

Évaluation des performances des prévisions des concentrations d'O₃ et des PM₁₀ de la plateforme de prévision d'Atmo Occitanie.

Bilan de l'année 2022: Modèle de prévisions pour l'Ozone (O₃) et des particules en suspension inférieur à 10 micromètres (PM₁₀)

www.atmo-occitanie.org

contact@atmo-occitanie.org

09 69 36 89 53 (Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)



Table des matières

I.	Synthèse	2
II.	Présentation de la plateforme de prévision.....	3
II.A.	Eléments de la plateforme de prévision :	3
II.B.	Disponibilité de la prévision :	4
II.C.	Descriptif des observations :	5
III.	Evaluation de la plateforme de prévision	7
III.A.	Prévision des PM10.....	7
III.A.1.	Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)	7
III.A.2.	Performances sur les seuils réglementaires.....	12
III.B.	Prévision de l’ozone.....	16
III.B.1.	Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)	16
III.B.2.	Performances sur les seuils réglementaires.....	20
IV.	Annexe.....	21
IV.A.	Annexe 1 - méthode de calcul des scores	21
IV.B.	Annexe 2 - Eléments de table de contingence	23

I. Synthèse

Ce document présente l'évaluation des performances de la plateforme de prévision de la qualité de l'air d'Atmo Occitanie pour les concentrations des particules en suspension inférieures à 10 micromètres (PM₁₀) et de l'ozone (O₃) sur l'année 2022.

Le taux de fonctionnement de la plateforme CHIMERE a été de 98,36 % en 2022. Pour les journées sans cette prévision, ce sont les prévisions Prév'Air qui ont été utilisées.

L'évaluation (respectivement PM₁₀ et O₃) a été menée telle que définie par le référentiel technique national « *Document d'évaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air* ».

Les concentrations prévues des PM₁₀ Brutes et Adaptées d'Atmo Occitanie respectent les objectifs de qualité fixés dans le référentiel technique, que ce soit sur la région, par département, par typologie, par échéance de prévision et gamme de concentrations. Concernant les dépassements de seuils d'information et d'alerte, on constate que le modèle de prévision quotidienne permet de prévoir un nombre important d'épisodes de pollution (dépassement du seuil de 50 µg.m⁻³) avec cependant quelques fausses détections. La probabilité de détection (POD) du dépassement de 50 µg.m⁻³ avec chimere Adapté est de 40 % contre 10 % avec Prév'Air sur la région Occitanie.

Pour les concentrations prévues en ozone, les objectifs de qualité ne sont pas respectés pour le modèle brut chimère. Le modèle adapté de Prév'Air est donc utilisé en complément par le prévisionniste pour la prévision quotidienne. Celui-ci respecte les objectifs de qualité sur notre région. Avec seulement peu de dépassements des seuils d'information et d'alerte sur la période estivale, il est difficile d'évaluer la capacité des modèles à prévoir des épisodes de pollution. Le modèle Prév'Air présente néanmoins quelques fausses détections sur la période.

II. Présentation de la plateforme de prévision

II.A. Éléments de la plateforme de prévision :

La plateforme de prévision repose sur les modèles WRF et CHIMERE respectivement en version 3.9 et 2017d. Les configurations de ces modèles sont décrites respectivement dans les tableaux ci-après 1 et 2.

Nom du modèle		WRF	Nom du modèle	CHIMERE
Auteur		UCAR	Auteur	IPSL LMD
Version		3.9	Version	2017r4
Microphysique (mp_physics)		8	Nombre de domaines imbriqués	3s
Radiation grande longueur d'ondes (ra_lw_physics)		1	Nom de domaine(s)	Europe : AFREUR_GSO (0.5 °) - National : FR_GSO (0.16 °) - Regional : ZONE_AQ_OCCI (0.04 °)
Radiation courte longueur d'ondes (ra_sw_physics)		2	Nombre de couches verticales	9 (Po sup : 500 hPa, Po inf : 997 hPa)
Schéma de couche de surface (sf_sfclay_physics)		2	Emissions biogéniques	activé
Schéma d'occupation du sol (sf_surface_physics)		2	Erosion éolienne	activé
Schéma de hauteur de couche limite (bl_pbl_physics)		2	Resuspension des poussières	activé
Schéma de surface urbaine (sf_urban_physics)		0	Schéma chimique	Melchior2
Paramétrisation des cumulus (cu_physics)		1	Nombre de sections granulo. d'aérosols	10
Modèle d'eet de ux de chaleur (isx)		1	Sels marins / Poussières désertiques	activé / activé
Modèle d'eet de neige (ifsnow)		0	POPs / Espèces carbonées	activé / activé
Modèle d'eet des nuages (ifcloud)		1	Schéma d'aérosols secondaires	2
Niveaux du schéma de surface (num_soil_layers)		4	Fréquence de calcul d'équilibre	1
Temps appel des cumulus (cudt)		5	Pas de temps résolution physique	10
Temps appel du rayonnement (radt)		10	Pas de temps résolution chimique	Européen et National : 5 / Régional : 10
Temps appel de hauteur de couche limite (bltdt)		0	Schéma d'advection	1
Assimilation de données		désactivé	Convection profonde	activé
Tableau 1 : Description la configuration du modèle WRF			Hauteur de couche limite urbaine min	0
			Flux de chaleur urbain additionnel	0
			Facteur correctif de vent urbain	1
			Tableau 2 : Description de la configuration du modèle CHIMERE	

Les modélisations consistent en 3 domaines imbriqués (cf. figure 1), le plus petit étant centré sur le grand sud-ouest de la France avec une résolution horizontale d'environ 4km. Des tests d'intégrations sont en cours pour l'utilisation des données issues de Prév'air en conditions limites mais demande un travail d'adaptation des données verticales afin d'implémenter ces données dans notre chaîne chimère 2020 en phase de développement au cours de l'année 2022. Ces tests seront finalisés courant 2023.

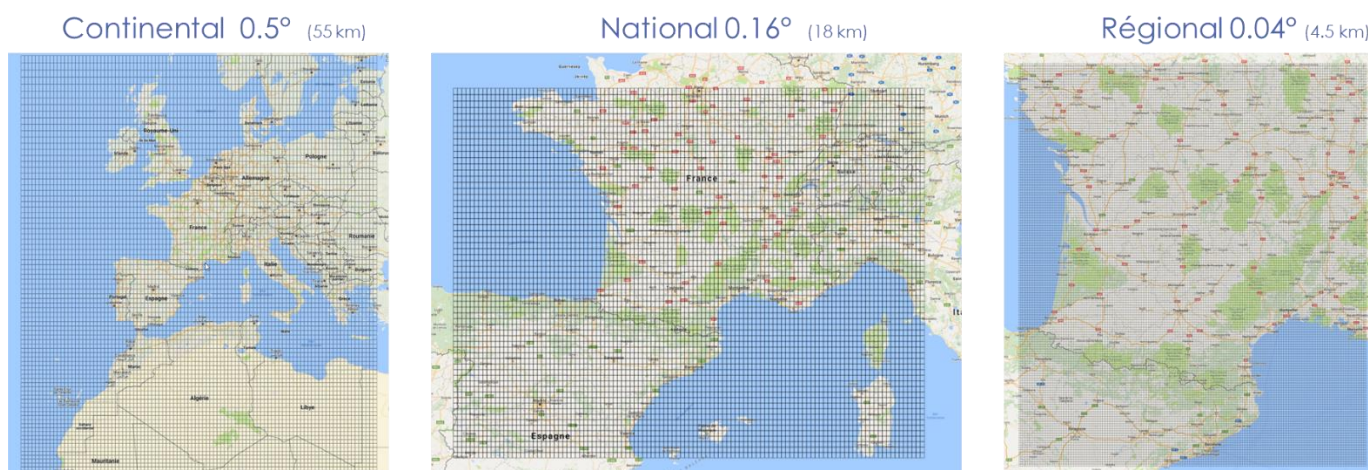


Figure 1 : Grilles de calcul des domaines imbriqués

Plusieurs données issues de notre plateforme sont évaluées dans ce rapport :

- La prévision brute en sortie du modèle CHIMERE qui tourne quotidiennement sur notre plateforme. Celle-ci prend en entrée les données issues de WRF qui lui-même tourne à partir des données GFS. Nous avons configuré le modèle CHIMERE afin d'utiliser nos données d'inventaire d'émissions ainsi que les données TNO et EMEP. Cette simulation sera appelée **Brut** pour la suite du rapport.
- La prévision adaptée issue de notre modèle de régression linéaire multivariée qui va permettre le redressement statistique des données brutes de CHIMERE. Ce modèle statistique est basé sur un historique de 30 jours (pour le J_0) à 60 jours (pour le J_{+1}). Ces données seront appelées **Chimere Adapté** ou tout simplement « **Adapt** » au sein des graphiques.
- En plus de ces jeux de données, nous évaluons les données de prévision mise à disposition par Prév'Air. Ces données, récupérées quotidiennement, sont adaptées statistiquement. Ce jeu de données sera dénommé **PRÉV'AIR** dans ce rapport.

II.B. Disponibilité de la prévision :

Plusieurs problèmes peuvent causer l'indisponibilité de la prévision quotidienne :

- Des dysfonctionnements machines : panne de courant, mémoire, transferts de données corrompus, plantage, etc.
- Des problèmes de la chaîne de calcul : cela comprend les problèmes de délais de mise à disposition de données telles que les données GFS.
- Enfin, la chaîne de post-traitement peut également poser des problèmes de disponibilité si celle-ci s'arrête en cours de calcul.

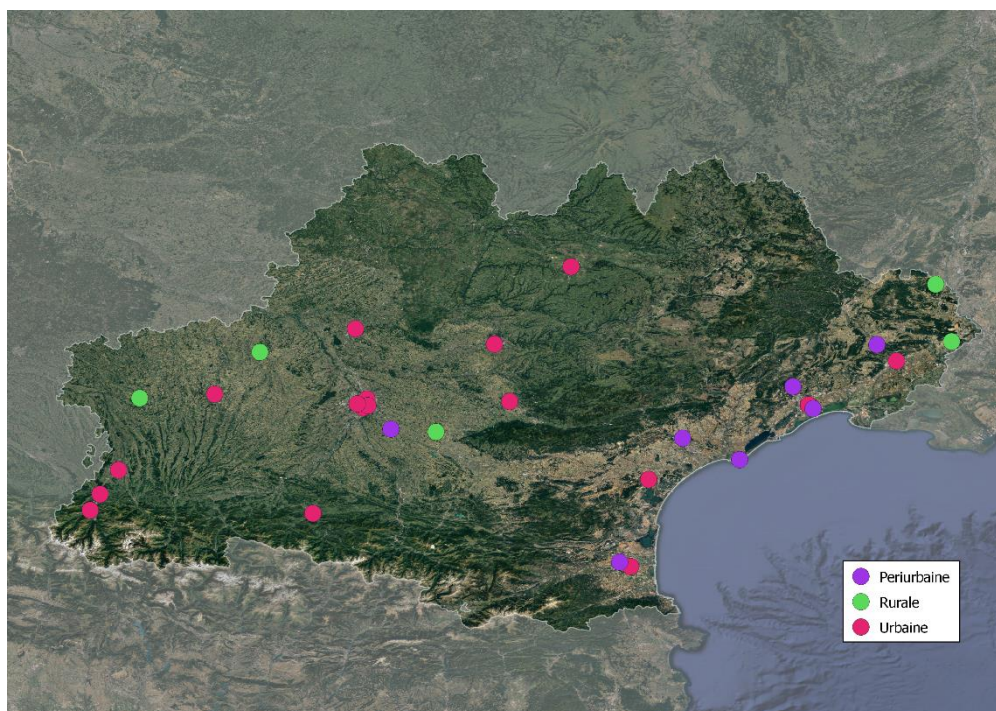
Dans l'ensemble les différentes chaînes de prévisions sont assez stables et ne causent pas d'indisponibilité. Les indisponibilités des données GFS, soit par leur absence ou par leur incompatibilité, ne permettent pas la mise à disposition d'une prévision chimère compatible avec les échéances de réalisation de la prévision quotidienne par les prévisionnistes d'astreinte. Dans ce type de situation les prévisions Prév'Air sont prises en référence. Les problèmes machines sont le plus souvent ponctuels et sont résolus dans l'heure, ce qui permet de disposer d'une prévision chimère pour les prévisionnistes.

La plateforme de prévision régionale quotidienne d'Atmo Occitanie a fonctionné 98,36 % (359 sur 365 jours) sur l'année 2022 sans aucun problème. Avec la prise en compte de données issues de Prév'Air sur ces journées manquantes, notre taux de disponibilité de la prévision passe à 100 %, c'est-à-dire qu'une prévision cartographique quotidienne a toujours été disponible pour le prévisionniste ainsi que pour le public sur l'année 2022.

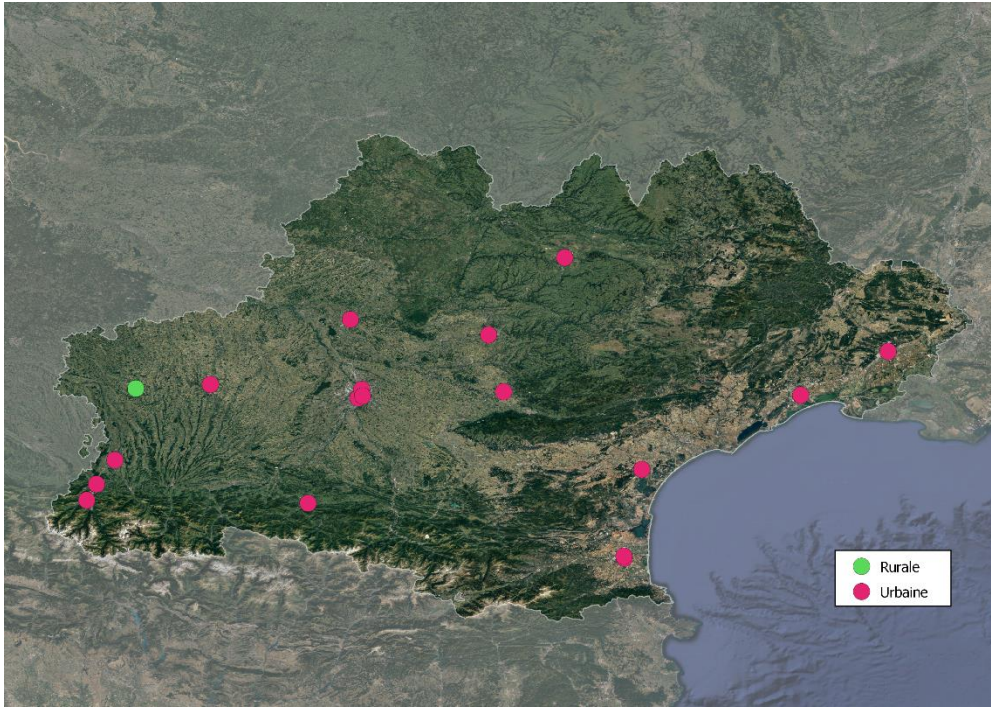
II.C. Descriptif des observations :

Les observations retenues pour l'évaluation sont les stations urbaines, périurbaines et rurales. Le nombre de stations utilisées est de 18 pour les PM₁₀ et de 29 pour l'ozone.

La localisation des stations est présentée sur les cartes ci-après, respectivement pour l'ozone et pour les PM₁₀.



Carte 1 : Position des stations retenues mesurant l'ozone.



Carte 2 : Position des stations retenues mesurant les PM₁₀.

III. Evaluation de la plateforme de prévision

Les méthodes de calcul sont définies dans l'Annexe 1 - méthode de calcul des scores. Elles sont celles décrites dans le document « Evaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air » du référentiel technique nationale « Guides méthodologiques pour la prévision de la qualité de l'air », approuvé en CPS du 18 mars 2021 et mise en application au 1^{er} janvier 2022.

III.A. Prévision des PM10

III.A.1. Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)

III.A.1.a) Par rapport aux objectifs de qualité

Les objectifs de qualité sont définis ci-après pour les PM₁₀. Ils ont été fixés à l'échelle nationale dans le cadre d'un groupe de travail sur l'évaluation des prévisions.

Polluant	Biais ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	RMSE ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Corrélation
PM ₁₀ Référence	-7.5/+7.5	15	0.6

Tableau 3 : Objectifs de qualité définis pour les PM₁₀ pour le biais, la RMSE et la corrélation

La figure 1 présente dans l'ordre, le biais, la RMSE et la corrélation pour l'ensemble des modèles évalués. L'objectif de qualité, pour la corrélation, y est présenté à l'aide d'un segment en pointillés jaunes. Les autres objectifs de qualité ne sont pas représentés car ils sont hors limite et sont tous respectés par les modèles.

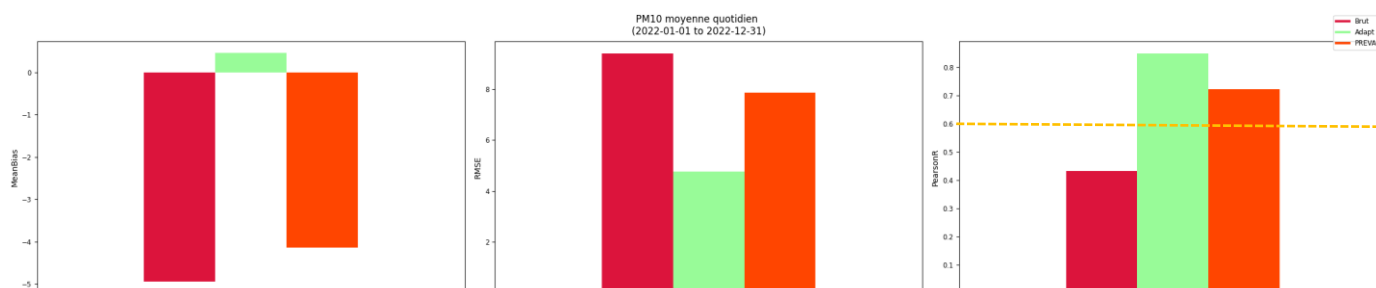


Figure 1. : PM₁₀ - Scores de biais, RMSE et corrélation sur la région Occitanie des prévisions Adaptation CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur l'année 2022 sur l'échéance J₀. La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité.

Ces scores présentés sont une moyenne des scores de chaque station de fond. En termes de biais, le modèle d'adaptation CHIMERE ADAPTÉE permet de réduire le biais à très proche de 0 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur l'année alors que le modèle CHIMERE Brut présente un biais important d'environ - 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Les concentrations issues du modèle PRÉV'AIR présentent également un biais important de l'ordre de - 4 $\mu\text{g.m}^{-3}$. En termes de RMSE, tous les modèles respectent l'objectif de qualité de 15 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Le modèle CHIMERE ADAPTÉE est le plus performant avec 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ alors que les modèles CHIMERE brut et PRÉV'AIR se situent aux alentours de 8 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Enfin, PRÉV'AIR et CHIMERE ADAPTÉE présentent une corrélation respective supérieure à 0.7 et 0.8, là où le modèle CHIMERE brut est en dessous de l'objectif de qualité avec une valeur de 0.4.

Les graphiques suivants (utilisés par la suite dans les parties A.1.b à A.1.e) présentent à la fois la RMSE, le biais et la corrélation en une seule figure selon :

- Les départements.
- Les typologies de stations.
- Les échéances de prévision.
- Les gammes de concentrations.

Les biais sont représentés par les ronds noirs, les corrélations par les croix et les RMSE par les bars verticaux de couleurs. La ligne en pointillés oranges indique l'objectif de qualité de la corrélation, les autres indicateurs ne sont pas indiqués car tous respectés. De plus, les moyennes globales des observations sont représentées par des pointillés bleus.

III.A.1.b) Par départements

La figure 2 présente les mêmes scores que la figure 1 mais intégrés sur chaque département. Les scores par départements sont obtenus avec un filtre spatial au moment de calculer la moyenne.

On observe des variations entre les départements, mais rien de significatif par rapport au respect des objectifs de qualité. **Notre modèle CHIMERE ADAPTÉ respectent tous les objectifs (Biais, RMSE et Corrélation) sur chacun des départements.** Le modèle PRÉV'AIR respectent tous les objectifs sauf sur le département 31, Tarn, où la corrélation est légèrement inférieure à l'objectif fixé de 0,6 (pointillés oranges). A l'inverse, le modèle CHIMERE brut présente, dans la plupart des cas, des valeurs inférieures à l'objectif de qualité de la corrélation et les biais/RMSE sont aussi plus importants que pour les 2 autres modèles. Cette dernière remarque vaut pour l'ensemble des graphiques présentés ci-dessous.

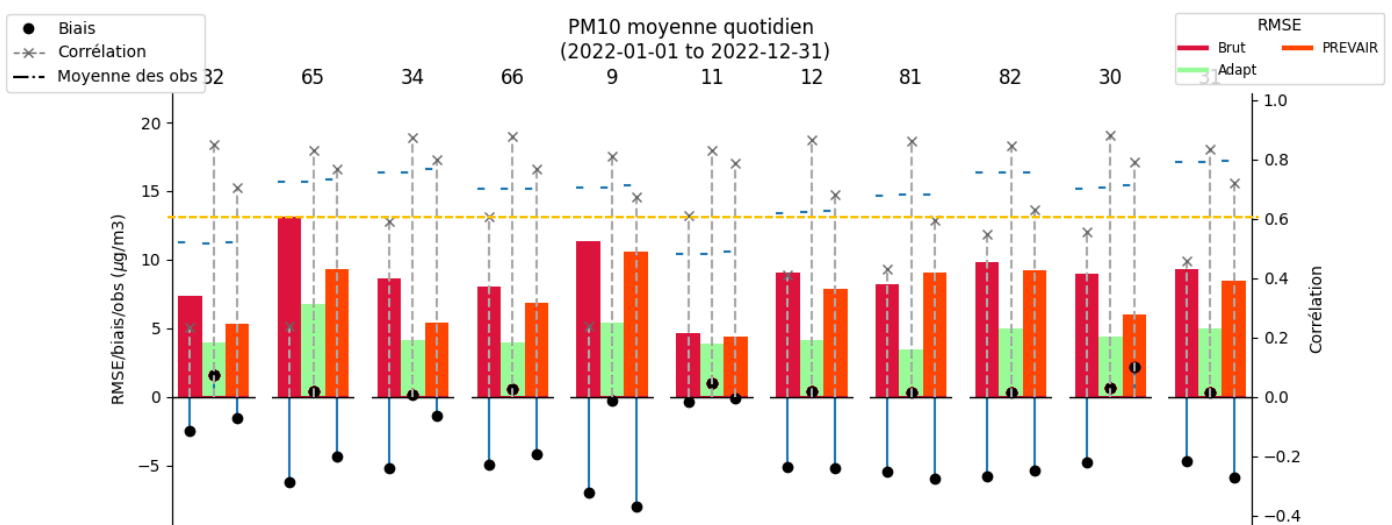


Figure 2 : PM₁₀ - Scores de biais, RMSE et corrélation sur les départements de la région des prévisions Adaptation CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur l'année 2022 sur l'échéance J₀. La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité de la corrélation.

III.A.1.c) Par typologie

De même que précédemment, on représente les scores de RMSE, biais et corrélation sous un seul graphique (figure 3). Cette fois ci c'est la typologie des stations qui est étudiée (urbaine, périurbaine et rurale). Le calcul des scores est effectué par station, puis ceux-ci sont moyennés avec un filtre sur les typologies de stations de fond (urbaines, péri-urbaines et rurales). Sans stations péri-urbaines, cette partie est vide sur le graphique.

La ligne en pointillés oranges représente l'objectif de qualité de la corrélation, les deux autres objectifs sont non représentés car ils sont respectés par l'ensemble des modèles

Les 3 objectifs de qualité sont respectés pour les deux modèles adaptés, CHIMERE ADAPTÉE et PREV'AIR, utilisés quel que soit la typologie de la station. Les stations de type « Rural » présentent de meilleurs scores quel que soit le modèle, en termes de RMSE et de Biais. Le modèle Brut ne respecte pas le critère de qualité du biais sur les deux typologies.

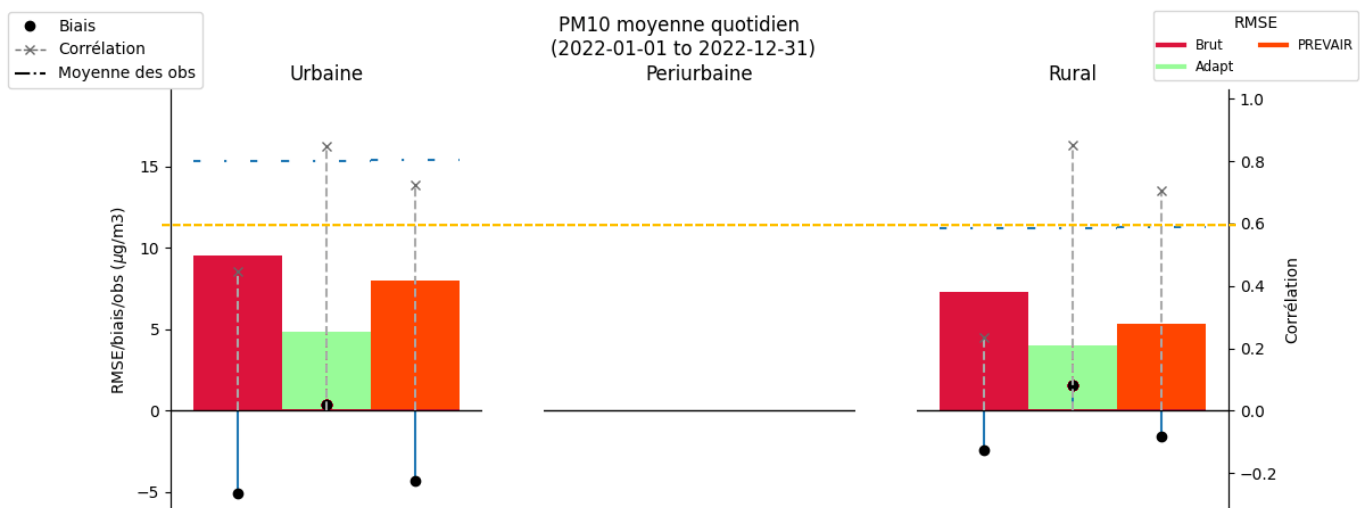


Figure 3 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Adaptation CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PREV'AIR (orange) sur l'année 2022 sur l'échéance J₀. La ligne en pointillés oranges indique l'objectif de qualité de la corrélation, celles en pointillés bleus correspondent aux moyennes des observations.

III.A.1.d) Par échéance de prévision

La figure 4 représente les scores pour les deux échéances J_0 et J_{+1} . Le calcul des scores est effectué par station, puis ceux-ci sont moyennés sur les différentes échéances (J_0 et J_{+1}). **Les objectifs de qualité sont respectés avec une amélioration (depuis le Brut) des indicateurs pour les deux échéances pour le modèle adapté CHIMERE ADAPTÉE. Seul ce modèle respecte le critère de qualité de la corrélation sur l'échéance J_1 .**

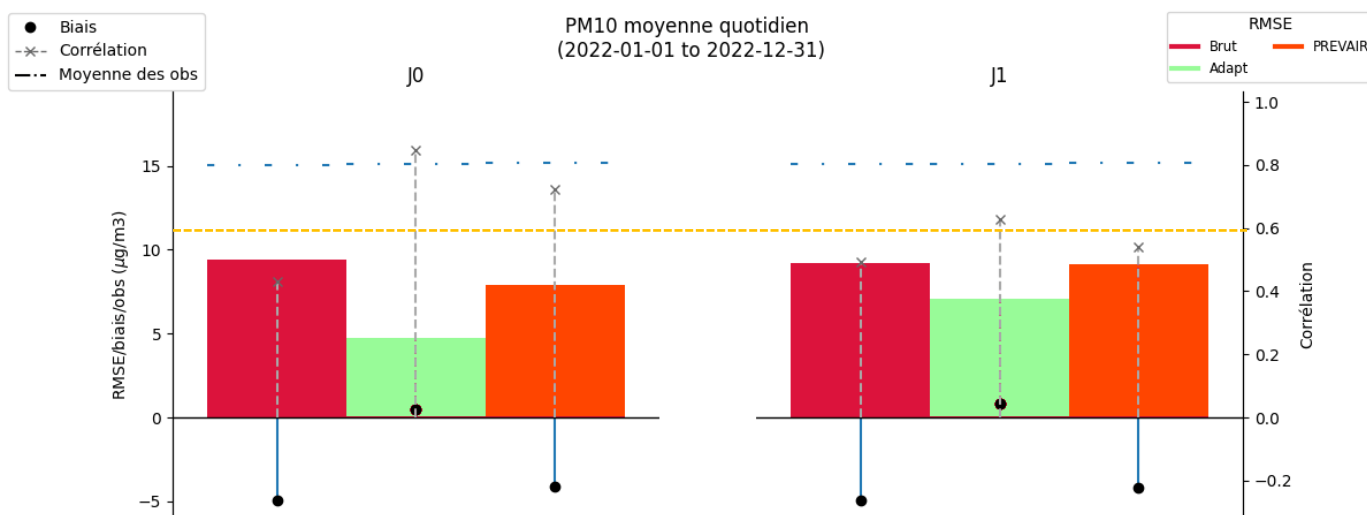


Figure 4 : PM_{10} - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour Adaptation CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur l'année 2022 sur l'échéance J_0 et J_1 . La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité de la corrélation.

III.A.1.e) Par gamme de concentrations

La figure 5 présente le biais (gauche) et la RMSE (droite) par classe de concentration. Les données journalières sont groupées selon leur « classe de concentration mesurée » (par rapport aux observations). Pour chaque groupe, les scores sont ensuite calculés sur chaque station de fond puis moyennés.

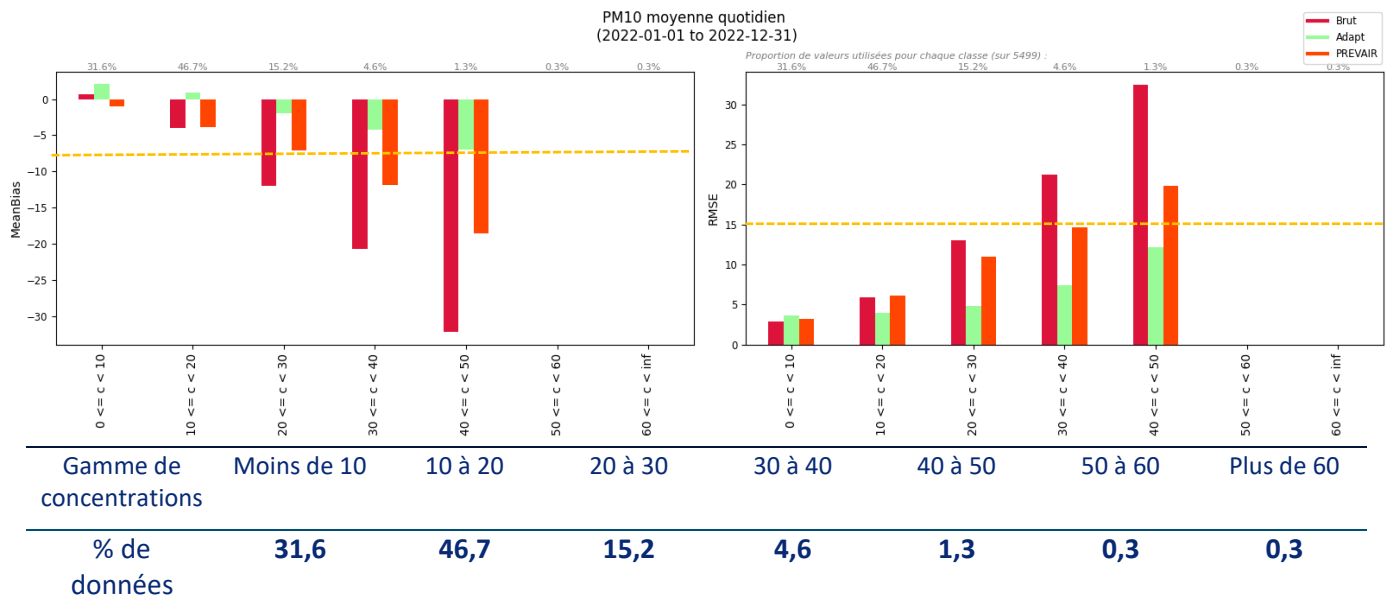


Figure 5 : PM_{10} - Synthèse des scores de biais et de RMSE par classe de concentrations pour Adaptation CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur l'année 2022 sur l'échéance J_0 . Sous les figures, les taux d'observations pour chaque classe de concentrations sont affichés dans un tableau. Les objectifs sont représentés par des segments en pointillés oranges.

Pour les hautes concentrations journalières ($> 40\mu g.m^{-3}$) le modèle CHIMERE ADAPTÉE permet de respecter les objectifs de qualité, normalement définis sur l'ensemble des données et non, seulement, sur les valeurs élevées. C'est d'ailleurs le seul des modèles à respecter ces critères sur l'ensemble des gammes de concentrations.

III.A.2. Performances sur les seuils réglementaires

III.A.2.a) Scores aux stations

III.A.2.a.1) Séries temporelles

Les figures 6 et 7 représentent le nombre de dépassements observés (en pointillés gris) et prévus par les modèles (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de l'année, respectivement pour les dépassements prévus par les modèles à l'échéance J_0 et ceux de l'échéance J_{+1} . Quelques dépassements sont observés sur l'année pour les PM_{10} . Le modèle CHIMERE ADAPTÉE permet de prévoir certains épisodes avérés avec une meilleure précision que pour le modèle Prév'Air.

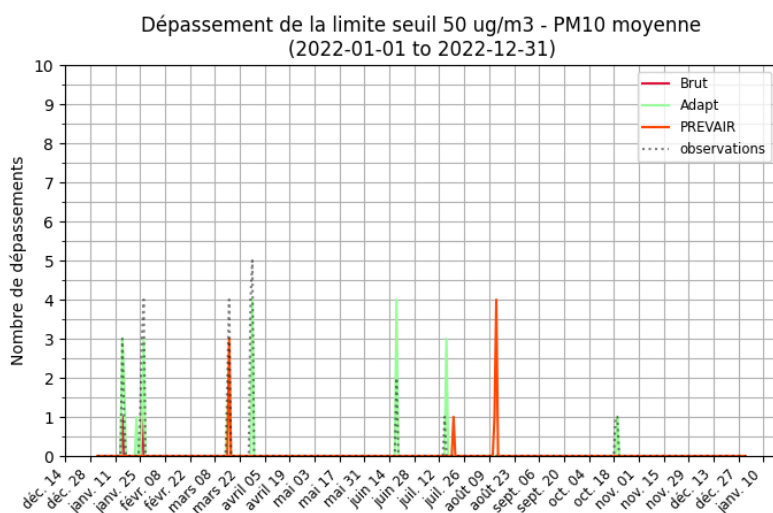


Figure 6 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J_0 par les différentes prévisions.

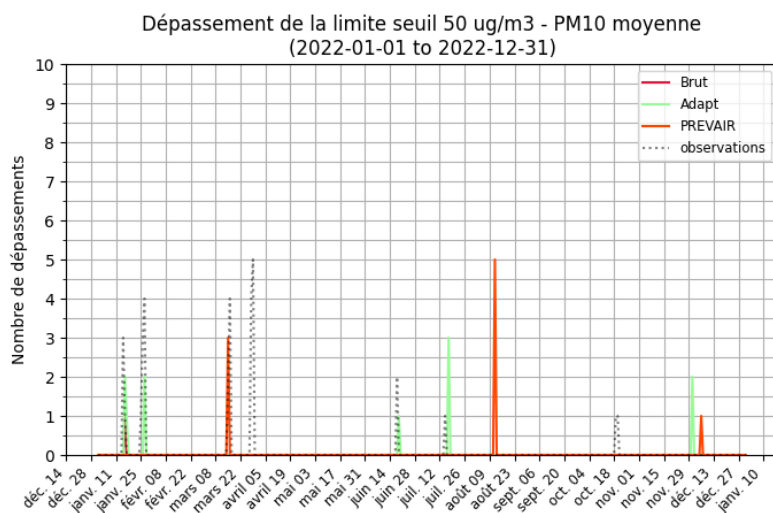


Figure 7 : Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J_{+1} par les différentes prévisions.

III.A.2.a.2) Eléments de la table de contingence

La figure 8 représente les valeurs des tables de contingence des dépassements de concentrations en PM₁₀ (Bonne détection (en vert), Alerte manquée (rouge), Fausse alerte (orange)) cumulées sur les stations de fond sur l'ensemble de la région pour les deux échéances (J₀ en haut et J₊₁ en bas).

Comme vu dans le graphique précédent, le modèle CHIMERE ADAPTÉE permet de prévoir certains épisodes avérés avec une meilleure précision que pour le modèle Prév'Air. Ceci est surtout vrai sur l'échéance J₀ où le modèle permet de prévoir (bonnes détections) plus d'épisode de pollutions que ce qu'il peut se tromper (fausses détections).

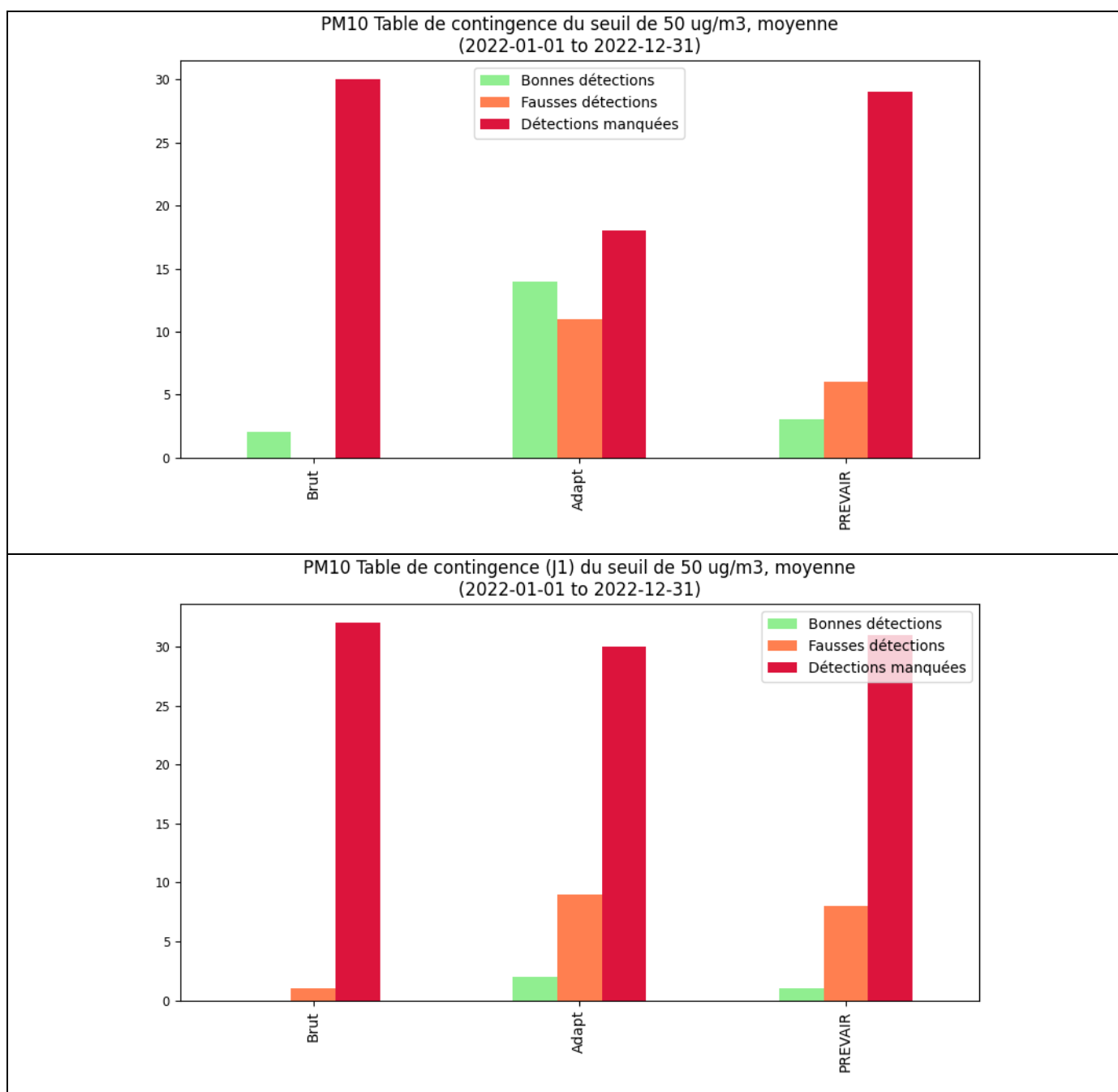


Figure 8 : PM₁₀ - Tables de contingence pour l'échéance J₀ (en haut) et J₁ (en bas) du seuil 50 µg/m³. Les bonnes détections sont en verts, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en rouges. Les modèles sont présentés en abscisse.

Enfin, à partir des données de bonnes détections, alertes manquées et fausses alertes on peut représenter une Probabilité de Détection (POD) en fonction du Taux de Succès (TS) pour chaque modèle.

La figure 9 présente ainsi 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) :

- 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)

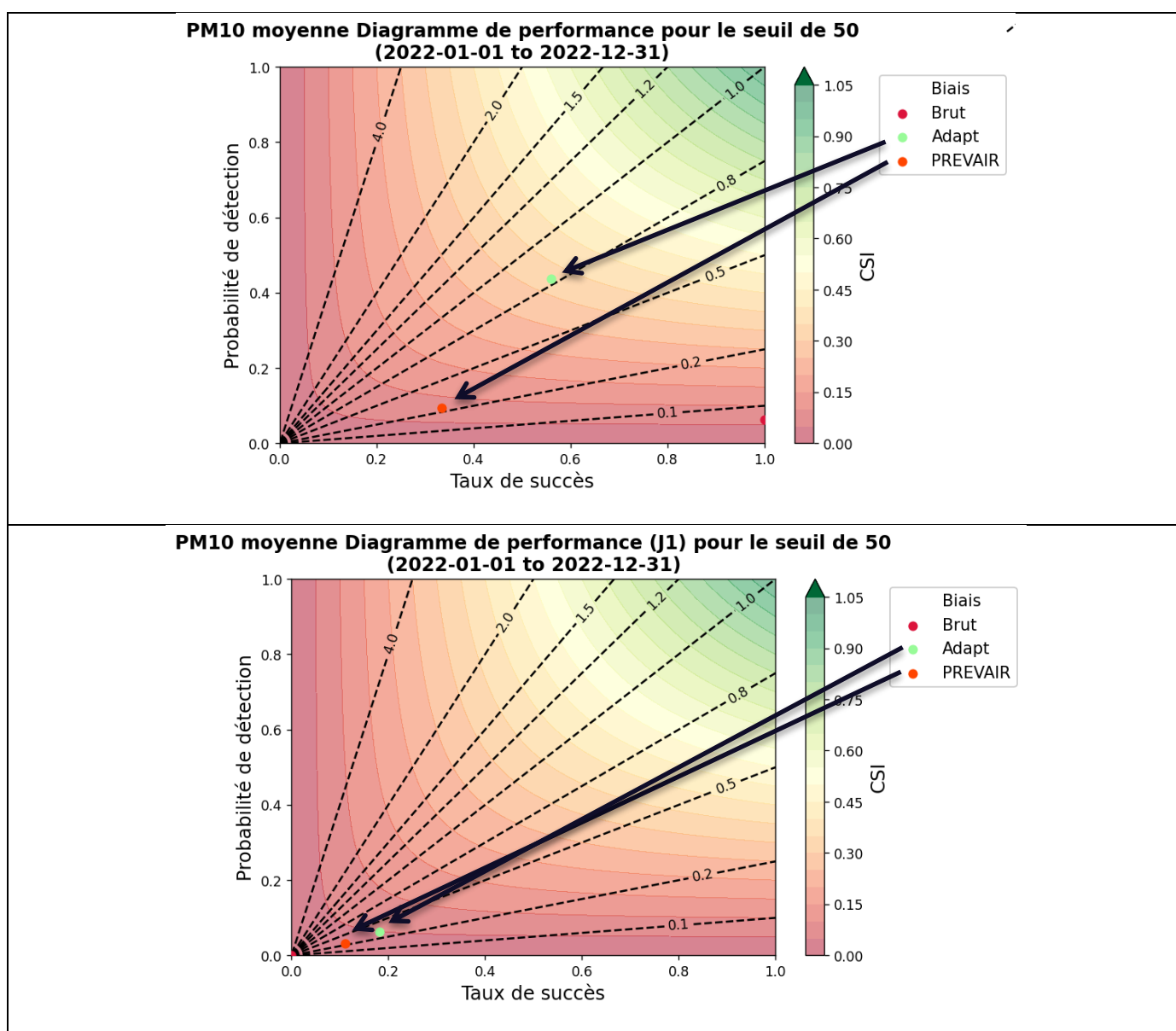


Figure 9 : PM10- Diagramme de performance pour l'échéance J_0 (en haut) et J_1 (en bas) pour CHIMERE ADAPTÉE (vert), CHIMERE Brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur l'année 2022.

A partir de la figure 9, on constate une capacité du modèle Adapté à prédire correctement des épisodes de pollution, surtout sur l'échéance J_0 .

Le modèle CHIMERE ADAPTÉE présente de meilleurs résultats que le modèle Prév'Air avec une POD supérieur à 40 % alors que Prév'Air se situe autour de 10 %.

De même, et bien que la Probabilité de Détection soit faible, le modèle CHIMERE ADAPTÉE est plus performant que les deux autres modèles à l'échéance J_1 .

III.B. Prédiction de l’ozone

Les modèles évalués pour l’ozone sont : le modèle brut chimère qui tourne en opérationnel (rouge), ainsi que le modèle Prév’Air (orange) adapté. Le modèle chimère d’Atmo Occitanie pour les prévisions d’ozone fonctionne sur une ancienne version de chimère (2017) avec un jeu d’émissions plus ancien et sans méthode d’adaptation. La performance de ces prévisions n’est pas aussi satisfaisante que pour les prévisions des PM₁₀. Le modèle Prév’Air est donc régulièrement utilisé par le prévisionniste pour la prévision quotidienne en complément du modèle chimère brut. Une mise à jour de la version du modèle et une mise en place d’un modèle d’adaptation est en cours afin d’y remédier.

III.B.1. Scores classiques (Biais, RMSE et corrélation)

III.B.1.a) Par rapport aux objectifs de qualité

Ci-après sont présentés les objectifs de qualité pour l’ozone.

Polluant	Biais ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	RMSE ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Corrélation
O ₃ Référence	-10/+10	25	0.7

Tableau 4 : Objectifs de qualité définis pour l’O₃ pour le biais, la RMSE et la corrélation

La figure 10 présente dans l’ordre, le biais, la RMSE et la corrélation pour les deux modèles évalués. Les objectifs de qualité sont présentés à l’aide d’un segment en pointillés jaunes. **Le modèle Prév’Air respecte les objectifs de qualité contrairement à la prévision brute chimère qui ne respecte pas l’objectif de qualité du biais. Ce constat est retrouvé pour les figures suivantes.**

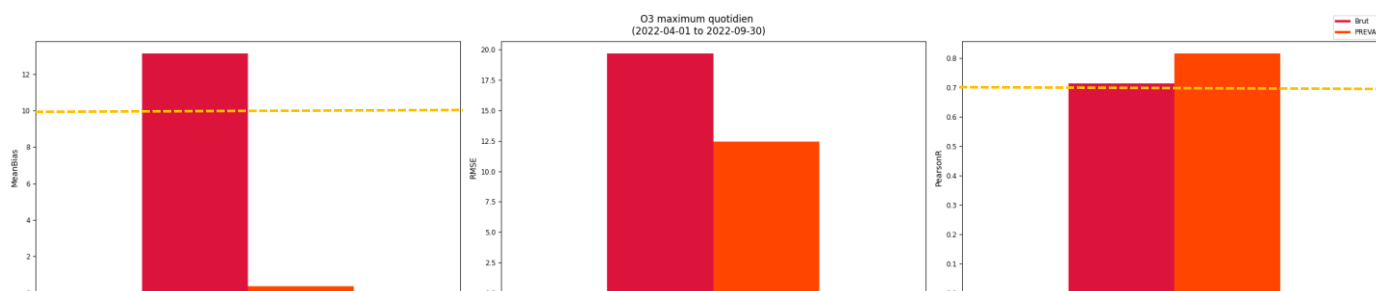


Figure 10 : O₃ - Scores de biais, RMSE et corrélation sur la région Occitanie des prévisions CHIMERE brut (rouge) et de PRÉV’AIR (orange) sur la période estivale 2022 pour l’échéance J₀. La ligne en pointillés orange indique les objectifs de qualité respectifs.

III.B.1.b) Par départements

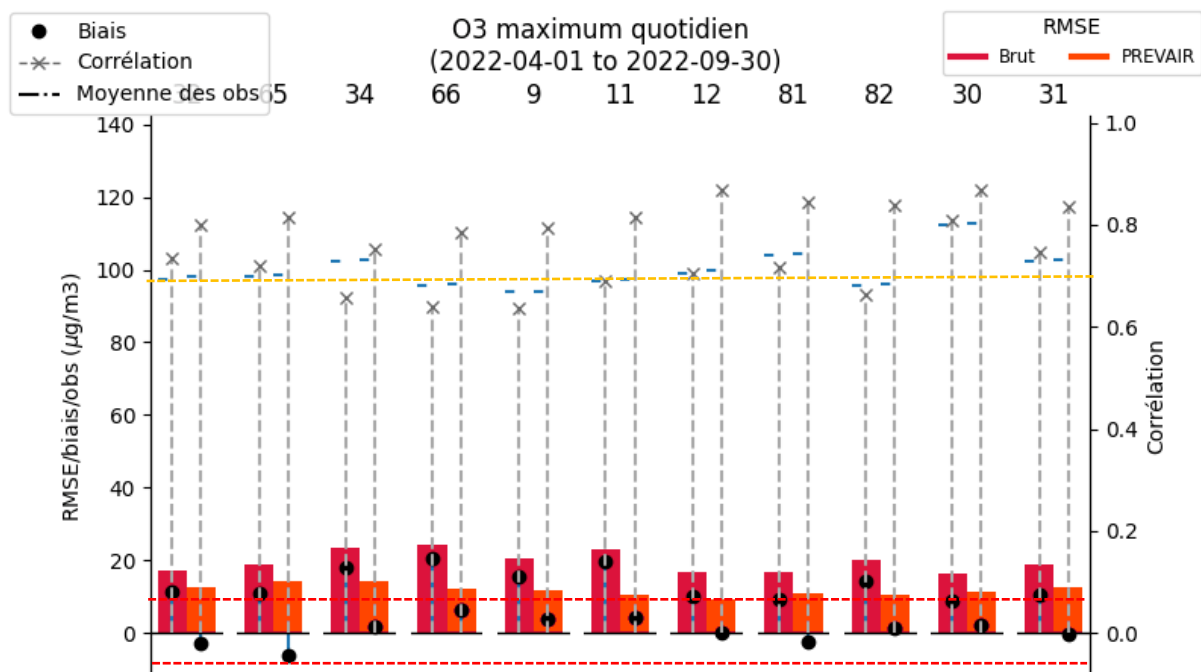


Figure 11 : O₃ - Scores de biais, RMSE et corrélation sur les départements de la région des prévisions CHIMERE brut (rouge) et de PRÉVAIR (orange) sur la période estivale 2022 pour l'échéance J₀. La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité de la corrélation, celles en rouges correspondent aux biais, et celle en bleu à la RMSE.

III.B.1.c) Par typologie

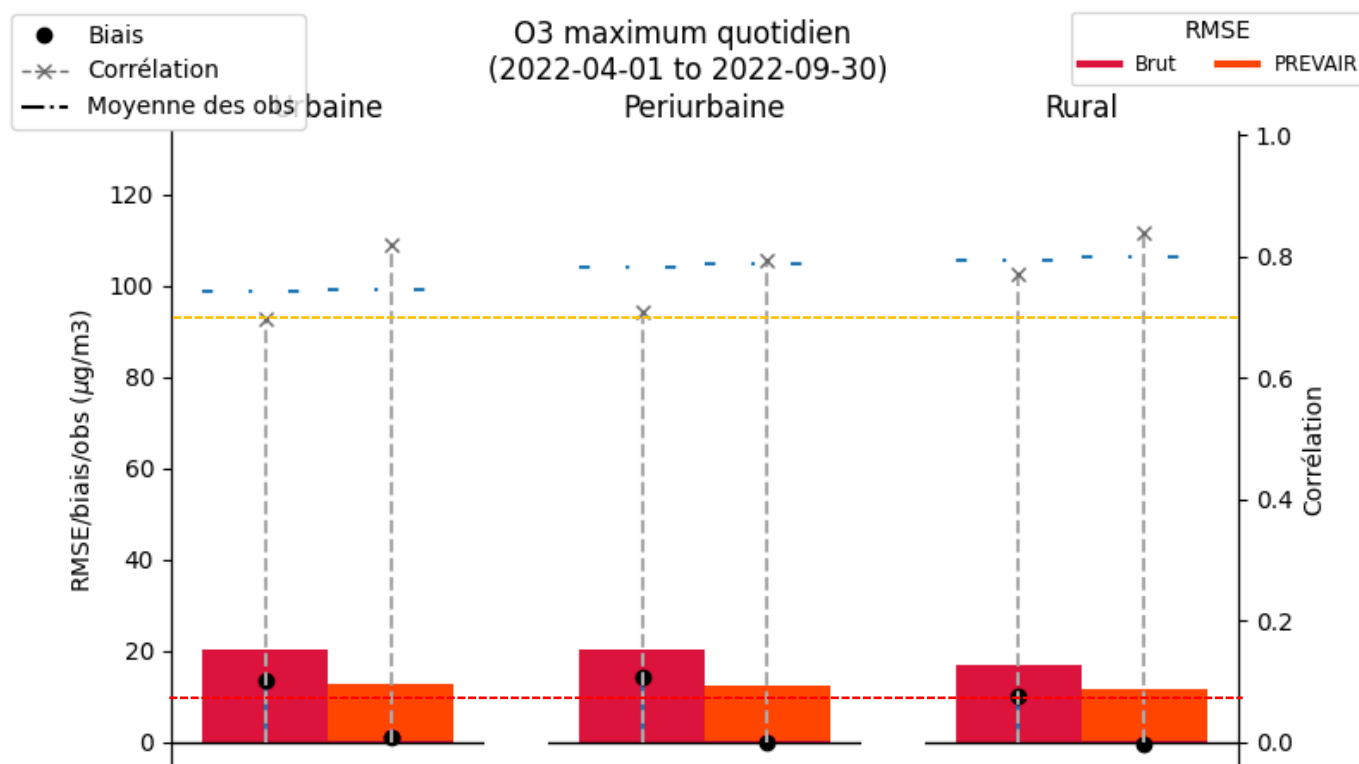


Figure 12 : O₃ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions CHIMERE brut (rouge) et de PRÉVAIR (orange) sur la période estivale 2022 pour l'échéance J₀. La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité de la corrélation, celles en rouges correspondent aux biais, et celle en bleu à la RMSE.

III.B.1.d) Par échéance de prévision

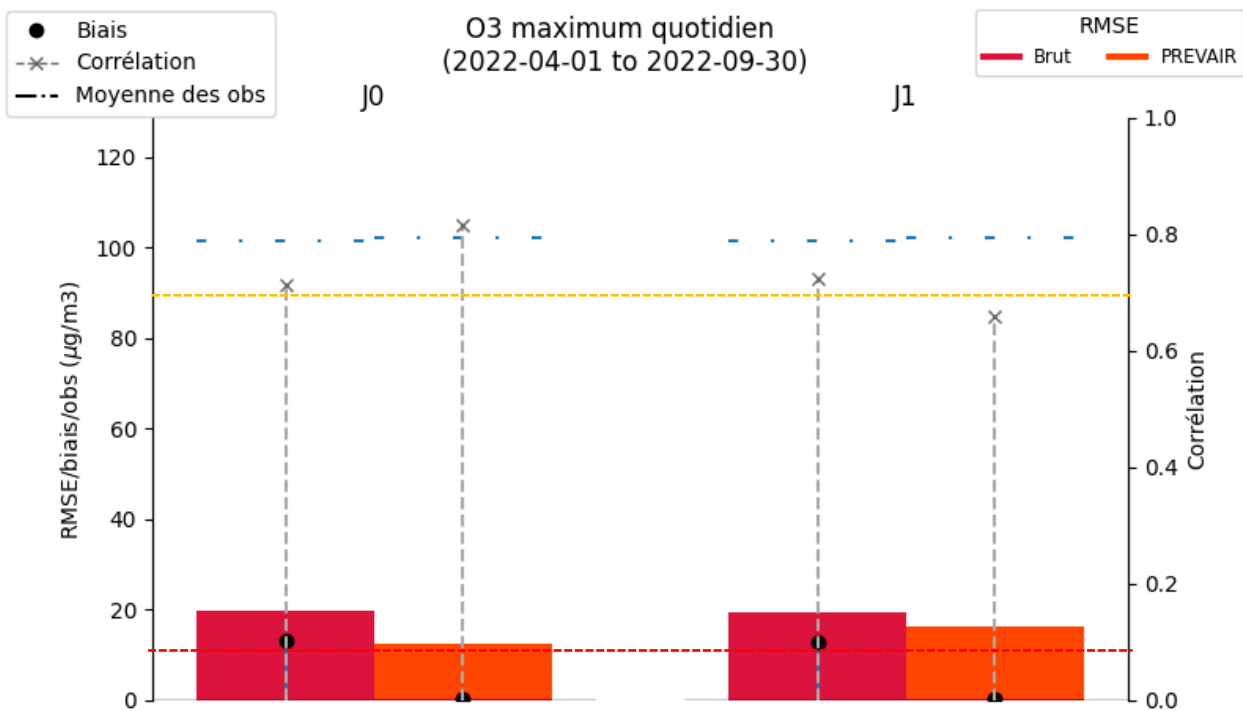


Figure 13 : O₃ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour CHIMERE brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur la période estivale 2022 pour les échéances J₀ et J₁. La ligne en pointillés orange indique l'objectif de qualité de la corrélation, celles en rouges correspond aux biais, et celle en bleu à la RMSE.

III.B.1.e) Par gamme de concentrations

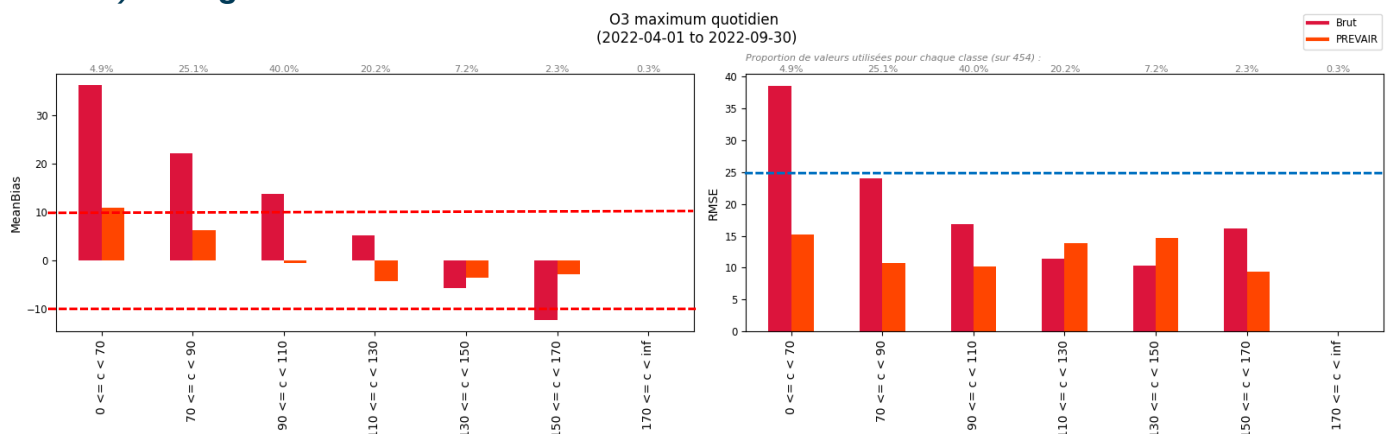


Figure 14 : O₃ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation par classe de concentrations pour CHIMERE brut (rouge) et de PRÉV'AIR (orange) sur la période estivale 2022 pour l'échéance J₀.

III.B.2. Performances sur les seuils réglementaires

Comme aucun dépassement n'est avéré par les modèles sur toute la période estivale, les figures des séries temporelles, tables de contingences et de diagramme de performance n'ont pas d'utilité à être montrés ici car vide. **Il est à noter que le modèle Prév'air présentent un nombre élevé de fausses alertes sur la période estivale 2022** (cf. figure 15 ci-après).

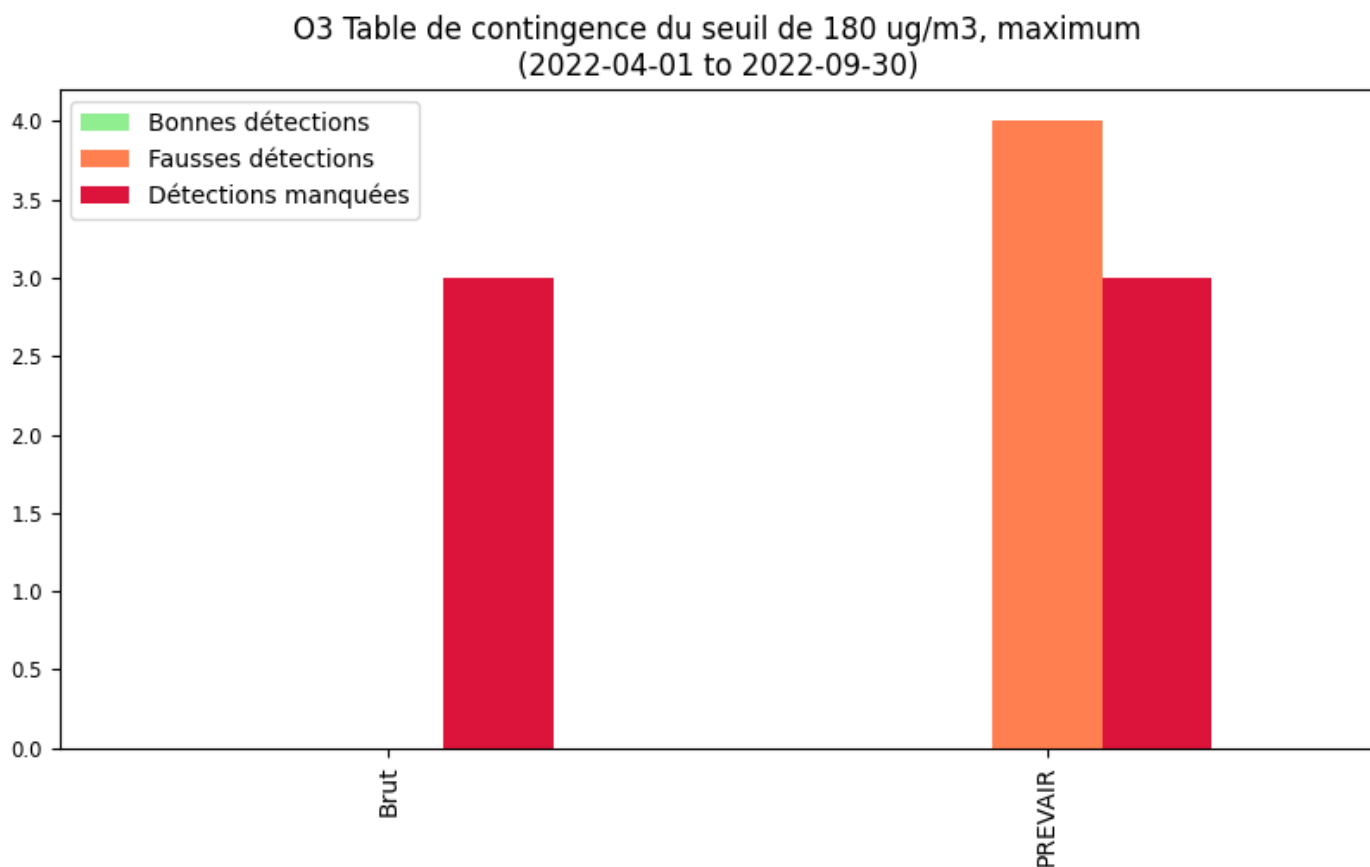


Figure 15 : O₃ - Tables de contingence pour l'échéance J₀ du seuil des 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en verts, les fausses alertes en orange, et les alertes manquées en rouges. Les modèles sont présentés en abscisse.

IV. Annexe

IV.A. 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).

Pseudo-code pour la réalisation des figures (typé python)

Calcul des scores temporels par station :

```
obs, sim = matrices de taille nb_times * nb_sta, contenant les données de mesure et de simu
res = vecteur de taille nb_sta
Pour sta dans l'intervalle [0, nb_sta[ :
    idx = index pour lesquels (obs[sta] != NaN) ET (sim[sta] != NaN)
    Si sum(idx) >= 0,75*nb_times :
        obs_without_nan = obs[sta][idx]
        sim_without_nan = sim[sta][idx]
        res[sta] = score(obs_without_nan, sim_without_nan)
```

avec *score(obs, sim)* la fonction de détermination du score considéré, basée sur les calculs données ci-dessus.

Le score est calculé uniquement pour les stations ayant rempli le critère de 75% de données valides. (le vecteur *res* peut être initialisé à NaN pour faciliter ensuite le traitement des stations présentant trop peu de données valides)

Filtre spatial :

Pour une région R donnée, on ne conserve que les stations appartenant à cette région.

Idem pour le filtre par type de station, on ne conserve que les stations dont le type correspond au type considéré.

Diagramme de performance (csi & biais) :

```
import numpy as np
grid_ticks = np.arange(0, 1.01, 0.01)
sr_g, pod_g = np.meshgrid(grid_ticks, grid_ticks)
csi = np.zeros([sr_g.shape[0],sr_g.shape[0]]) # critical success index
bias = np.zeros([sr_g.shape[0],sr_g.shape[0]]) # biais de prévision
for i in range(sr_g.shape[0]):
    for j in range(sr_g.shape[1]):
        if sr_g[i,j] != 0:
            bias[i,j] = pod_g[i,j] / sr_g[i,j]
            if pod_g[i,j] != 0:
                csi[i,j] = 1. / (1./sr_g[i,j] + 1./pod_g[i,j] - 1)
        else:
            bias[i,j] = np.nan

# ajout à un plot de matplotlib
csi_contour = plt.contourf(sr_g, pod_g, csi, np.arange(0., 1.1, 0.05),
                           extend="max", cmap="RdYlGn", alpha=0.5)
freq_lines = plt.contour(sr_g, pod_g, bias, [0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1., 1.25, 1.5, 2, 4],
                          colors="k", linestyle="dashed")
```

IV.B. 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.

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