biais de prévision des dépassements de seuils. S'il est inférieur à 1, la prévision a tendance à faire plus d'alertes manquées que de fausses alertes.

$$FB = \frac{a + b}{a + c}$$

CSI = « Critical Success Index » ou « Threat Score »

C'est le taux de bonnes prévisions de dépassements de seuil par rapport au nombre total d'évènements prédits et manqués.

$$CSI = \frac{a}{a + b + c}$$

AtmoSud, votre expert de l'air en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



Un large champ d'intervention : air/climat/énergie/santé

La loi sur l'air reconnaît le droit à chaque citoyen de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Dans ce cadre, AtmoSud évalue l'exposition des populations à la pollution atmosphérique et identifie les zones où il faut agir. Pour s'adapter aux nouveaux enjeux et à la demande des acteurs, son champ d'intervention s'étend à l'ensemble des thématiques de l'atmosphère : polluants, gaz à effet de serre, nuisances, pesticides, pollens... Par ses moyens techniques et d'expertise, AtmoSud est au service des décideurs et des citoyens.

Des missions d'intérêt général

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30/12/1996 confie la surveillance de la qualité de l'air à des associations agréées :

- Connaître l'exposition de la population aux polluants atmosphériques et contribuer aux connaissances sur le changement climatique
- Sensibiliser la population à la qualité de l'air et aux comportements qui permettent de la préserver
- Accompagner les acteurs des territoires pour améliorer la qualité de l'air dans une approche intégrée air/climat/énergie/santé
- Prévoir la qualité de l'air au quotidien et sur le long terme
- Prévenir la population des épisodes de pollution
- Contribuer à l'amélioration des connaissances

Recevez nos bulletins

Abonnez-vous à l'actualité de la qualité de l'air : <https://www.atmosud.org/abonnements>

Conditions de diffusion

AtmoSud met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ces travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur notre site Internet.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'AtmoSud. Toute utilisation de données ou de documents (texte, tableau, graphe, carte...) doit obligatoirement faire référence à AtmoSud. Ce dernier n'est en aucun cas responsable des interprétations et publications diverses issues de ces travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.



Siège social : 146, rue Paradis « Le Noilly Paradis » - 13294 Marseille cedex 06
Établissement de Martigues : route de la Vierge 13500 Martigues
Établissement de Nice : 37 bis, avenue Henri Matisse - 06200 Nice
Tél. 04 91 32 38 00 - Télécopie 04 91 32 38 29 - contact.air@atmosud.org



Suivez-nous sur

