



Rapport de performances du système de prévision de Lig'Air

Année 2023

Juin 2024



Surveillance de la qualité de l'air
en région Centre-Val de Loire

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	3
TABLE DES FIGURES	4
TABLE DES TABLEAUX	5
GLOSSAIRE	6
I. Introduction	7
1) L'outil de Validation de Cartographie de Modélisation - VACARM	7
2) Configurations des modèles	8
3) Bilan du taux d'utilisation des modèles sur 2023	8
II. Synthèse.....	11
III. Performances des prévisions de qualité de l'air pour 2023	12
1) Prévisions d'ozone	13
a) Performances du modèle	14
b) Performances par rapport aux seuils réglementaires	18
c) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence.....	20
d) Evolution des performances des prévisions	21
2) Prévisions des particules en suspension PM ₁₀	23
e) Performances du modèle	23
f) Performances par rapport aux seuils réglementaires	28
g) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence.....	30
h) Evolution des performances des prévisions	35
IV. Conclusions et Perspectives.....	37
V. Annexes.....	39
1) Annexe 1 : Scores statistiques classiques	39
2) Annexe 2 : Scores statistiques pour l'O ₃ pour le jour de prévision J2	40
3) Annexe 3 : Eléments de tableau de contingence	41
4) Annexe 4 : Scores statistiques pour les PM ₁₀ pour le jour de prévision J2	42

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : PRESENTATION DE L'OUTIL VACARM DE LIG'AIR	7
FIGURE 2 : TAUX D'UTILISATION DE CHAQUE MODELE DANS LA PREVISION QUOTIDIENNE DE LIG'AIR EN 2023	9
FIGURE 3 : PART DES MODIFICATIONS REALISEES PAR LE SERVICE PREVISION SUR LES DONNEES EXPERTISEES EN FONCTION DU MODELE (A) ET EN FONCTION DES POLLUANTS (B)	10
FIGURE 4 : O₃ - CARTE DE REPARTITION DES STATIONS DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LIG'AIR EN 2023	13
FIGURE 5 : O₃ - SCORES DE BIAIS, CORRELATION ET RMSE EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	14
FIGURE 6 : O₃ - SCORES DE BIAIS, CORRELATION ET RMSE EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	14
FIGURE 7 : O₃ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	15
FIGURE 8 : O₃ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	15
FIGURE 9 : O₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	16
FIGURE 10 : O₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	16
FIGURE 11 : O₃ - SYNTHESE DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU JOUR DE PREVISION (J0, J1 ET J2) POUR LES MODELES CONSIDERES	17
FIGURE 12 : O₃ - SERIE TEMPORELLE DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (180 µG/M³) POUR LES MODELES CONSIDERES SUR LES ECHEANCES J0, J1 ET J2 VIS-A-VIS DES OBSERVATIONS (OBS)	18
FIGURE 13 : O₃ - TABLE DE CONTINGENCE POUR 2023 AUX ECHEANCES J0, J1 ET J2 POUR LE SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (180 µG/M³). LES BONNES DETECTIONS SONT EN BLEU, LES FAUSSES DETECTIONS EN ORANGE ET LES DETECTIONS MANQUEES EN VERT	19
FIGURE 14 : O₃ - DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2023 POUR LES ECHEANCES J0, J1 ET J2	19
FIGURE 15 : O₃ - CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION EN MODE ANALYSE AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	20
FIGURE 16 : O₃ - CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE JOUR MEME (A L'ECHANCE J0) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	20
FIGURE 17 : O₃ - CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE LENDEMAIN (A L'ECHANCE J1) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	21
FIGURE 18 : O₃ - EVOLUTION DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION DEPUIS 2020 POUR LES MODELES CONSIDERES A L'ECHANCE J0	22
FIGURE 19 : O₃ - EVOLUTION DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION DEPUIS 2020 POUR LES MODELES CONSIDERES A L'ECHANCE J1	22
FIGURE 20 : PM₁₀ - CARTE DE REPARTITION DES STATIONS DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LIG'AIR EN 2023	23
FIGURE 21 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	24
FIGURE 22 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	24
FIGURE 23 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	25
FIGURE 24 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	25
FIGURE 25 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J0	26
FIGURE 26 : PM₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHANCE J1	26
FIGURE 27 : PM₁₀ - SYNTHESE DES SCORES DE BIAIS, ET DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DU JOUR DE PREVISION (J0, J1 ET J2) POUR LES MODELES CONSIDERES	27

FIGURE 28 : PM ₁₀ – SERIE TEMPORELLE DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D’INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (50 µG/M ³) POUR LES MODELES CONSIDERES SUR LES ECHEANCES J0, J1 ET J2 VIS-A-VIS DES OBSERVATIONS (OBS)	29
FIGURE 29 : PM ₁₀ – TABLE DE CONTINGENCE POUR 2023 AUX ECHEANCES J0, J1 ET J2 POUR LE SEUIL D’INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (50 µG/M ³). LES BONNES DETECTIONS SONT EN BLEU, LES FAUSSES DETECTIONS EN ORANGE ET LES DETECTIONS MANQUEES EN VERT. GAUCHE : TABLE DE CONTINGENCE DE L’ENSEMBLE DES MODELES POUR LA REGION ENTIERE.....	29
FIGURE 30 : PM ₁₀ – DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2023 POUR LES ECHEANCES J0, J1 ET J2	30
FIGURE 31 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION EN MODE ANALYSE AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D’EXPOSITION DE POPULATION	31
FIGURE 32 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE JOUR-MEME (A L’ECHEANCE J0) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D’EXPOSITION DE POPULATION	33
FIGURE 33 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE LENDEMAIN (A L’ECHEANCE J1) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D’EXPOSITION DE POPULATION	34
FIGURE 34 : PM ₁₀ – EVOLUTION DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION DEPUIS 2020 POUR LES MODELES CONSIDERES A L’ECHEANCE J0	35
FIGURE 35 : PM ₁₀ – EVOLUTION DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION DEPUIS 2020 POUR LES MODELES CONSIDERES A L’ECHEANCE J1	35
FIGURE 1 : PAGE D’ACCUEIL DE LA NOUVELLE VERSION DE L’OUTIL VACARM DE LIG’AIR	38
FIGURE 36 : O ₃ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2	40
FIGURE 37 : O ₃ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2.....	40
FIGURE 38 : O ₃ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2	40
FIGURE 39 : PM ₁₀ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2	42
FIGURE 40 : PM ₁₀ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2.....	42
FIGURE 39 : PM ₁₀ - SCORES DE BIAIS, DE CORRELATION ET DE RMSE PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L’ECHEANCE J2	43

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CONFIGURATION DES MODELES UTILISES DANS LE SYSTEME DE PREVISION DE LIG’AIR.....	8
TABLEAU 2 : OBJECTIFS DE QUALITE DEFINIS POUR O ₃ ET PM ₁₀ POUR LE BIAIS, LA RMSE ET LA CORRELATION.....	12
TABLEAU 3 : CRITERES NATIONAUX DE LA QUALITE DE L’AIR	12
TABLEAU 4 : CRITERE DE POPULATION A RESPECTER POUR LA CARACTERISATION D’UN EPISODE DE POLLUTION.....	13
TABLEAU 5 : O ₃ – PROPORTION DE VALEURS UTILISEES POUR LE CALCUL DE SCORES DE CHAQUE GAMME DE CONCENTRATION (µG/M ³)	17
TABLEAU 6 : PM ₁₀ – PROPORTION DE VALEURS UTILISEES POUR LE CALCUL DE SCORES DE CHAQUE GAMME DE CONCENTRATION (µG/M ³).....	27

GLOSSAIRE

AASQA :	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l’Air
LCSQA :	Laboratoire Central de de Surveillance de la Qualité de l’Air
PREV’AIR :	Plate-forme nationale de Prévision
ESMERALDA :	Plate-forme inter-régionale de Prévision d’AIRPARIF
CAMS :	Plate-forme Européenne COPERNICUS
VACARM :	Validation Cartographique de la Modélisation (développé par Lig’Air)
J0 :	Echéance de prévision pour le jour même
J1 :	Echéance de prévision pour le lendemain
J2 :	Echéance de prévision pour le surlendemain
O₃ :	Ozone
PM₁₀ :	Particules en suspension PM ₁₀
SA :	Seuil d’Alerte
SIR :	Seuil d’Information et de Recommandations
AMU :	Arrêtés de Mesures d’Urgence
PREVALOIR :	Modèle d’adaptation statistique locale développé par Lig’Air
RMSE :	Erreur quadratique moyenne

I. Introduction

Ce rapport se consacre à l'évaluation des performances du système de prévision de Lig'Air dans le but de répondre à l'article 13 « Prévision de la qualité de l'air » de l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant¹. En effet, les Associations Agréées de Surveillance de Qualité de l'Air (AASQA) doivent « évaluer chaque année les performances de son système de prévision et les résultats obtenus l'année précédente par ses outils de modélisation et son expertise selon les critères préconisés par le référentiel technique national ». Ainsi, conformément au référentiel technique national, seule l'évaluation des prévisions des concentrations d'ozone et celles des particules en suspension PM₁₀ sera considérée.

1) L'outil de Validation de Cartographie de Modélisation - VACARM

Quotidiennement, Lig'Air fournit des prévisions de qualité de l'air en région Centre-Val de Loire à partir de son outil de Validation de Cartographie de Modélisation (VACARM) (figure 1).

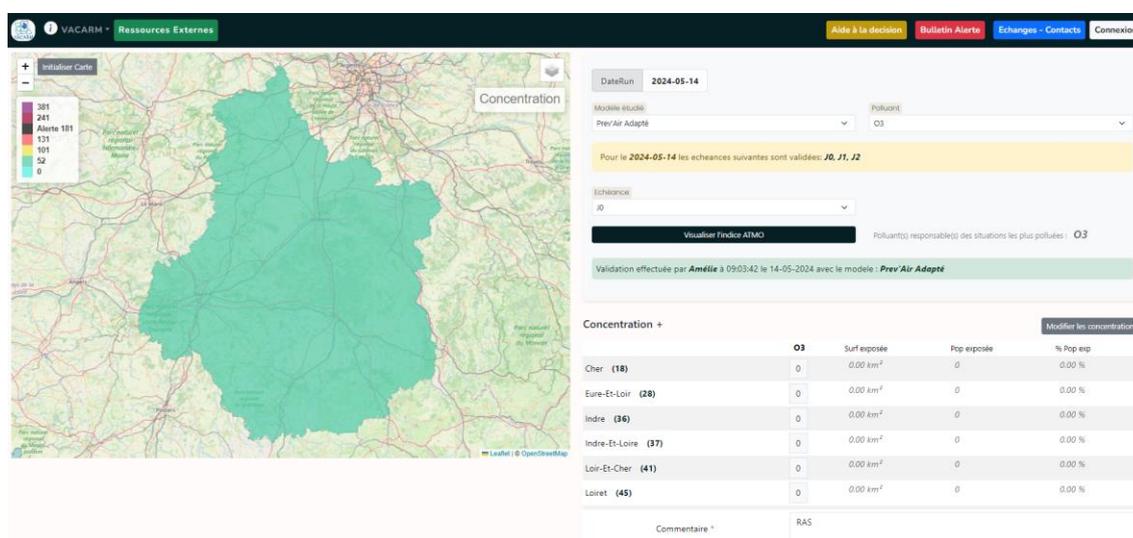


Figure 1 : Présentation de l'outil VACARM de Lig'Air

L'outil VACARM permet au service prévision de Lig'Air de cartographier les concentrations des principaux polluants atmosphériques, de les expertiser pour ensuite diffuser les prévisions quotidiennes sur les différents canaux de diffusion (site internet, bulletin, médias). Celles-ci sont basées sur les concentrations modélisées des principaux polluants atmosphériques réglementés pour la veille (J-1), le jour même (J0) et les deux jours à suivre (J1 et J2) issues :

- de la plate-forme nationale PREVAIR (<http://www2.prevoir.org/>). Les fournitures utilisées dans l'évaluation concernent celles de l'adaptation statistique de PREVAIR (nommé **PREV-AS** dans la suite du rapport) et celles des sorties brutes (nommé **PREV-BRUT** dans la suite du rapport). Il est important d'indiquer qu'un changement de configuration de Chimère (version 2016 vers version 2020) dans les fournitures PREVAIR a eu lieu au cours du mois de novembre 2021. Afin de garantir la pertinence de l'évaluation des performances du système de prévision (partie II), seules les fournitures PREVAIR mises à disposition avant le changement de configuration de Chimère seront considérées.
- de la plate-forme inter-régionale ESERALDA (<http://www.esmeralda-web.fr/>) d'AIRPARIF. Les fournitures utilisées dans l'évaluation concernent celles de la prévision d'ensemble d'ESERALDA (nommé **ESM-ENS** dans la suite du rapport) et celles des sorties brutes (nommé **ESM-BRUT** dans la suite du rapport).
- de la plate-forme européenne COPERNICUS (<https://www.copernicus.eu/fr>). La fourniture utilisée dans l'évaluation concerne celle de la prévision d'ensemble de

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2021/4/16/TRER2110272A/jo/texte>

COPERNICUS (nommé **CAMS** dans la suite du rapport) qui a intégré le système prévision de Lig’Air en 2021.

- du système d’adaptation statistique locale PREVALOIR de Lig’Air. Ce système permet une prise en compte des données d’observations en temps réel permettant d’affiner la qualité des prévisions locales sur les concentrations en particules en suspension PM₁₀ pour le jour même (J0) sur le surlendemain (J1) (nommé **PREVALOIR** dans la suite du rapport).

2) Configurations des modèles

A l’échéance J-1, le processus est une « Analyse ». Pour les échéances J0 à J2, le processus est dit « d’Adaptation Statistique ». Ces deux processus permettent d’améliorer la qualité des sorties brutes de modèle pour établir les cartographies de référence. Ces produits sont utilisés comme une meilleure représentation de la répartition de la pollution en surface permettant d’estimer, en fonction de la situation, les zones en dépassement des seuils réglementaires de qualité de l’air. Ainsi, ces fournitures servent à l’équipe prévision de Lig’Air pour réaliser ses missions de surveillance, parmi lesquelles, une expertise sur les niveaux de concentrations des polluants afin d’alerter et de communiquer en cas de survenue d’un épisode de pollution. Les prévisionnistes de Lig’Air ont la possibilité, à travers l’outil VACARM, de corriger et/ou d’ajuster spatialement (effet de pixélisation, uniformisation des concentrations, ajustement des concentrations vis-à-vis des mesures par exemple), sur les six départements de la région Centre-Val de Loire, les concentrations des différents polluants atmosphériques en fonction de leur expertise. Celle-ci est également prise en compte dans l’évaluation des performances des prévisions (nommé **EXP-LigAir** dans la suite du rapport).

Le **tableau 1** présente la configuration de chacun des modèles utilisés dans le système de prévision de Lig’Air ainsi que l’échantillon des données utilisé dans le cadre de cette évaluation.

	PREV-BRUT	PREV-AS	ESM-BRUT	ESM-ENS	CAMS	PREVALOIR
Production	En opérationnel					
Version chimère	2016	2016	2014b	2014b	2016	2016
Domaine	Région Centre-Val de Loire					
Résolution horizontale	0,1°	0,0625x0,0325	3 km	3 km	0,1°	1 km
Interpolation	Interpolé sur une grille kilométrique sous VACARM					
Résolution verticale	1 niveau (surface)					
Emissions	2011 CAMS_71.II	2011 CAMS_71.II	Cadastres régionaux des inventaires des émissions		2011 CAMS_71.II	-
Echantillons sur 2023	364 jours	361 jours	362 jours	359 jours	365 jours	234 jours

Tableau 1 : Configuration des modèles utilisés dans le système de prévision de Lig’Air

3) Bilan du taux d’utilisation des modèles sur 2023

Ce rapport traite de l'évaluation des performances du système de prévision VACARM de Lig'Air pour l'année 2023 et répond au besoin de transparence sur l'aptitude des modèles à estimer et prévoir la qualité de l'air sur la région Centre-Val de Loire. Cette analyse est menée chaque année sur les produits fournis en temps réel par le système. Elle portera sur l'évaluation des données transmises par l'ensemble des plateformes décrites précédemment (PREV-BRUT, PREV-AS, ESM-BRUT, ESM-ENS, CAMS, PREVALOIR) ainsi que sur les ajustements/modifications apportées par le service prévision de Lig'Air sur les concentrations des différents polluants (nommé EXP-LigAir dans la suite du rapport).

La **figure 2** présente le bilan du taux d'utilisation de chacun des modèles qui ont permis de réaliser les prévisions quotidiennes sur l'année 2023 et qui ont été utilisés par le service prévision de Lig'Air. Les fournitures PREV-AS fournies par la plate-forme nationale PREVAIR sont celles qui ont été le plus utilisées par le service prévision à hauteur de 78%-82% pour réaliser la validation des prévisions quotidiennes en fonction de l'échéance considérée. Elles sont suivies par ESM-ENS (environ 17% à 19% selon l'échéance).

Les fournitures PREV-BRUT, PREVALOIR et CAMS ont très peu été utilisées (ordre de grandeur de 0,3 à 1,6 % selon l'échéance et le modèle) et EMS-BRUT n'a jamais été utilisée durant l'année 2023 pour la prévision de la qualité de l'air.

Parts d'utilisation des modèles dans la prévision expertisée

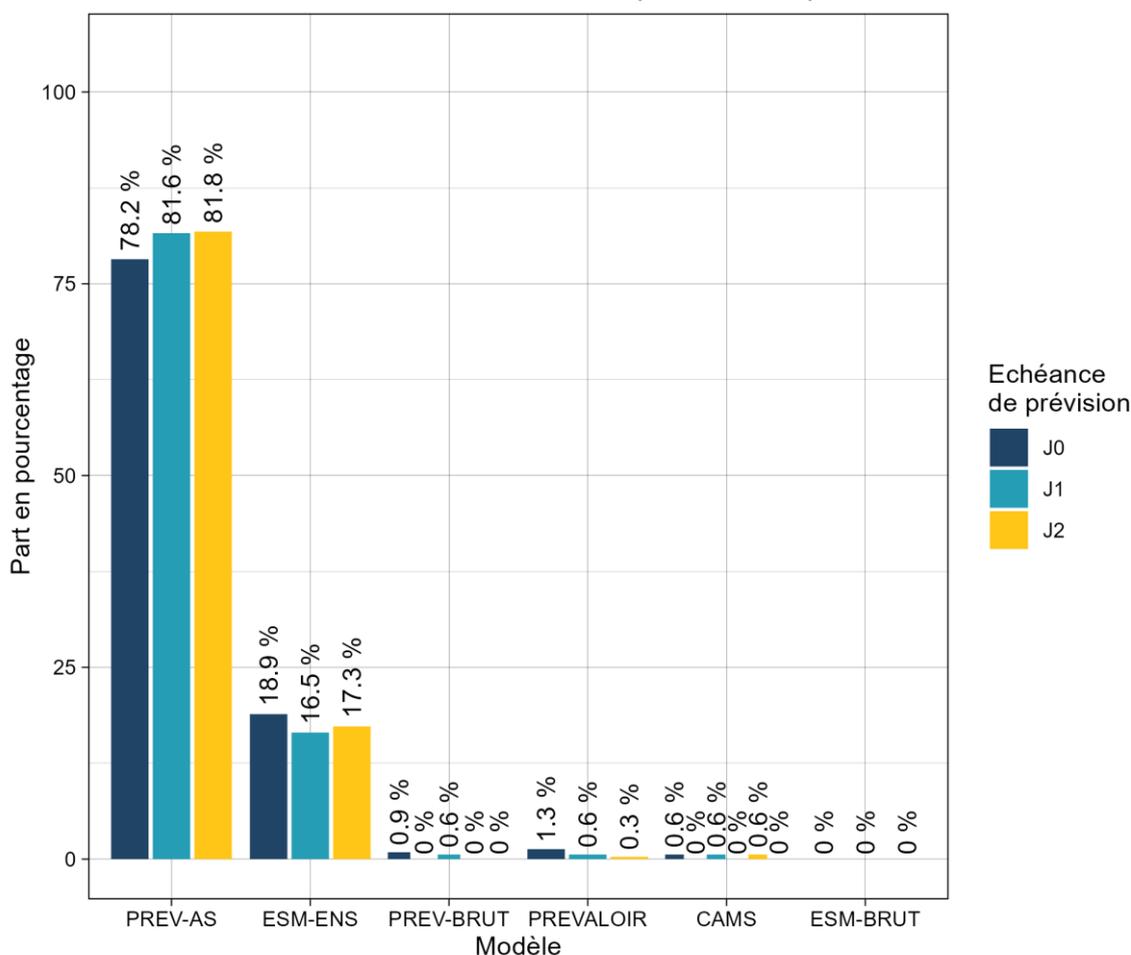


Figure 2 : Taux d'utilisation de chaque modèle dans la prévision quotidienne de Lig'Air en 2023

Parmi les données issues des différents modèles expertisés (**figure 2**), la **figure 3a** présente la part des données ajustée/modifiée par le service prévision. Ainsi, à titre d'exemple, pour un taux d'utilisation de 78,2% des données de PREV-AS pour la validation des prévisions pour l'échéance J0 (**figure 2**), environ 10% ont dû être modifiées/ajustées par le service prévision. De même, sur un taux d'utilisation des données de ESM-ENS en 2023 à hauteur de 18,9% pour l'échéance J0, 11% des concentrations ont dû être corrigées par le service afin de valider les prévisions.

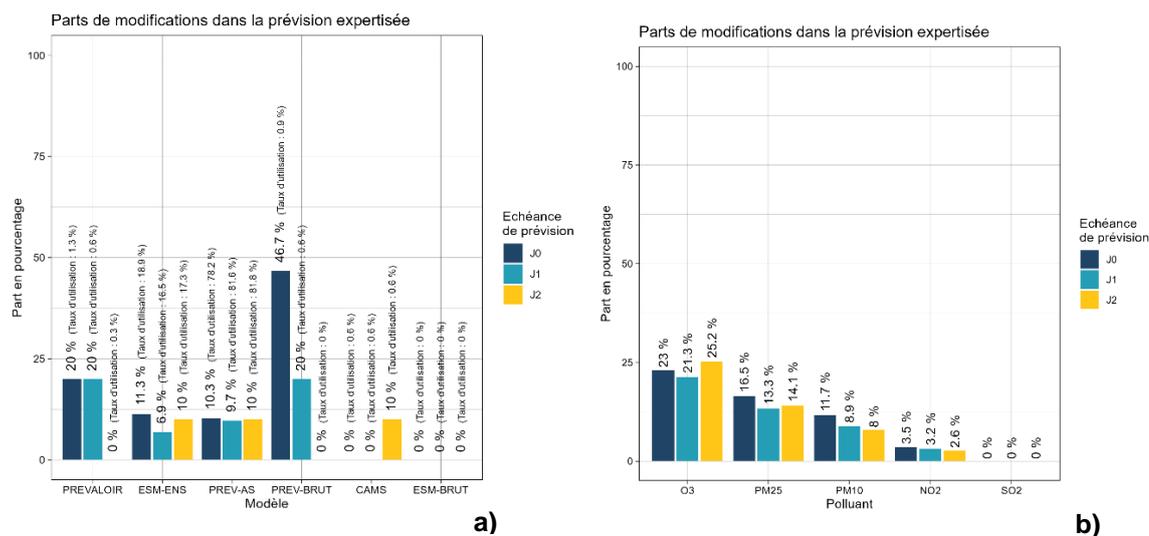


Figure 3 : Part des modifications réalisées par le service prévision sur les données expertisées en fonction du modèle (a) et en fonction des polluants (b)

La **figure 3b** met également en évidence qu'une partie des ajustements réalisés par le service prévision a concerné l'ozone (de 21,3% à 25,2% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance considérée), suivi par les particules en suspension PM_{2,5} (de 13,3% à 16,5% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance) et par les particules en suspension PM₁₀ (de 8% à 11,7% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance). Les ajustements réalisés sur le dioxyde d'azote n'ont impacté que 2,6% à 3,5% des données expertisées (en fonction de l'échéance considérée).

Pour PREVALOIR, 20% des prévisions ont été ajustées sur 2023 pour l'échéance J0 (pour une utilisation de 1,3%). Rappelons ici que la version PREVALOIR utilisée en 2023 est dédiée uniquement à l'échéance J0 et J1 et concerne uniquement les PM₁₀. Sa faible utilisation (0,3% à 1,3% selon l'échéance) peut s'expliquer par le faible nombre d'épisodes de pollution en particules en 2023 et que ces derniers ont été de grande échelle avec essentiellement une pollution d'origine exogène à la région Centre-Val de Loire. Il est important également d'indiquer que PREVALOIR n'a été fonctionnel que 64% de l'année (**tableau 1**). Les modèles multi-polluants et multi-échéances ont été privilégiés notamment en périodes situées en dehors des risques d'épisodes de pollution en PM₁₀.

Ce rapport s'intéressera dans un premier temps aux performances globales des modèles sur la prévision des concentrations de l'ozone et des particules en suspension PM₁₀, avant d'étudier de manière plus approfondie leurs comportements vis-à-vis de la détection de dépassements de seuils réglementaires et de leur respect des critères définis dans l'Arrêté Mesure d'Urgence AMU (Arrêté du 7 avril 2016).

II. Synthèse

Ce rapport présente les résultats permettant d'établir un diagnostic des performances des prévisions issus de différentes plateformes de prévisions mettant à disposition des sorties brutes, des sorties issues d'adaptation statistique, de prévision d'ensemble mais également des prévisions expertisées par l'équipe de prévision de Lig'Air pour la région Centre-Val de Loire en ozone et en particules PM₁₀ sur l'année 2023.

Au regard des objectifs de qualité fixés sur les scores classiques (RMSE, corrélation et biais), l'ensemble des indicateurs sont respectés pour les prévisions issues de l'adaptation statistique, de la prévision d'ensemble et pour celles expertisées, pour l'ozone comme pour les PM₁₀. Tous les départements sont concernés, pour l'échéance J0 (jour-même) comme pour l'échéance J1 (prévision pour le lendemain).

L'outil Perform'air, développé par Lig'Air et intégrant le module Evaltools (version 1.0.8, <https://opensource.umr-cnrm.fr/projects/evaltools>), a été utilisé pour cette évaluation.

L'analyse par typologie n'a pas fait ressortir de profil particulier entre rural, périurbain et urbain pour lequel la prévision brute, l'adaptation statistique, la prévision d'ensemble ou l'expertise prévisionniste ressort particulièrement sur 2023. Les résultats sont sensiblement identiques d'un profil à l'autre pour l'ozone. Pour les PM₁₀, l'ensemble des stations de mesures du réseau de Lig'Air ne concerne que la typologie urbaine.

D'une manière générale, que ce soit pour l'O₃ ou les PM₁₀ les performances des modèles se dégradent entre les échéances J0, J1 et J2. Les modèles bruts sont les moins performants quel que soit l'échéance ou le polluant considéré.

En termes de détection de la valeur seuil pour l'ozone (180 µg/m³ en maximum journalier), l'expertise menée par Lig'Air (EXP-LIGAIR) est l'unique modèle à avoir su détecter le dépassement du seuil d'information et de recommandation concernant le seul épisode de pollution en O₃ que la région a rencontré au cours de juin 2023. Comme les années précédentes, le modèle d'ensemble ESM-ENS est globalement le plus performant, suivi de près par EXP-LIGAIR qui améliore notamment les scores pour les concentrations les plus fortes.

Concernant la détection de la valeur seuil pour les PM₁₀ (50 µg/m³ en moyenne journalière), l'année 2023 a été marquée non seulement par un long épisode hivernal en février, un court épisode printanier et également deux épisodes liés aux poussières désertiques. L'expertise conduite par Lig'Air a permis de détecter une grande partie de ces dépassements, même s'il est encore difficile de prévoir les premiers jours d'épisodes. Un nombre de fausses alertes non négligeable a tout de même été observé. Globalement, l'adaptation statistique locale développée par Lig'Air (PREVALOIR) ainsi que l'expertise de Lig'Air (EXP-LIGAIR) sont les modèles les plus performants.

III. Performances des prévisions de qualité de l'air pour 2023

Le terme de « performance » est basé dans cette évaluation sur des comparaisons mesures-modèles. Son appréciation pour chaque modèle repose sur des indicateurs classiques de scores statistiques : biais moyen, erreur quadratique moyenne (RMSE), corrélation ([annexe 1](#) pour une définition précise de ces scores), de tableaux de contingence et de séries temporelles. Ces informations seront déclinées par typologie de station ou par département afin d'affiner l'évaluation.

Les objectifs de qualité² à respecter pour les scores statistiques de l'ozone (O₃) et des particules en suspension PM₁₀ sont détaillés dans le [tableau 2](#) ci-dessous :

Polluants	Biais (µg/m ³)	RMSE (µg/m ³)	Corrélation
O ₃	-10/+10	25	0,7
PM ₁₀	-7,5/+7,5	15	0,6

Tableau 2 : Objectifs de qualité définis pour O₃ et PM₁₀ pour le biais, la RMSE et la corrélation

L'analyse du comportement des modèles vis-à-vis de la détection des dépassements des seuils réglementaires s'appuie sur les définitions de l'article R. 221-1 du Code de l'environnement. Les principales mesures considérées sont résumées dans le [tableau 3](#) ci-dessous :

Polluants	Seuil d'information et de recommandation (SIR)	Seuil d'alerte (SA)
O ₃	180 µg/m ³ en moyenne horaire	240 µg/m ³ en moyenne horaire
PM ₁₀	50 µg/m ³ en moyenne journalière	80 µg/m ³ en moyenne journalière

Tableau 3 : Critères nationaux de la qualité de l'air

L'arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant (« Arrêté Mesures d'Urgence (AMU) ») prévoit que le déclenchement des procédures préfectorales se fasse non seulement sur le constat de dépassement aux stations, mais également sur la base des prévisions de situation de fond. Des critères sur la surface concernée, le nombre d'habitants exposés, et la persistance des dépassements définissent alors les épisodes de pollution, et leur intensité détermine les procédures à mettre en œuvre.

Ainsi, un épisode de pollution est caractérisé :

- soit à partir d'un critère surfacique qui est validé dès que la surface régionale présentant des concentrations au-dessus du seuil réglementaire est supérieure à 100 km².
- soit à partir d'un critère de population qui est validé :
 - o lorsque le nombre d'habitants exposés à des concentrations supérieures au seuil réglementaire est de plus de **50 000** dans les départements de moins de 500 000 habitants : Cher, Eure-et-Loir, Loir-et-Cher et Indre
 - o lorsqu'au moins 10% de la population totale du département est exposés à des concentrations supérieures au seuil réglementaire dans les départements de plus de 500 000 habitants : Loiret et Indre-et-Loire.

² D'après les conclusions du GT prévision (LCSQA) sur l'évaluation des plateformes de prévision de qualité de l'air, <https://www.lcsqa.org/fr/referentiel-technique-national>.

Le **tableau 4** récapitule les critères d'exposition de population à respecter par département.

Cher	Eure-et-Loir	Indre	Indre-et-Loire	Loir-et-Cher	Loiret
50 000 habitants	50 000 habitants	50 000 habitants	60 000 habitants	50 000 habitants	67 000 habitants

Tableau 4 : Critère de population à respecter pour la caractérisation d'un épisode de pollution

1) Prévisions d'ozone

Pour l'ozone (O₃), l'évaluation a été réalisée sur la période estivale d'avril à septembre 2023. La période hivernale est exclue de l'évaluation car le cycle saisonnier est fortement marqué et peut fausser les scores relativement à la période d'intérêt, où les concentrations sont les plus élevées et donc plus propices aux épisodes de pollution. L'été, le rayonnement solaire, les températures élevées, ainsi que les vents faibles favorisent par photochimie la formation d'ozone à partir des émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils.

Pour l'analyse des épisodes d'ozone, l'indicateur réglementaire considéré est le seuil d'information de 180 µg/m³ en moyenne horaire. Seul le maximum journalier d'ozone est ainsi considéré sur les différents visuels, étant le plus représentatif des effets sanitaires relatifs à ce polluant et permettant une comparaison directe avec le seuil d'information et de recommandation.

Le calcul des scores est réalisé avec les données de mesure validées de la base de données régionale de Lig'Air avec 14 stations de fond disponibles, réparties en 3 stations rurales, 3 stations périurbaines et 8 stations urbaines (**figure 4**).

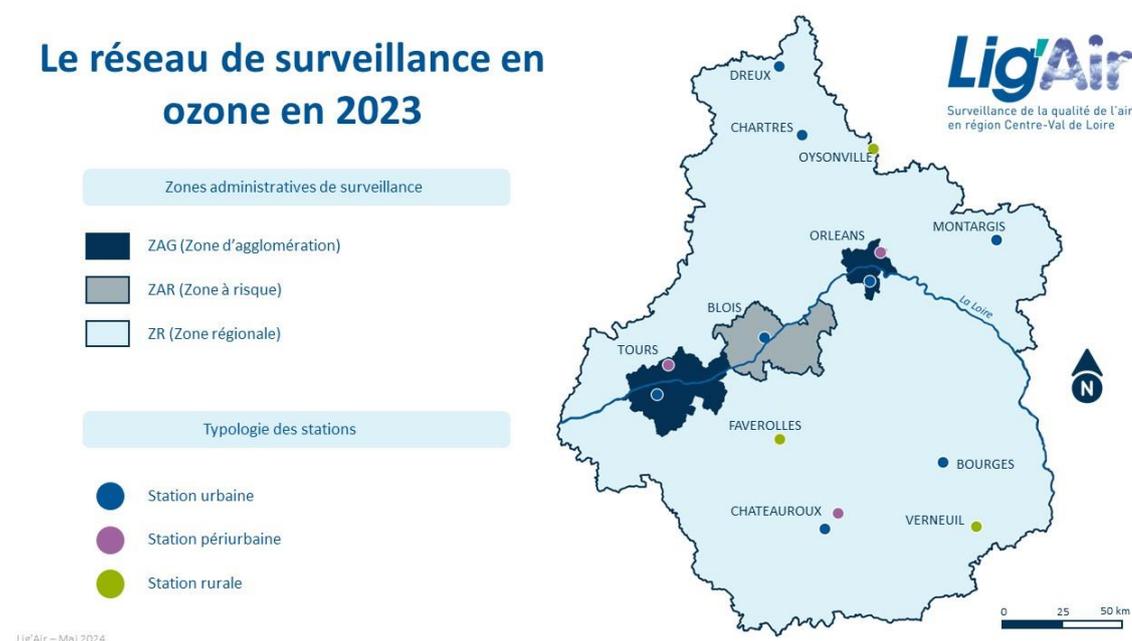


Figure 4 : O₃ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air en 2023

a) Performances du modèle

Les **figures 5 à 10** présentent pour l'O₃ les scores de biais, de corrélation et de RMSE en région Centre-Val de Loire pour l'ensemble des modèles considérés pour les jours de prévision J0 et J1. La présentation de ces scores pour le jour de prévision J2 est située en **annexe 2**.

Scores par zone géographique

Les **figures 5 et 6** montrent ces scores sur les six départements de la région Centre-Val de Loire, le premier groupe de barres (nommé « Centre-VdL » sur la figure), situé à l'extrême gauche, correspondant aux scores sur l'ensemble des 14 stations de la région.

Echéance J+0 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par zone géographique

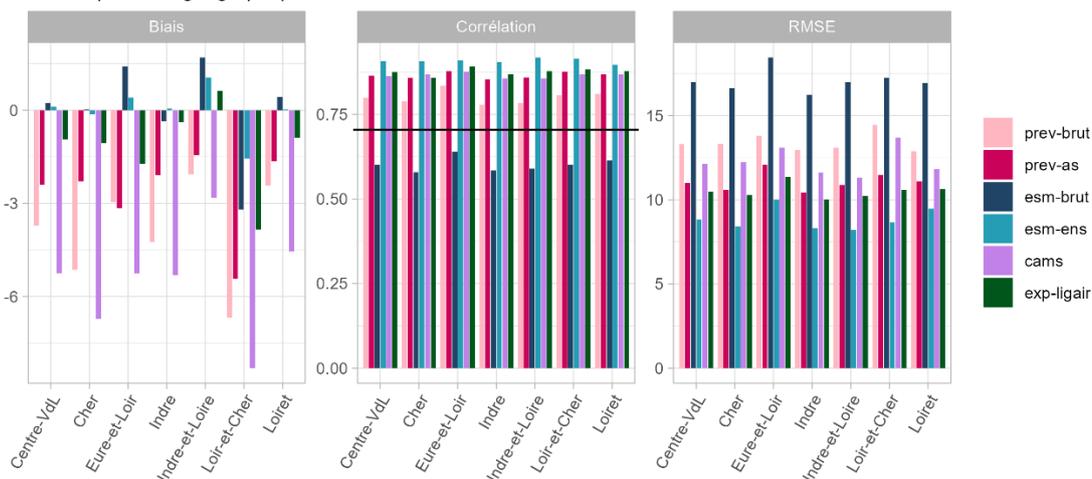


Figure 5 : O₃ - Scores de biais, corrélation et RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par zone géographique

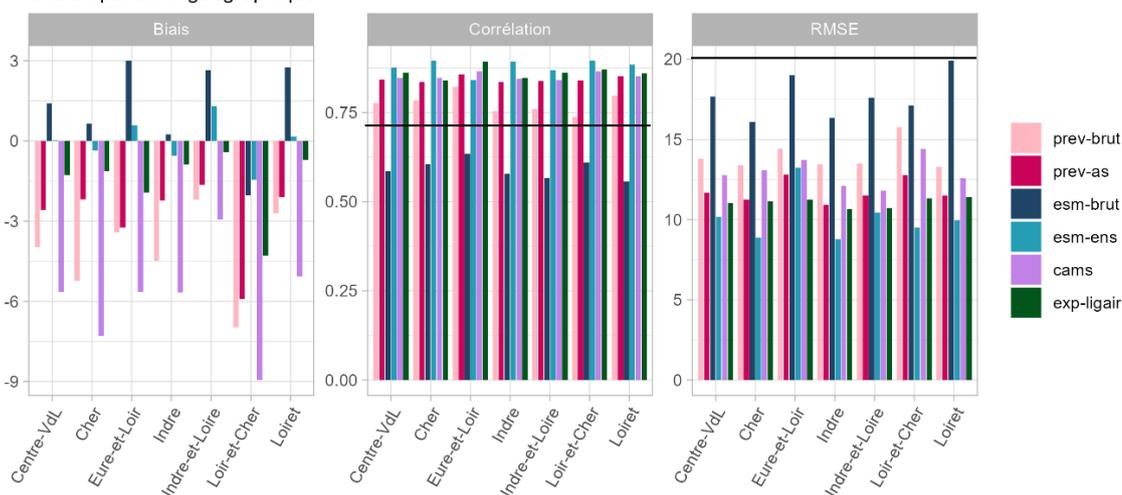


Figure 6 : O₃ - Scores de biais, corrélation et RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Aux échéances J0 et J1, à l'exception du modèle ESM-BRUT présentant une corrélation inférieure à 0,7, l'ensemble des modèles respectent les objectifs qualité pour l'O₃ sur le biais (inférieur à +10/-10 µg/m³), la RMSE (inférieure à 25 µg/m³) et la corrélation (supérieure à 0,7) pour l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire (**figures 5 et 6**).

Cependant, pour l'échéance J0, que ce soit pour le biais, la RMSE et la corrélation, le modèle de prévision d'ensemble ESM-ENS présente globalement les meilleurs scores avec une corrélation de l'ordre de 0,9 pour les 6 départements (figure 5) et un biais très faible inférieur à 2 µg/m³.

Pour l'échéance J1, les résultats sont similaires à l'exception du département de l'Eure-et-Loir pour lequel l'expertise de Lig'Air améliore les performances (corrélation et RMSE) vis-à-vis de modèle ESM-ENS (figure 6).

Scores par typologie de stations

Echéance J+0 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par typologie de stations

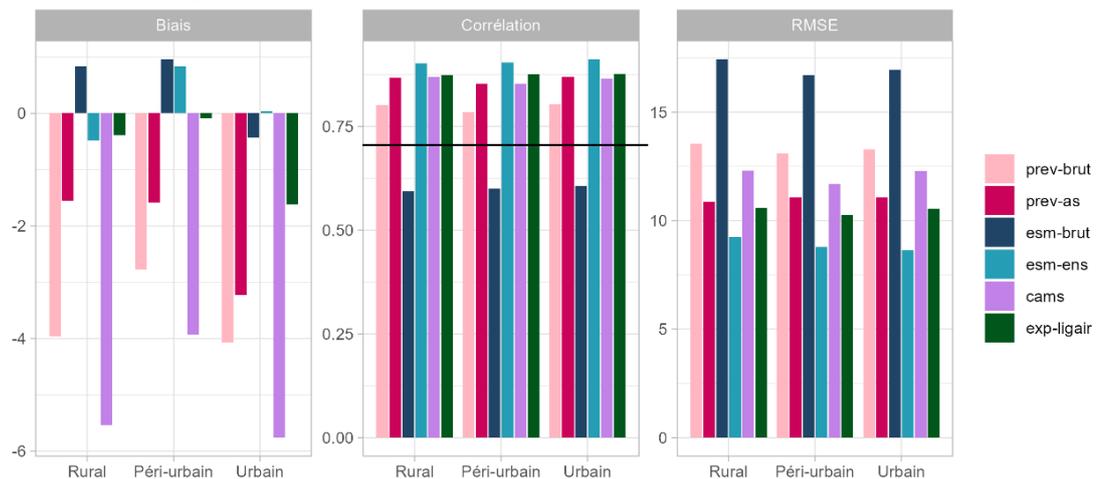


Figure 7 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par typologie de stations

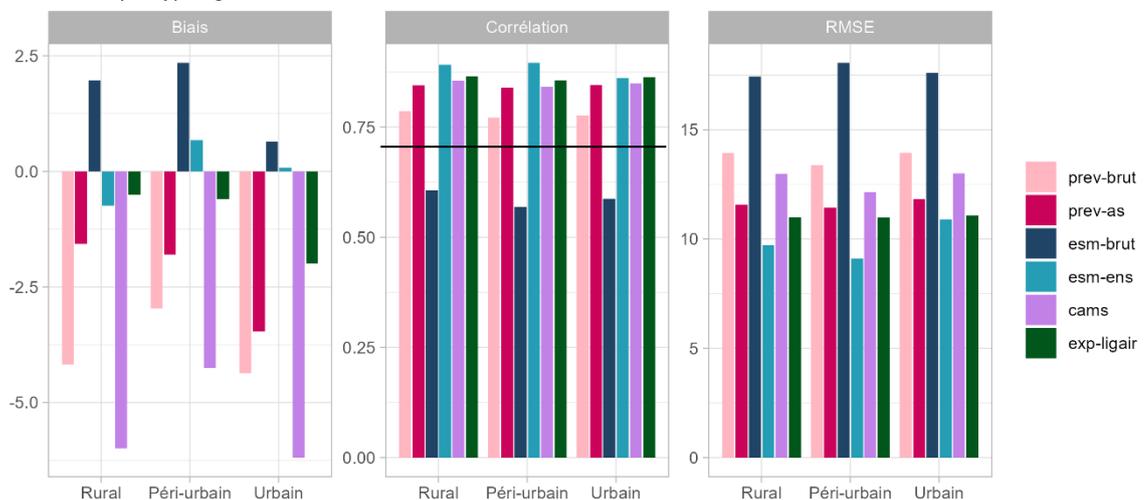


Figure 8 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Les scores sont relativement homogènes entre les différentes typologies de stations avec comme précédemment de meilleurs scores pour le modèle d'ensemble ESM-ENS et EXP-LIGAIR (figures 7 et 8).

Scores par plage de concentrations

Echéance J+0 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par plage de concentrations

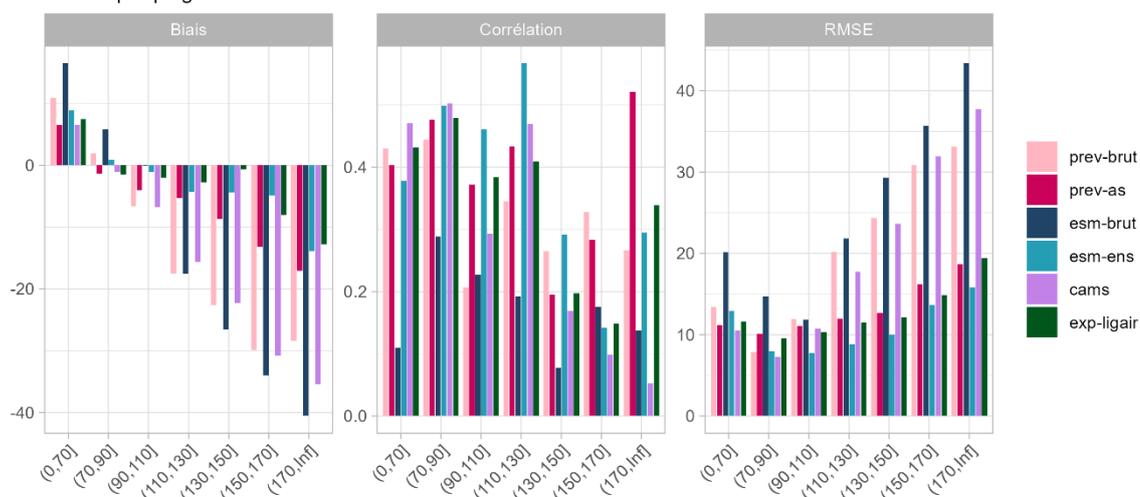


Figure 9 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par plage de concentrations

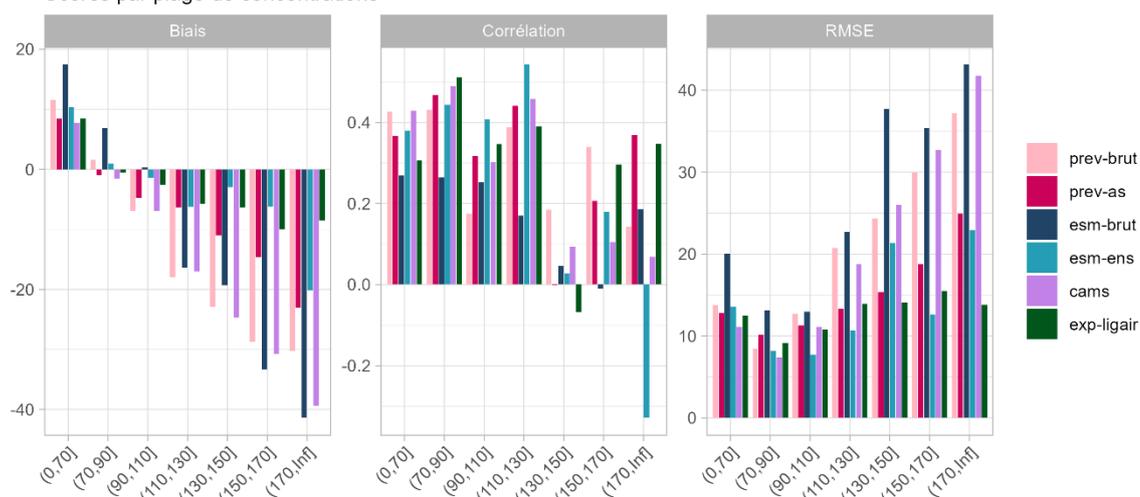


Figure 10 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Globalement, le modèle ESM-ENS et l'expertise de Lig'Air améliorent l'ensemble des scores quel que soit la tranche de concentration considérée. Cette amélioration est surtout notable pour les fortes concentrations ($> 170 \mu\text{g}/\text{m}^3$) avec un biais et un RMSE relativement faible pour l'expertise de Lig'Air (EXP-LIGAIR).

Au-delà de la tranche de concentrations $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les biais ressortent négatifs, sous-entendant que les différents modèles sous-estiment les max journaliers. On constate tout de même que les modèles ESM-ENS, PREV-AS et surtout l'expertise prévisionniste se rapproche d'avantage des observations par rapport au modèle brut sur ces tranches de concentrations.

D'une manière générale, l'ensemble des scores obtenus montrent que l'expertise menée par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présente des scores légèrement inférieurs par rapport à ceux calculés pour le modèle d'ensemble ESM-ENS mais présente de meilleurs scores par

rapport aux autres modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) et d'adaptation statistique (PREV-AS).

Comme pour les années précédentes, ces résultats montrent que les modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) sont les modèles qui rencontrent les plus grandes difficultés à bien prévoir les concentrations d'ozone aux échéances J0 et J1. Raison pour laquelle, les modèles bruts n'ont pas été utilisés dans la prévision quotidienne de la qualité de l'air (**figure 2**).

Le modèle de prévision d'ensemble ESM-ENS apporte une amélioration dans les performances des prévisions engendrant des scores meilleurs.

De plus, l'expertise réalisée quotidiennement par les membres du service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) n'améliore pas davantage les scores vis-à-vis des modèles de prévisions d'ensemble (à l'exception du département de l'Eure-et-Loir, **figure 6**) notamment pour les concentrations en O₃ inférieures à 150 µg/m³.

Au contraire, l'expertise menée par Lig'Air (EXP-LIGAIR) apporte une amélioration notable sur les scores pour les concentrations les plus fortes (> 170 µg/m³).

Il est important d'indiquer, cependant, que les concentrations supérieures à 170 µg/m³ rencontrées au cours de l'année 2023 ne représentant que 0,3% des données totales (**tableau 5**) et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations sont comprises entre 70 et 130 µg/m³ représentant près de la quasi-totalité des données avec 83,5 %.

Moins de 70 µg/m ³	Entre 70 µg/m ³ et 90 µg/m ³	Entre 90 µg/m ³ et 110 µg/m ³	Entre 110 µg/m ³ et 130 µg/m ³	Entre 130 µg/m ³ et 150 µg/m ³	Entre 150 µg/m ³ et 170 µg/m ³	Plus de 170 µg/m ³
10,0%	41,2%	31,7%	10,6%	4,9%	1,3%	0,3%

Tableau 5 : O₃ – Proportion de valeurs utilisées pour le calcul de scores de chaque gamme de concentration (µg/m³)

La **figure 11** présente ces scores sur les jours de prévision J0, J1 et J2, correspondant respectivement au jour courant, au lendemain et au surlendemain.

Scores par échéances de prévisions



Figure 11 : O₃ – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

La **figure 11** montre que pour l'ensemble des modèles les scores se dégradent au fur et à mesure des échéances J0, J1 et J2. Les objectifs qualité des scores continuent à être respectés pour les 3 échéances (**tableau 2**). A titre d'exemple, la corrélation du modèle ESM-ENS passe de 0,91 à 0,88 entre J0 et J1 puis de 0,88 à 0,86 entre J1 et J2. A l'inverse, la corrélation du modèle ESM-BRUT passe de 0,43 à 0,45 entre J0 et J1 puis de 0,45 à 0,45 entre J1 et J2.

L'expertise conduite par Lig'Air présente des scores proches à ceux du modèle d'adaptation statistique PREV-AS et de ESM-ENS pour les 3 échéances à l'exception du biais.

Quel que soit l'échéance, le modèle de prévision d'ensemble ESM-ENS présente les performances les plus satisfaisantes.

b) Performances par rapport aux seuils réglementaires

La région Centre-Val de Loire a connu au cours de l'année 2023 un seul épisode de pollution à l'ozone. Cet épisode, très localisé, a concerné uniquement le nord de la région en particulier le sud du département de l'Eure-et-Loir et une partie du nord-ouest du département du Loiret. Un dépassement du seuil d'information et recommandation a été enregistré le 14 juin 2023 sur la station Fulbert situé dans le département de l'Eure-et-Loir à proximité de la région parisienne. Le 15 juin 2023 la situation s'est légèrement dégradée dans le sud de l'Eure-et-Loir avec un dépassement du seuil d'information et recommandation sur la station de Oysonville. Les conditions météorologiques, notamment les températures élevées et les conditions anticycloniques sur la moitié nord de la France ont été propices à une forte augmentation des concentrations d'ozone sur l'ensemble de la région Centre-Val de Loire.

Les **figures 9 à 11** font état de la capacité des modèles à détecter avec exactitude les dépassements du seuil d'information et de recommandation de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des explications détaillées à propos des indicateurs utilisés dans ces figures sont présentées en **Annexe 3 – Eléments de table de contingence**.

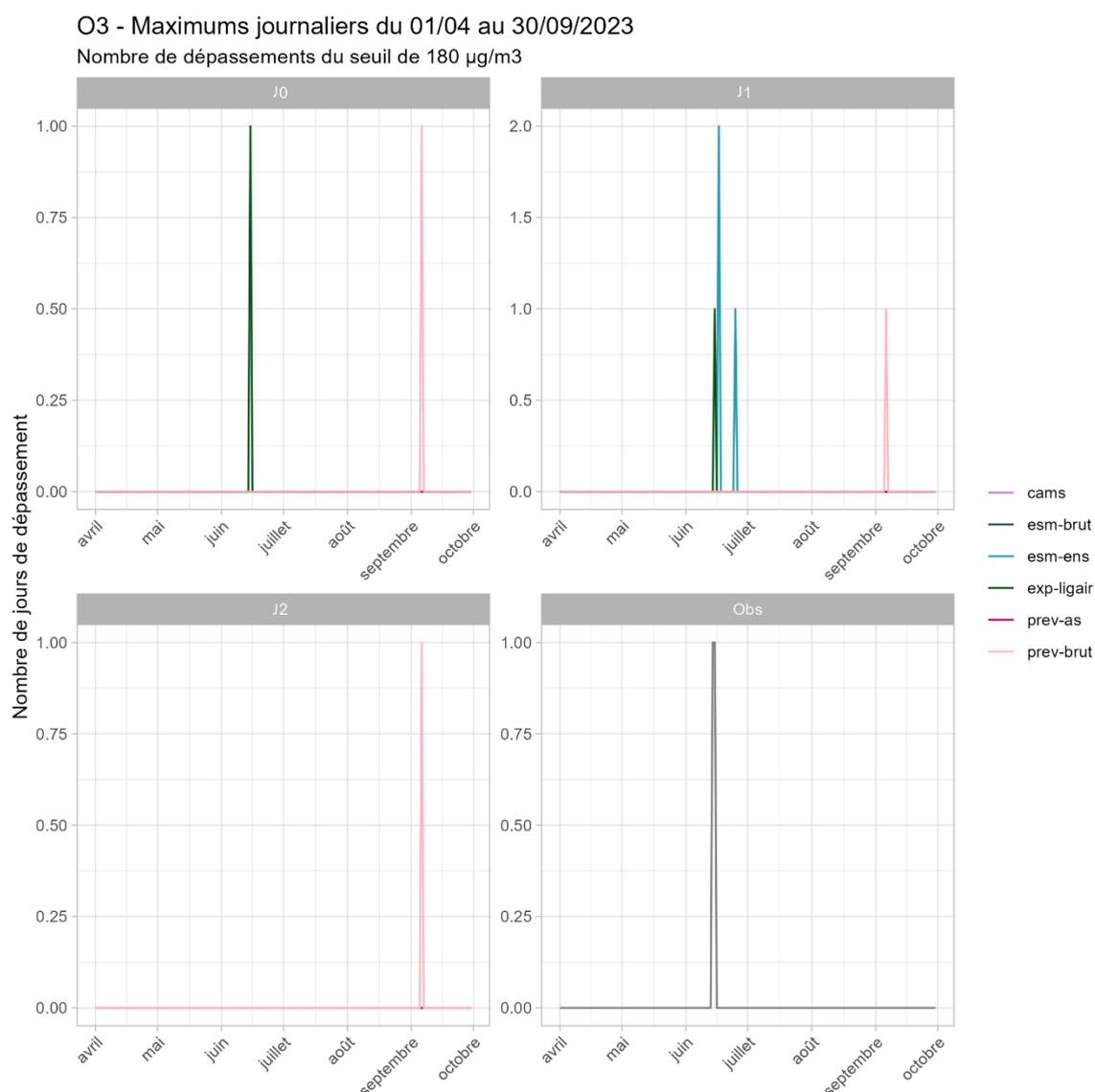


Figure 12 : O₃ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les modèles considérés sur les échéances J0, J1 et J2 vis-à-vis des observations (Obs)

O3 - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Table de contingence pour le seuil de 180 µg/m³

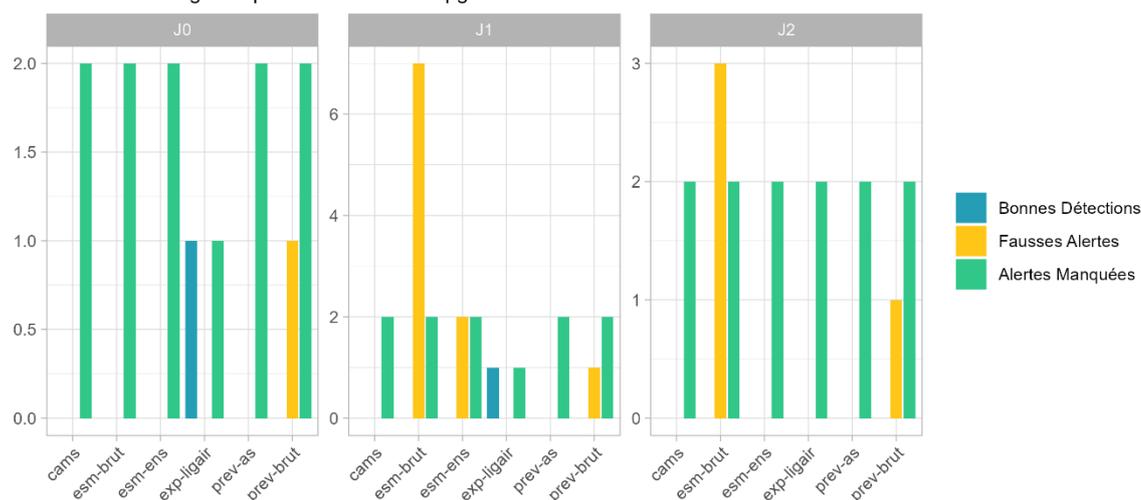


Figure 13 : O₃ – Table de contingence pour 2023 aux échéances J0, J1 et J2 pour le seuil d’information et de recommandation (180 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert

O3 - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023 Diagramme de performance

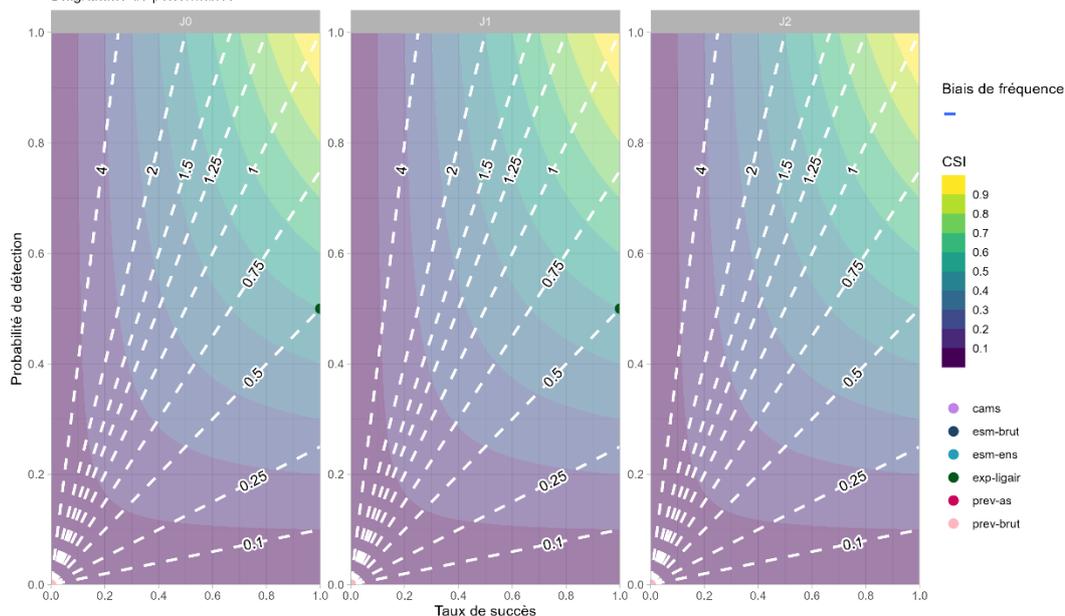


Figure 14 : O₃ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2023 pour les échéances J0, J1 et J2

Les **figures 13 et 14** mettent en évidence que l’expertise menée par Lig’Air (EXP-LIGAIR) est l’unique modèle à avoir su détecter le dépassement du seuil d’information et de recommandation concernant le seul épisode de pollution en O₃ que la région a rencontré au cours de juin 2023 (en J0 et J1, **figures 13 et 14**). Ce modèle a cependant manqué la détection du premier jour de l’épisode qui a eu lieu la journée du 14 juin. Tous les autres modèles n’ont pu détecter le dépassement du seuil d’information et de recommandation.

Malgré un certain nombre de fausses alertes vues essentiellement par les modèles bruts, ce nombre s’explique par le fait que l’épisode a été extrêmement localisé et n’a impacté qu’un très faible nombre de stations de mesures (stations de Oysonville et de Chartres-Fulbert).

Ainsi, l’expertise conduite par Lig’Air a permis d’anticiper ces fortes concentrations en O₃ ce qui a conduit au déclenchement de la procédure préfectorale sur le département de l’Eure-et-Loir (soit un taux de succès de 1 et une probabilité de détection de 0,5).

c) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d’Urgence

Sur les cartographies de la **figure 15** sont illustrées les situations épisodiques en O₃ obtenues et analysées pour les 2 journées concernées par un dépassement du seuil d’information et de recommandation de 180 µg/m³ en 2023 (matérialisé par les points noirs sur les cartographies) comme indiqué dans la **partie III** avec le détail des critères surfaciques (en km²) et d’exposition de population par département (nombre d’habitants et en pourcentage).

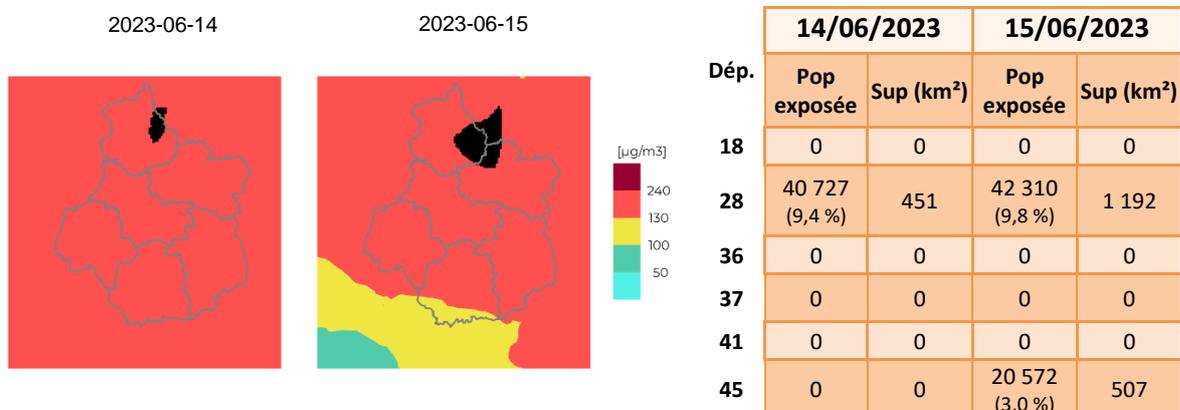


Figure 15 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution en mode analysé avec critères surfaciques et d’exposition de population

Les cartographies des **figures 16 et 17** illustrent respectivement les situations épisodiques en O₃ prévues le jour même (à l’échéance J0) et pour le lendemain (à l’échéance J1), issues de l’expertise des prévisionnistes de Lig’Air (EXP-LIGAIR) pour les deux mêmes journées concernées par un dépassement du seuil d’information et de recommandation de 180 µg/m³ en 2023 avec le détail des critères surfaciques et d’exposition de population (nombre d’habitants et en pourcentage).

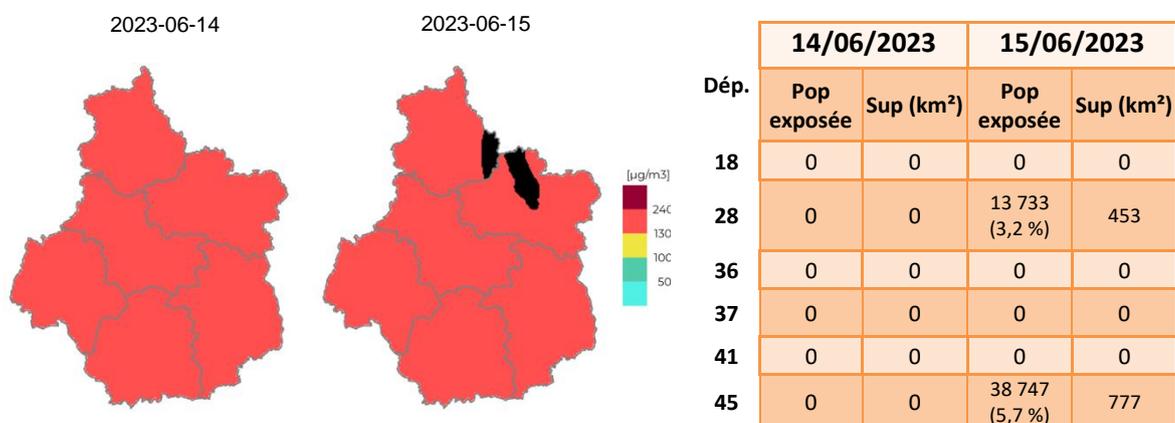


Figure 16 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le jour même (à l’échéance J0) avec critères surfaciques et d’exposition de population

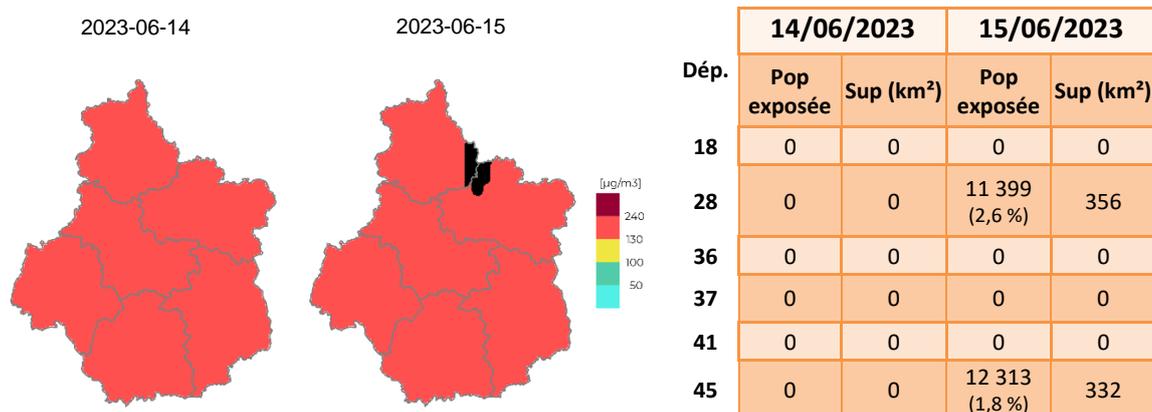


Figure 17 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le lendemain (à l'échéance J1) avec critères surfaciques et d'exposition de population

Ces éléments permettent de réaliser une comparaison entre la cohérence de la validité des critères surfaciques et d'exposition de la population prévue par les prévisions J0 et J1 (**figures 16 et 17**) par rapport à l'évaluation de ces mêmes critères par l'analyse (issue d'une procédure d'assimilation de données pour les journées considérées) (**figure 15**).

En comparant l'ensemble de ces résultats, l'analyse confirme le comportement décrit dans le paragraphe précédent, avec une détection manquée à l'échéance J0 (EXP-LIGAIR), pour la journée du 14 juin 2023 qui a été impactée par un dépassement très localisé du seuil d'information et de recommandation (matérialisé par les points noirs sur les cartographies) dans le département de l'Eure-et-Loir. A l'inverse, pour la journée du 15 juin 2023, l'expertise a permis de bien identifier l'Eure-et-Loir comme département sujet à un dépassement du seuil d'information et de recommandation et de lancer les procédures préfectorales associées.

Comme déjà stipulé l'année dernière, cet exercice est intéressant car il permet de mettre en évidence qu'un épisode de pollution en O₃ peut être très localisé et impacter une petite zone d'un département sans forcément engendrer un dépassement du seuil d'information et de recommandation aux niveaux des stations du réseau de surveillance de Lig'Air.

Malgré d'importantes améliorations apportées ces dernières années, cette évaluation traduit les difficultés que les modèles peuvent encore rencontrer pour représenter finement les événements proches des critères surfaciques et d'exposition de population. Les conditions des dépassements souvent localisés et avec une faible persistance sont encore difficiles à appréhender par les modèles et expliquent en partie la faiblesse de ces résultats et confirment toute la difficulté à les expertiser.

d) Evolution des performances des prévisions

Il est important d'indiquer que les configurations des modèles peuvent évoluer et donc être modifiées au fil des années pouvant impacter l'évolution des scores en engendrant une rupture dans l'évolution des performances des prévisions. A titre d'exemple, la plate-forme PREVAIR a réalisé une mise à jour en novembre 2021 du modèle CHIMERE en actualisant un certain nombre de paramètres tels que l'inventaire des émissions.

Echéance J+0 - O₃ - Maximums journaliers

Scores par année

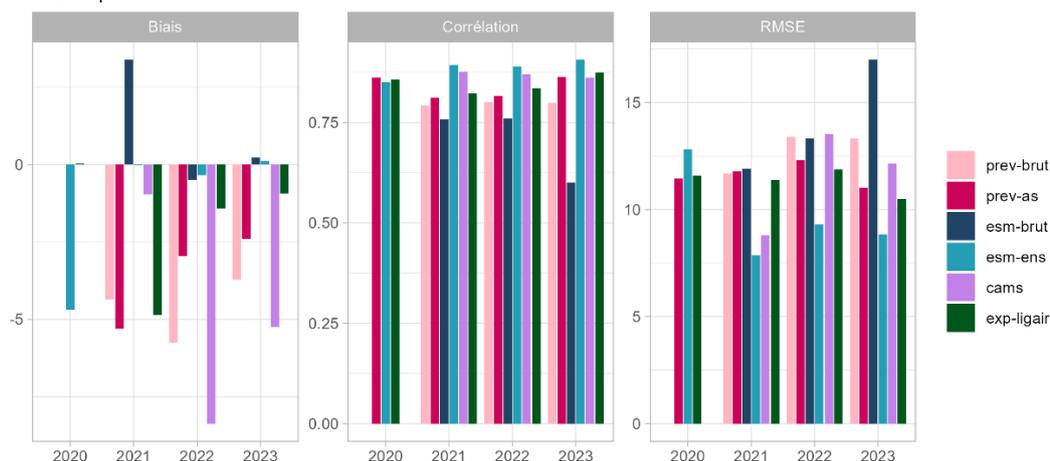


Figure 18 : O₃ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés à l'échéance J0

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers

Scores par année

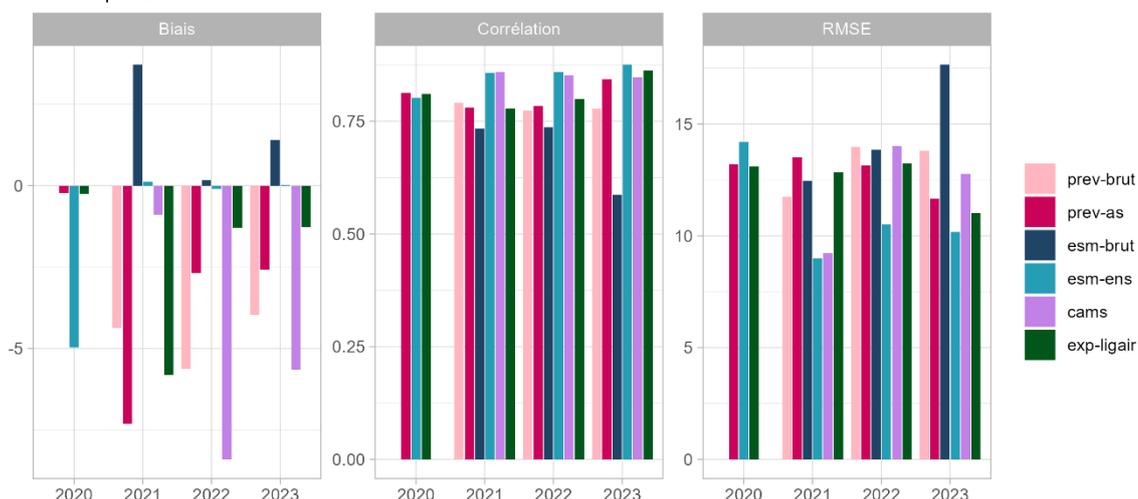


Figure 19 : O₃ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés à l'échéance J1

Les figures 18 et 19 mettent en évidence que :

- Quel que soit l'année considérée et les échéances J0 et J1, les modèles bruts PREV-BRUT et ESM-BRUT fournissent les performances les plus dégradées.
- Pour les échéances J0 et J1, les modèles EMS-ENS et CAMS donnent les meilleurs scores pour 2021 et 2022. Cette tendance s'inverse en 2023 durant laquelle l'expertise des prévisionnistes de Lig'Air améliore les performances par rapport au modèle CAMS avec des scores très proches du modèle ENS-ESM.
- Malgré des scores corrects en 2021, CAMS présentent en 2022 des scores qui se sont fortement dégradés. Cela peut être expliqué par le fait que l'année 2021 avait été marquée par un été frais et pluvieux durant lequel les concentrations en O₃ sont restées faibles. Les modèles CAMS ont donc pu bien prévoir ces concentrations peu élevées en 2021 contrairement en 2022 et en 2023 où la fréquence d'apparition de fortes concentrations en O₃ a été plus importante.

- D'une manière générale, les modèles ESM-ENS et l'expertise conduite par Lig'Air (EXPLIGAIR) donnent les scores les plus satisfaisants depuis 2021.

2) Prévisions des particules en suspension PM₁₀

Pour les particules fines de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀), l'évaluation est réalisée sur l'année complète, du 1^{er} janvier au 31 décembre 2023. Il est important d'indiquer que les situations météorologiques propices aux épisodes de pollution en région Centre-Val de Loire se retrouvent majoritairement lors de situations anticycloniques hivernales, lorsque les vents faibles (favorisant une accumulation des particules en l'absence de dispersion) et les fortes variations de température (nuits froides et journées plus douces) engendrent des émissions importantes (notamment celles liées à l'utilisation du chauffage) mais également lors de la saison printanière avec une augmentation des activités agricoles (avec une utilisation intensive de nitrate d'ammonium favorisant la formation de particules fines lors de périodes d'épandage).

Pour l'analyse des épisodes de PM₁₀, l'indicateur réglementaire considéré est le seuil d'information de 50 µg/m³ en moyenne journalière. Seule la moyenne journalière de PM₁₀ est ainsi considérée dans les analyses.

Le calcul des scores est réalisé avec les données de mesure validées de la base de données régionale de Lig'Air, sur un panel de 13 stations disponibles réparties en 9 stations périurbaines et 4 stations trafics (figure 20).

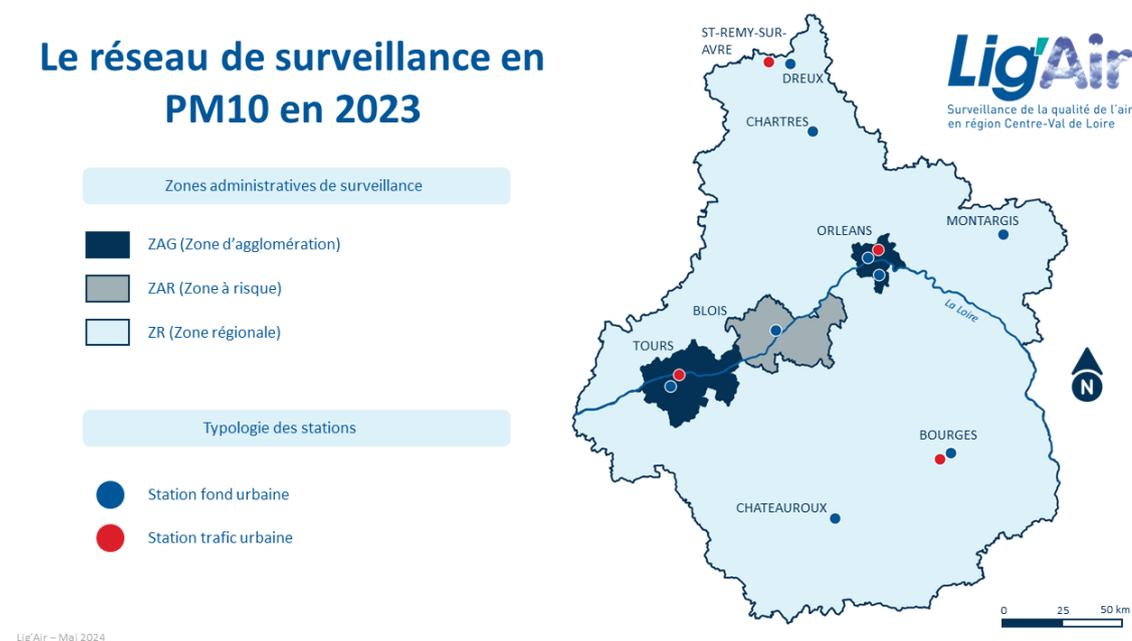


Figure 20 : PM₁₀ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air en 2023

e) Performances du modèle

Les figures 21 à 26 présentent pour les PM₁₀ les scores de biais, de corrélation et de RMSE en région Centre-Val de Loire pour l'ensemble des modèles considérés pour les jours de prévision J0 et J1. La présentation de ces scores pour le jour de prévision J2 est située en annexe 4.

Scores par zone géographique

Les figures 21 et 22 montrent ces scores sur les six départements de la région Centre-Val de Loire, le premier groupe de barres (nommé « Centre-VdL » sur la figure), situé à l'extrême gauche, correspondant aux scores sur l'ensemble des 14 stations de la région.

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par zone géographique

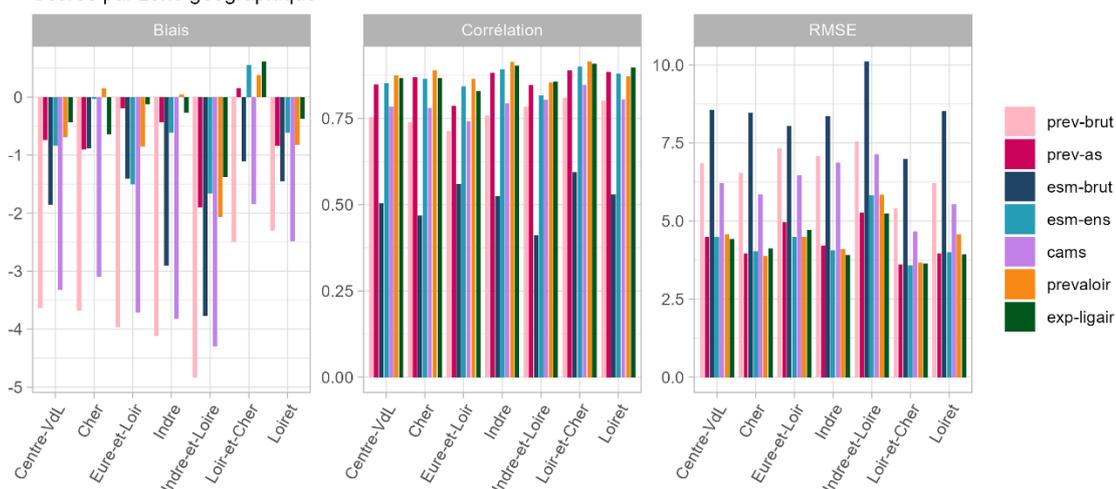


Figure 21 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par zone géographique

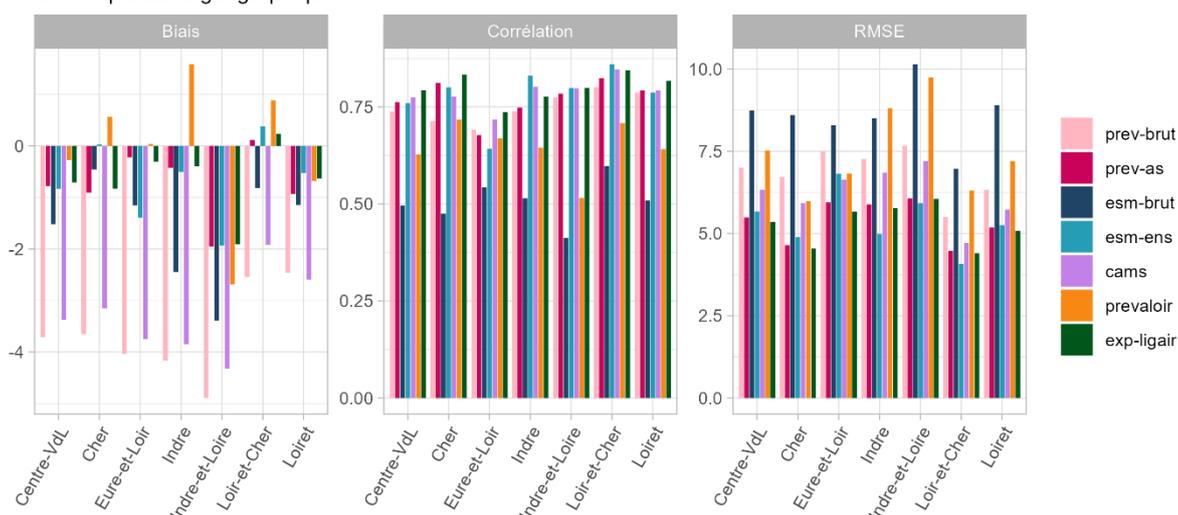


Figure 22 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Aux échéances J0 et J1, à l'exception du modèle ESM-BRUT présentant une corrélation inférieure à 0,6, l'ensemble des modèles respectent les objectifs qualité pour l'O₃ sur le biais (inférieur à +7,5/-7,5 µg/m³), la RMSE (inférieure à 15 µg/m³) et la corrélation (supérieure à 0,6) pour l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire (figures 21 et 22).

Pour l'échéance J0, que ce soit pour le biais, la RMSE et la corrélation, les modèles PREVALOIR et EXP-LIGAIR présentent globalement les meilleurs scores avec une corrélation de l'ordre de 0,9 pour les 6 départements (figure 21) et un biais très faible de l'ordre de -0,5 dans l'ensemble de la région Centre-Val-de-Loire.

Pour l'échéance J1, le modèle PREVALOIR présente de moins bons scores qu'en J0. L'expertise de Lig'Air améliore les performances (corrélation et RMSE) vis-à-vis des modèles ESM-ENS et PREV-AS dans le Cher, l'Eure-et-Loire, l'Indre et le Loiret (figure 22).

Scores par typologie de stations

Echéance J+0 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par typologie de stations

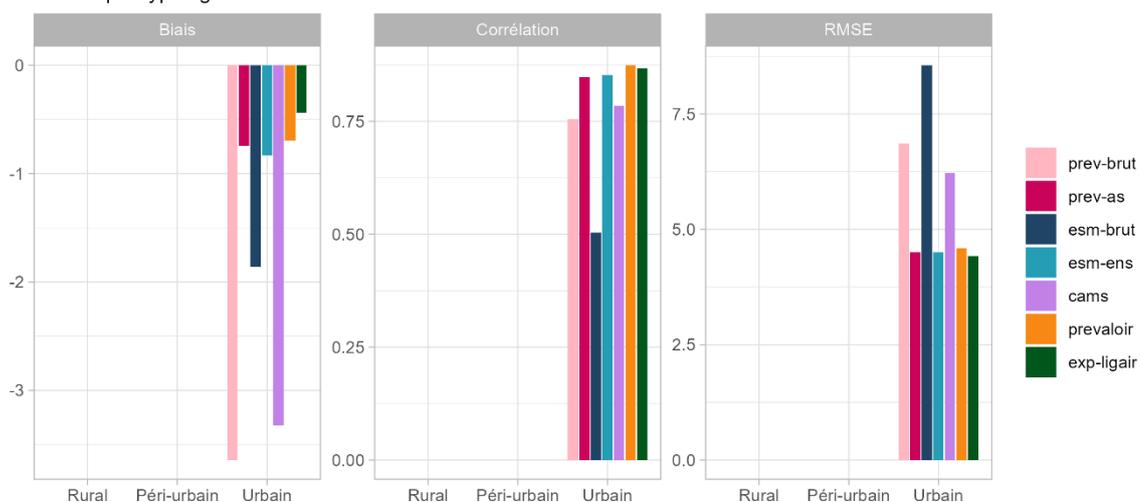


Figure 23 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par typologie de stations

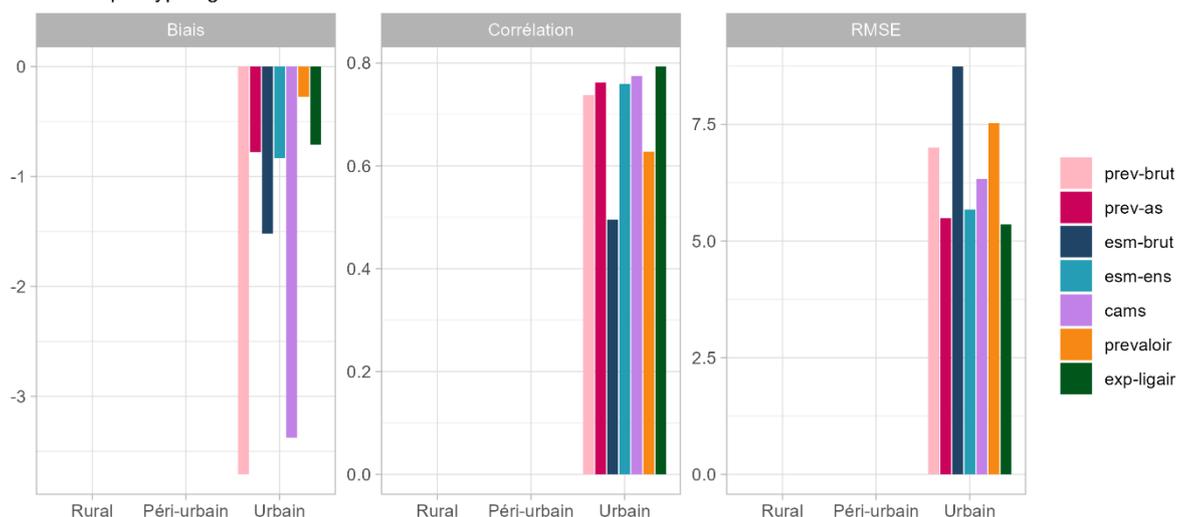


Figure 24 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

L'ensemble des stations de mesures des PM₁₀ du réseau de Lig'Air ne concerne que la typologie urbaine. Les modèles bruts présentent les moins bons scores. En J0, les performances des modèles PREV-AS, ESM-ENS, PREVALOIR et EXP-LIGAIR sont globalement équivalentes. En J1, les performances du modèle PREVALOIR et EXP-LIGAIR sont meilleurs notamment en corrélation et RMSE vis-à-vis des autres modèles.

Scores par plage de concentrations

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par plage de concentrations

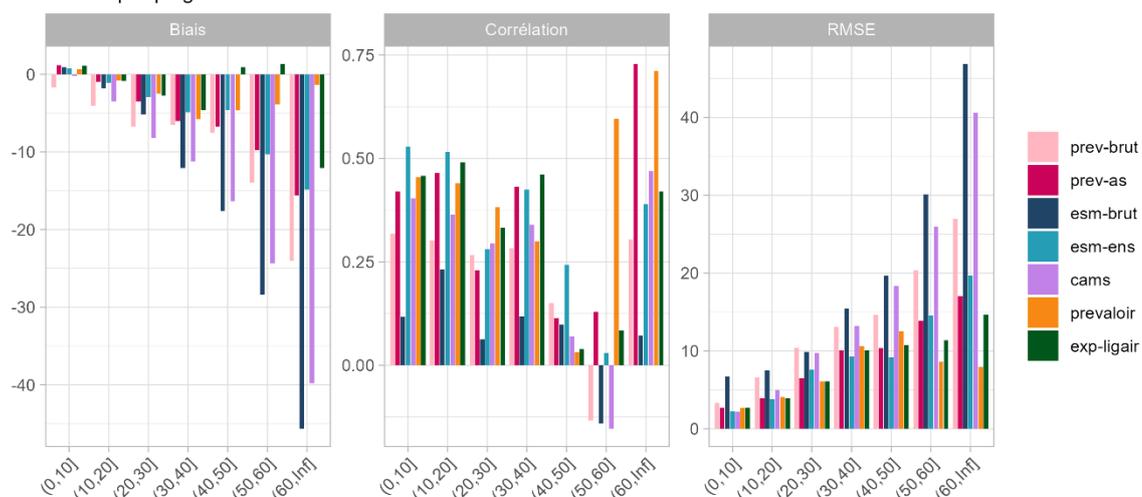


Figure 25 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+1 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par plage de concentrations

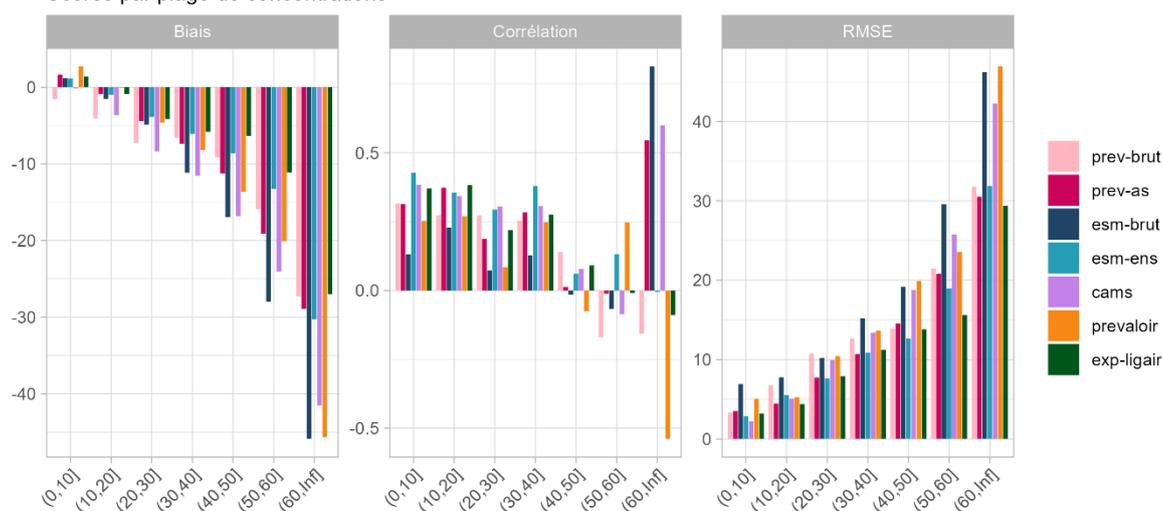


Figure 26 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

En J0 et J1, les scores des modèles sont meilleurs (RMSE et biais) pour les plus faibles concentrations (inférieures à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et se dégradent lorsque les concentrations augmentent à l'exception de PREV-AS et PREVALOIR qui ont une meilleure corrélation pour les concentrations supérieures à 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'expertise de Lig'Air et dans une moindre mesure PREVALOIR améliorent les scores (RMSE et biais) pour les plus fortes concentrations (> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

D'une manière générale, les modèles PREVALOIR (adaptation statistique locale développée par Lig'Air) ainsi que l'expertise menée par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent les meilleurs scores quel que soient les départements (figure 21) et surtout pour les gammes de concentrations les plus élevées (supérieures à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (figure 25).

Ces résultats montrent que les modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) continuent à être les modèles qui rencontrent les plus grandes difficultés à bien prévoir les concentrations à l'échéance J0 et en J1.

Il est mis en évidence également sur l'ensemble des **figures 23 à 26** que la mise en place d'une adaptation statistique locale et maîtrisée par Lig'Air (PREVALOIR) confirme une amélioration significative des scores sur l'ensemble des départements et surtout pour les concentrations les plus élevées (supérieures à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à l'échéance J0.

Il est important de noter, cependant, que les concentrations supérieures à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rencontrées au cours de l'année 2023 ne représentant que 1,8% des données totales et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations journalières sont restées inférieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ représentant 83,8% des données totales (**tableau 6**).

Moins de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Plus de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
38,6%	45,2%	11,9%	2,5%	1,1%	0,6%	0,1%

Tableau 6 : PM₁₀ – Proportion de valeurs utilisées pour le calcul de scores de chaque gamme de concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

La **figure 27** présente ces scores sur les jours de prévision J0, J1, J2, correspondant respectivement au jour courant, au lendemain et au surlendemain.

PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par échéance de prévisions

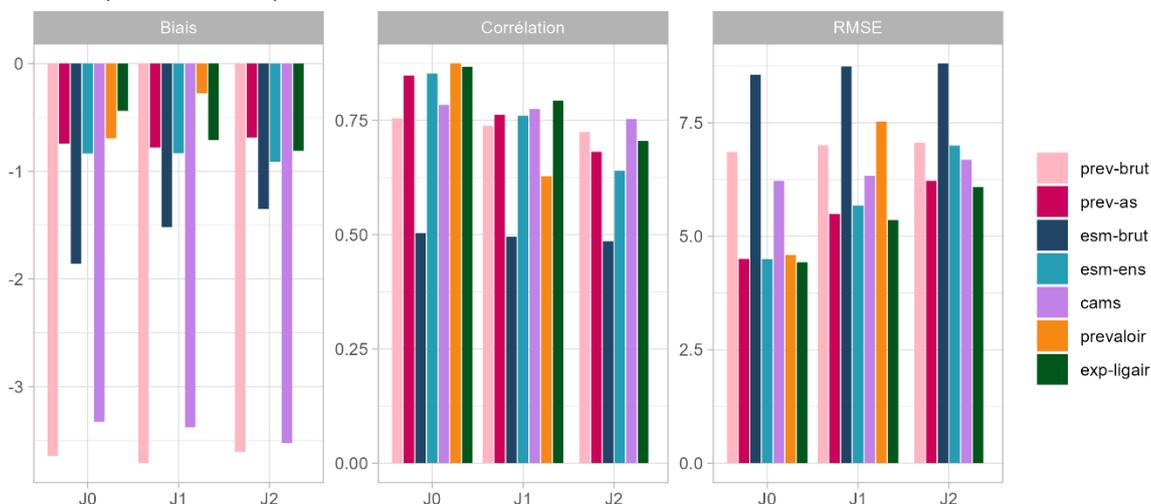


Figure 27 : PM₁₀ – Synthèse des scores de biais, et de corrélation et de RMSE en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

Les modèles bruts conservent des performances quasiment identiques entre les jours de prévision J0, J1 et J2. Pour l'adaptation statistique, le constat est différent, les scores se dégradent légèrement entre les échéances J0, J1 et J2 en particulier sur la RMSE.

Cependant, les modèles PREVALOIR, PREV-AS, et la prévision d'ensemble ESM-ENS restent plus performants que les deux modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) et CAMS aux échéances J0, J1 et J2 et, de surcroît, les objectifs qualité des scores continuent à être respectés à cette dernière échéance.

L'expertise conduite par Lig'Air améliore légèrement les scores à l'échéance J0 vis-à-vis du modèle d'adaptation statistique PREV-AS et de ESM-ENS et présente des scores équivalents pour les échéances J1 et J2.

Pour le modèle PREVALOIR, les scores se dégradent significativement à l'échéance J1 à l'exception du biais. Pour rappel, le modèle PREVALOIR ne fournit à l'heure actuelle que les prévisions des concentrations en PM₁₀ uniquement pour le jour même et le lendemain.

f) Performances par rapport aux seuils réglementaires

La région Centre-Val de Loire a connu au cours de l'année 2023 quatre épisodes de pollution aux PM₁₀. Le premier épisode a eu lieu du 09 au 15 février 2023. Lors de cette période, seule la journée du 12 février a été marquée par des concentrations inférieures aux seuils réglementaires. Pour les autres jours, le seul d'information et de recommandation a été dépassé sur au moins un département de la région. La persistance de ces dépassements a conduit au déclenchement du seuil d'alerte par persistance sur plusieurs départements de notre région. Le second épisode a d'abord touché le département du Loiret la journée du 2 mars (dépassement du seuil d'information et de recommandation observé aux stations de Montargis_les_Cites et Saint-Jean-de-la-Ruelle) et s'est étendu sur le sud de la région au cours de la journée du 3 mars. En effet, lors de cette journée, des dépassements du seuil d'information et de recommandation ont également été observés dans le Cher à la station Leblanc et dans l'Indre à la station Chateauroux_Sud. Le troisième épisode, engendré par une masse d'air chargée en poussière désertique a principalement marqué la moitié ouest de la région les journées du 5 et 6 septembre 2023. Un dépassement du seuil d'information et de recommandation a d'abord été observé le 5 septembre à la station Joué-lès-Tours du département de l'Indre-et-Loire puis à la station Chateauroux_Sud dans l'Indre la journée du 6 septembre. Enfin, un dernier épisode également lié aux poussières désertiques a engendré un dépassement du seuil d'information et de recommandation dans le département du Loiret la journée du 09 octobre 2023 à la station Saint-Jean-de-la-Ruelle.

Les **figures 28 à 30** font état de la capacité des modèles à détecter avec exactitude les dépassements du seuil d'information et de recommandation de 50 µg/m³. Des explications détaillées à propos des indicateurs utilisés dans ces figures sont présentées en **Annexe 3 – Eléments de table de contingence**.

PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Nombre de dépassements du seuil de 50 µg/m³

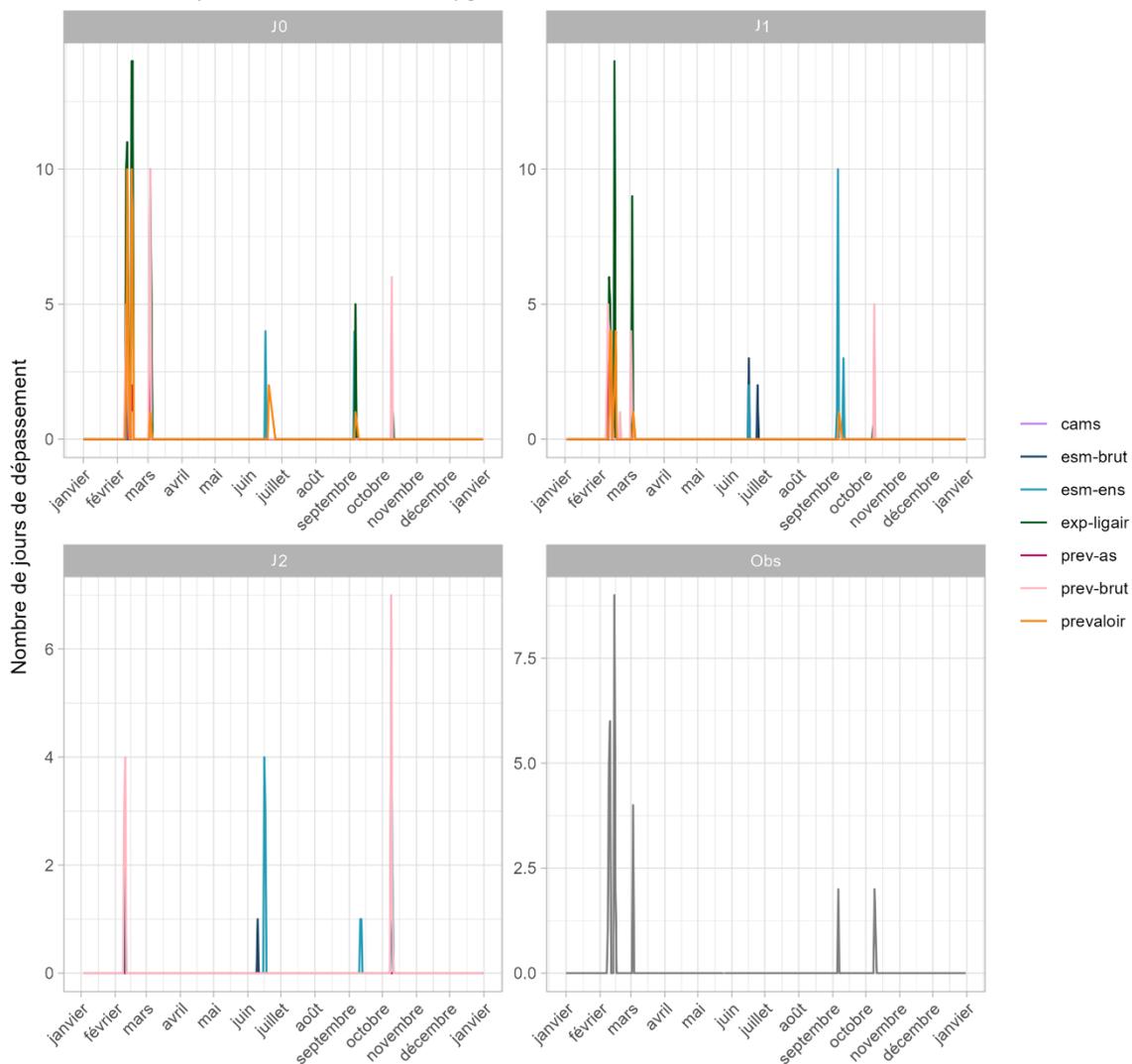


Figure 28 : PM₁₀ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³) pour les modèles considérés sur les échéances J0, J1 et J2 vis-à-vis des observations (Obs)

PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Table de contingence pour le seuil de 50 µg/m³

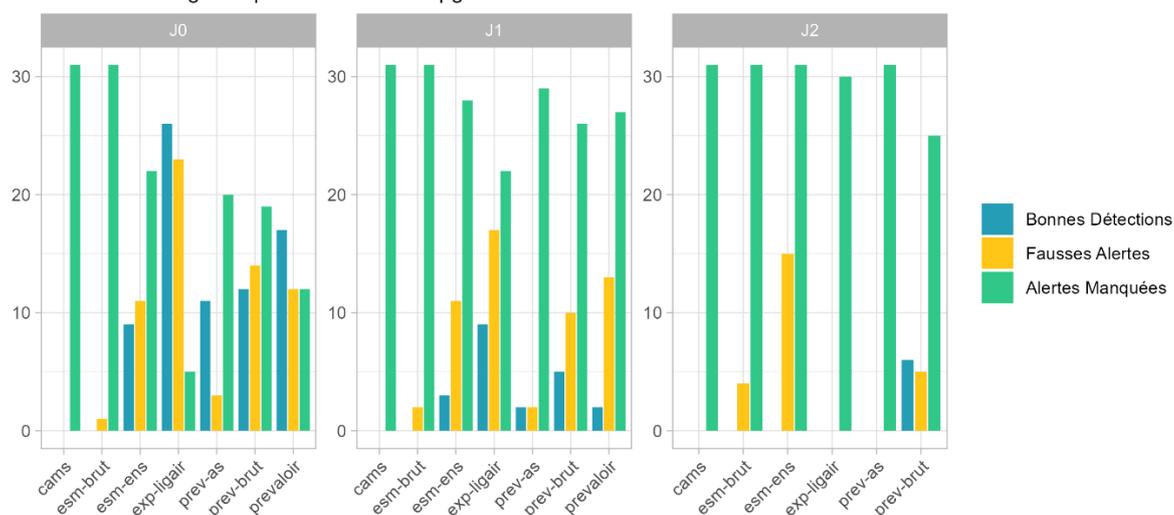


Figure 29 : PM₁₀ – Table de contingence pour 2023 aux échéances J0, J1 et J2 pour le seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert. Gauche : Table de contingence de l'ensemble des modèles pour la région entière.

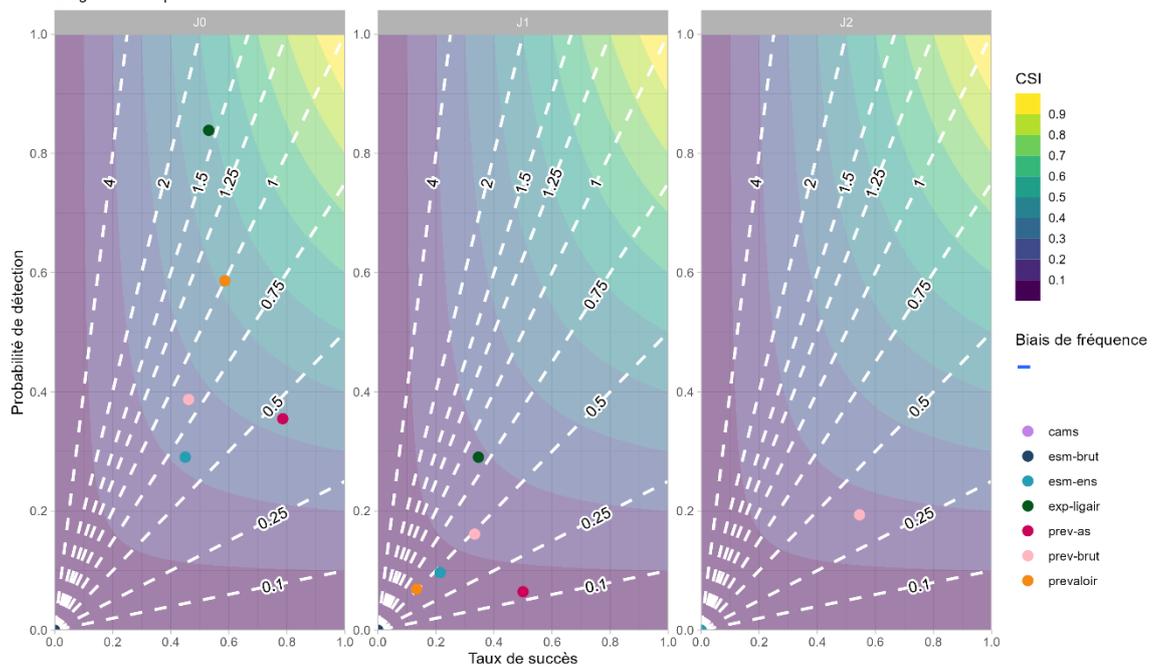


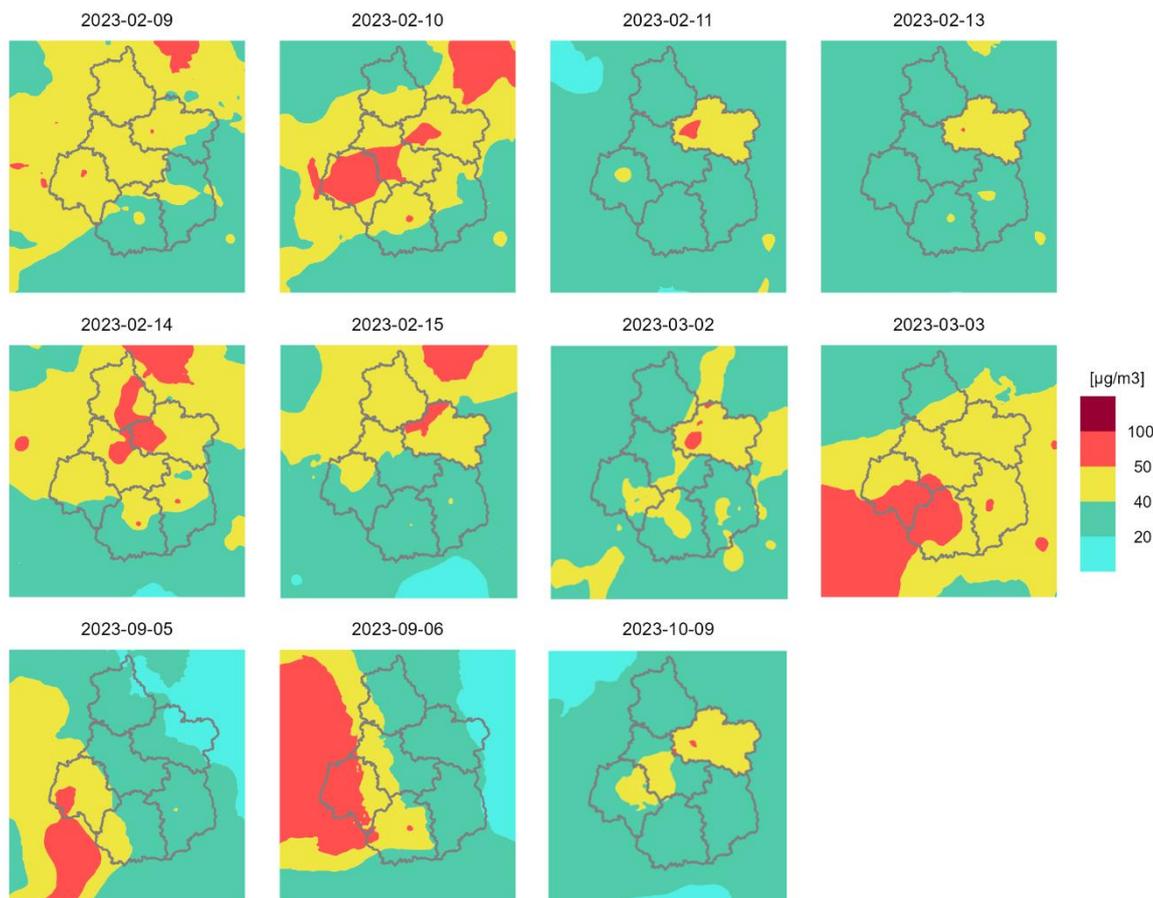
Figure 30 : PM₁₀ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2023 pour les échéances J0, J1 et J2

D'une manière générale, les figures 29 à 30 mettent en évidence des comportements relativement hétérogènes entre les modèles. L'expertise de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présente le plus grand nombre de bonnes détections et le plus faible nombre d'alertes manquées avec respectivement 26 bonnes détections en J0 (soit une probabilité de détection de 0,84 et un taux de succès de 0,52) et 9 bonnes détections en J1 (soit une probabilité de détection de 0,29 et un taux de succès de 0,35). Après EXP-LIGAIR, c'est le modèle PREVALOIR qui compte le plus grand nombre de bonne détection à l'échéance J0 (soit une probabilité de détection et un taux de succès de 0,59). A l'échéance J2, seul le modèle PREV-BRUT présente un nombre de bonnes détections de dépassement du seuil d'information et de recommandation. Les modèles ESM-BRUT et CAMS présentent le plus grand nombre d'alertes manquées. Quel que soit le modèle, le nombre de bonnes détections est réduit entre les échéances J0, J1 et J2.

Globalement, ces résultats montrent l'importance de consolider et de maintenir quotidiennement une expertise des prévisions des différents modèles. La connaissance et la qualité d'expertise acquises par les membres du service prévision de Lig'Air sur le comportement des polluants au sein de la région Centre-Val de Loire, en particulier sur les particules en suspension PM₁₀, permettent significativement d'améliorer les performances des prévisions.

g) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence

Sur les cartographies de la figure 31 sont illustrées les situations épisodiques en PM₁₀ obtenues et analysées pour les 11 journées concernées par un dépassement du seuil d'information et de recommandation de 50 µg/m³ en 2023 comme indiqué dans la partie II.2.b avec le détail des critères surfaciques (en km²) et d'exposition de population par département (nombre d'habitants et en pourcentage).

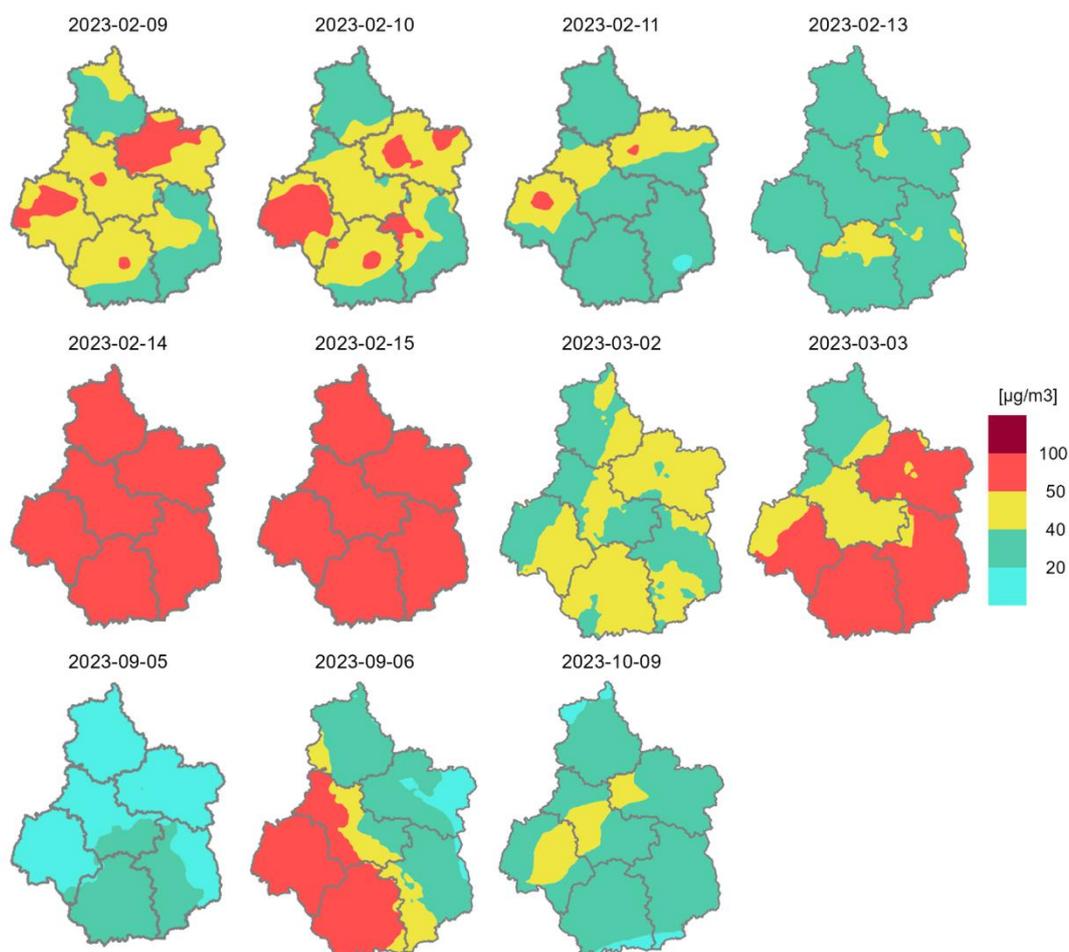


Dép.	09/02/2023		10/02/2023		11/02/2023		13/02/2023		14/02/2023		15/02/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	0	0	0	0	0	0	63 348 (20,8 %)	41	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	197 797 (45,7 %)	1 822	0	0
36	0	0	55 313 (24,7 %)	81	0	0	0	0	48 553 (21,7 %)	35	0	0
37	206 150 (34,0 %)	62	566 361 (93,4 %)	4 251	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	165 568 (50,0 %)	1 685	0	0	0	0	104 605 (31,6 %)	1 050	0	0
45	80 888 (11,9 %)	24	359 577 (53,1 %)	915	0	0	0	0	383 334 (56,6 %)	1 516	0	0

Dép.	02/03/2023		03/03/2023		05/09/2023		06/09/2023		09/10/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	77 030 (25,3 %)	162	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	156 317 (69,8 %)	4059	0	0	57 837 (25,8 %)	319	0	0
37	0	0	118 844 (19,6 %)	2961	48 279 (8,0 %)	806	487 980 (80,4 %)	4075	0	0
41	0	0	36 284 (11,0 %)	536	0	0	1 450 (0,4 %)	76	0	0
45	0	0	1 737 (0,3 %)	1	0	0	0	0	0	0

Figure 31 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution en mode analysé avec critères surfaciques et d'exposition de population

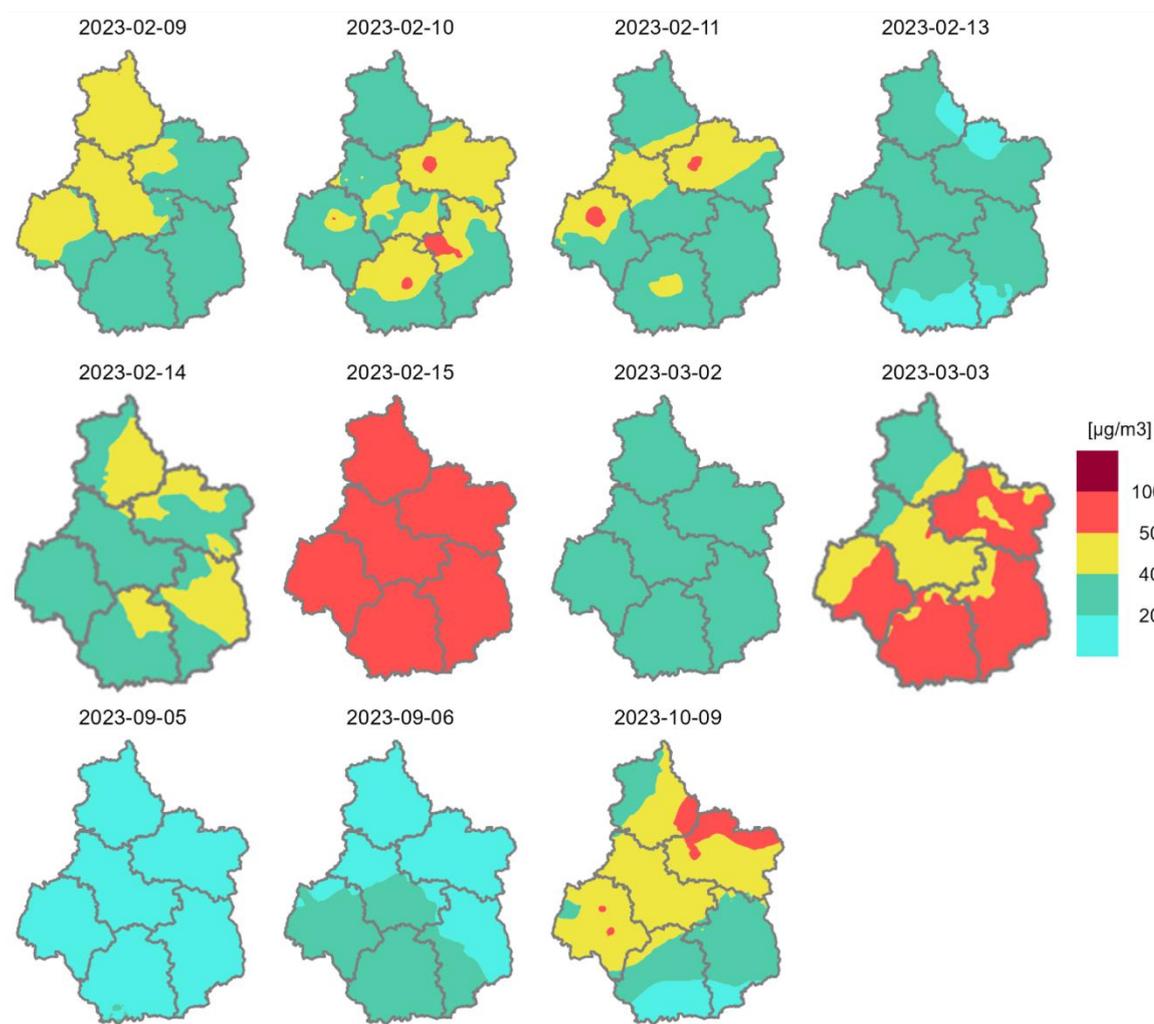
Les cartographies des **figures 32 et 33** illustrent respectivement les situations épisodiques en PM₁₀ prévues le jour même (à l'échéance J0) et pour le lendemain (à l'échéance J1), issues de l'expertise des prévisionnistes de Lig'Air (EXP-LIGAIR) pour les cinq mêmes journées concernées par un dépassement du seuil d'information et de recommandation de 50 µg/m³ en 2023 avec le détail des critères surfaciques et d'exposition de population (nombre d'habitants et en pourcentage).



Dép.	09/02/2023		10/02/2023		11/02/2023		13/02/2023		14/02/2023		15/02/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	122 435 (40,2 %)	789	0	0	0	0	304 372 (100 %)	7 268	304 372 (100 %)	7 268
28	0	0	0	0	0	0	0	0	431 947 (100 %)	5 916	431 947 (100 %)	5 916
36	61 092 (27,4 %)	151	72 433 (32,6 %)	472	0	0	0	0	222 410 (100 %)	6 858	222 410 (100 %)	6 858
37	447 774 (73,4 %)	1 643	552 824 (91,3 %)	3 960	278 387 (46,0 %)	385	0	0	605 208 (100 %)	6 113	605 208 (100 %)	6 113
41	72 588 (21,9 %)	248	980 (0,3 %)	43	0	0	0	0	330 692 (100 %)	6 403	330 692 (100 %)	6 403
45	534 499 (78,9 %)	3 464	407 427 (60,2 %)	1 482	190 941 (28,2 %)	106	0	0	677 137 (100 %)	6 783	677 137 (100 %)	6 783

Dép.	02/03/2023		03/03/2023		05/09/2023		06/09/2023		09/10/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	300 909 (98,9 %)	6 855	0	0	0	10	0	0
28	0	0	84 (0,02 %)	21	0	0	0	10	0	0
36	0	0	222 392 (99,9 %)	6 854	0	0	212 720 (95,6 %)	6 415	0	0
37	0	0	486 098 (80,3 %)	4 030	0	0	605 208 (100 %)	6 113	0	0
41	0	0	0	0	0	0	161 951 (49,0 %)	2 788	0	0
45	0	0	663 565 (97,8 %)	6 551	0	0	0	0	0	0

Figure 32 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenus pour le jour-même (à l'échéance J0) avec critères surfaciques et d'exposition de population



Dép.	09/02/2023		10/02/2023		11/02/2023		13/02/2023		14/02/2023		15/02/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	100 983 (33,2 %)	548	0	0	0	0	0	0	304 372 (100 %)	7 268
28	9 270 (2,1 %)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	431 947 (100 %)	5 916
36	0	0	57 365 (25,8 %)	122	0	0	0	0	0	0	222 410 (100 %)	6 858
37	0	0	44 014 (7,3 %)	12	273 599 (45,2 %)	317	0	0	0	0	605 208 (100 %)	6 113
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330 692 (100 %)	6 403
45	6 699 (1,0 %)	2	195 813 (28,9 %)	194	215 278 (31,8 %)	163	0	0	0	0	677 137 (100 %)	6 783

Dép.	02/03/2023		03/03/2023		05/09/2023		06/09/2023		09/10/2023	
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18	0	0	261 613 (86,0 %)	6 237	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	18 094 (4,2 %)	734
36	0	0	212 250 (95,6 %)	6 341	0	0	0	0	0	0
37	0	0	372 535 (61,6 %)	3 616	0	0	0	0	141 971 (23,5 %)	108
41	0	0	9 056 (2,7 %)	117	0	0	0	0	0	0
45	0	0	629 189 (92,9 %)	5 582	0	0	0	0	341 509 (50,4 %)	2 062

Figure 33 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le lendemain (à l'échéance J1) avec critères surfaciques et d'exposition de population

Ces éléments permettent de réaliser une comparaison entre la cohérence de la validité des critères surfaciques et d'exposition de la population prévue par les prévisions J0 et J1 (figures 32 et 33) par rapport à l'évaluation de ces mêmes critères par l'analyse (issue d'une procédure d'assimilation de donnée pour les journées considérées) (figure 31).

En comparant l'ensemble de ces résultats, l'analyse montre tout d'abord les difficultés des modèles à détecter le début des épisodes de pollution. En effet, les modèles n'ont pas su détecter de dépassement du seuil d'information et de réglementation les journées du 02 mars, du 05 septembre et du 09 octobre. Conformément aux résultats du paragraphe précédent, le nombre de bonnes détections est satisfaisant (26 au total en J0) mais il se dégrade en J1. Les figures 32 et 33 montrent également que les modèles ont parfois eu tendance à surestimer les concentrations en PM₁₀ et ainsi créer de fausses alertes, comme par exemple pour la journée du 15 février 2023 pour laquelle seul le département du Loiret a été sujet à un dépassement du seuil d'information et de recommandation contrairement à ce qui a été prévu par la modélisation.

Cette évaluation traduit simplement les difficultés que les modèles peuvent encore rencontrer pour représenter finement les événements proches des critères surfaciques et d'exposition de population. Les conditions des dépassements souvent localisés et avec une faible persistance sont encore difficiles à appréhender par les modèles et expliquent en partie la faiblesse de ces résultats et confirment toute la difficulté à les expertiser. Il est également important d'indiquer que les épisodes en PM₁₀ survenus au cours des journées du 05-06 septembre et 09 octobre furent associés à une remontée par le sud de poussières sahariennes dont les modèles de prévisions rencontrent des difficultés à appréhender. La fréquence d'apparition de ce phénomène semble augmenter depuis quelques années.

h) Evolution des performances des prévisions

Il est important d'indiquer que les configurations des modèles peuvent évoluer et donc être modifier au fil des années pouvant impacter l'évolution des scores en engendrant une rupture dans l'évolution des performances des prévisions. A titre d'exemple, la plate-forme PREVAIR a réalisé une mise à jour en novembre 2021 du modèle CHIMERE en actualisant un certain nombre de paramètres tels que l'inventaire des émissions.

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières

Scores par année

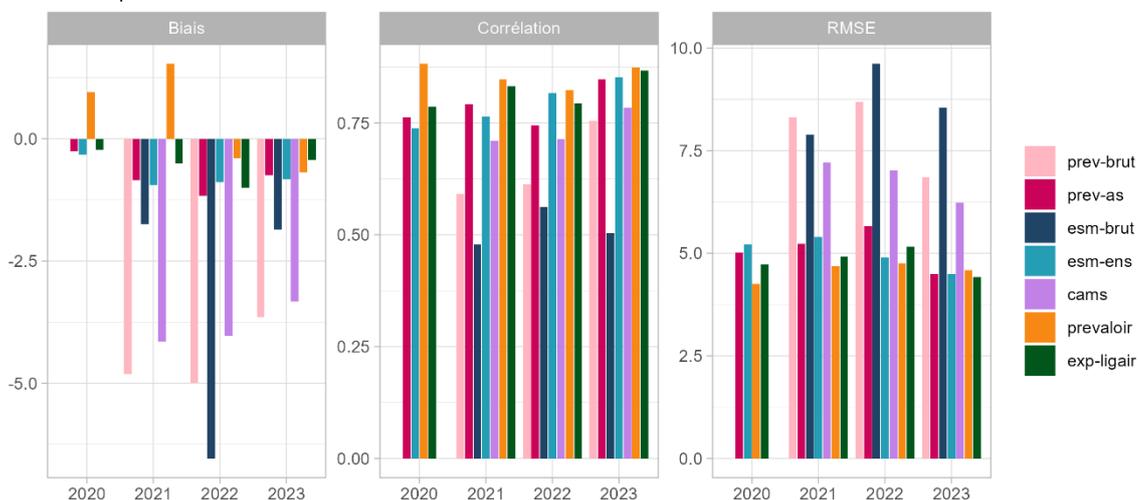


Figure 34 : PM₁₀ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés à l'échéance J0

Echéance J+1 - PM10 - Moyennes journalières

Scores par année

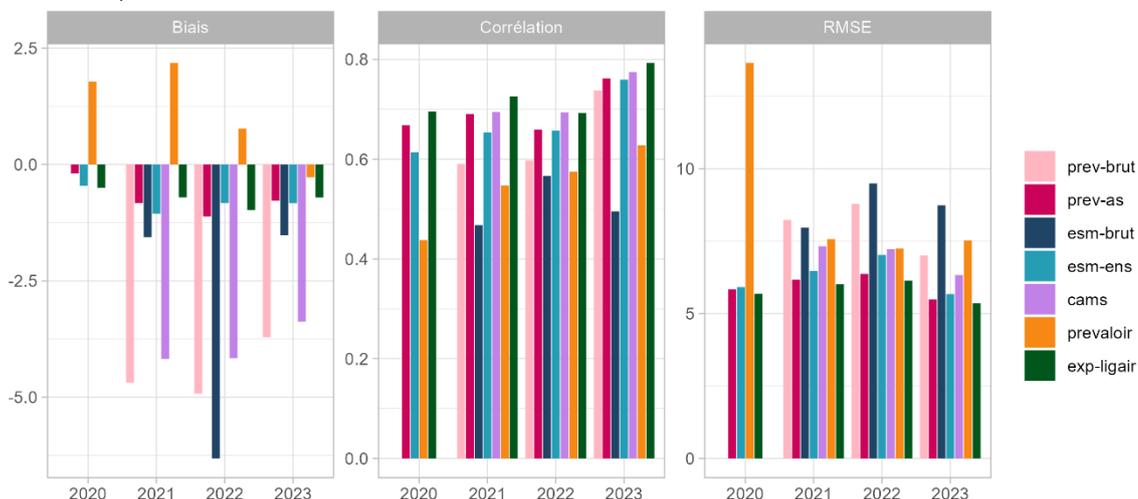


Figure 35 : PM₁₀ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés à l'échéance J1

Les figures 34 et 35 mettent en évidence que :

- Comme déjà observé pour l'O₃, les modèles bruts PREV-BRUT et ESM-BRUT tout comme le modèle CAMS fournissent en 2021 et en 2022 les scores les plus faibles avec un biais et un RMSE élevés et une corrélation faible.

- D'une manière générale à l'échéance J0, le modèle PREVALOIR et l'expertise conduite par Lig'Air (EXP-LIGAIR) donnent les scores les plus satisfaisants quel que soit l'année suivi par le modèle ESM-ENS. Ces résultats confirment ceux déjà obtenus lors de l'évaluation des performances des prévisions sur l'année 2021 avec des scores qui restent relativement stables.
- A l'échéance J1, les performances de PREVALOIR sont fortement réduites et équivalentes à celles des modèles bruts tandis que l'expertise conduite par Lig'Air donne les scores les plus satisfaisant depuis 2021.

IV. Conclusions et Perspectives

Ce rapport fournit une évaluation de la chaîne de prévision du système VACARM (VALidation des CARTographies de Modélisation) que Lig'Air a mis en opérationnel. La méthodologie utilisée dans cette évaluation s'appuie sur les conclusions du groupe de travail « prévision » composé du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) et des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), maintenant intégrées au référentiel technique national de surveillance de la qualité de l'air. Toutes les prévisions utilisées dans la plateforme VACARM ont été évaluées, à savoir les prévisions brutes de PREVAIR (PREV-BRUT) et d'ESMERALDA (ESM-BRUT), les prévisions d'ensemble d'ESMERALDA (ESM-ENS) et de COPERNICUS (CAMS), la prévision PREVAIR avec adaptation statistique (PREV-AS). Les ajustements et corrections réalisées spatialement sur les concentrations lors de la validation quotidienne sont aussi évalués afin de prendre en compte la prévision dans sa totalité.

L'année 2023 a été marquée par deux journées d'épisode de pollution en O₃ sur la région Centre-Val de Loire les 14 et 15 juin 2023 avec des dépassements du seuil d'information et de recommandation de 180 µg/m³ qui se sont cantonnés uniquement dans un premier temps au sud du département de l'Eure-et-Loir pour ensuite s'étendre jusqu'au nord-ouest du département du Loiret.

Les résultats montrent que le modèle d'ensemble ESM-ENS présente de meilleures performances suivis de près par EXP-LIGAIR (expertise Lig'Air). L'adaptation statistique issues de Prev'Air semble donner des scores relativement faibles par rapport aux 2 premiers. Rappelons ici que le modèle ESM-ENS est un modèle statistique qui prend en compte plusieurs modèles y compris ceux issus de PREVAIR. Il est donc tout à fait normal qu'il présente de meilleurs scores. L'adaptation statistique de Prev'Air (PREV-AS) est un modèle qui tourne sur tout l'hexagone et fournit par conséquent, à l'heure actuelle, des résultats et des scores non homogènes sur l'ensemble du territoire national.

L'expertise menée par Lig'Air (EXP-LIGAIR) apporte une amélioration notable sur les scores pour les concentrations les plus fortes (> 170 µg/m³). Il est l'unique modèle à avoir su détecter le dépassement du seuil d'information et de recommandation concernant le seul épisode de pollution en O₃ que la région a rencontré au cours de juin 2023.

Pour les PM₁₀, l'adaptation statistique locale développée par Lig'Air (PREVALOIR) ainsi que l'expertise menée par le service de prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent les meilleurs scores sur l'ensemble de la région Centre-Val-de-Loire et surtout pour les concentrations les plus élevées. Cependant, malgré les scores très satisfaisants de PREVALOIR en J0, ceux-ci se dégradent considérablement en J1. L'expertise conduite par Lig'Air a permis de détecter le plus grand nombre de dépassement du seuil d'information et de recommandation aux échéances J0 et J1. L'adaptation statistique (PREV-AS) et la prévision d'ensemble (ESM-ENS et CAMS) présentent également de bons scores qui sont, comme les années précédentes, nettement meilleurs que ceux des modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT). Ces résultats montrent ainsi l'importance de consolider et de maintenir quotidiennement une expertise des prévisions provenant des différents modèles. La connaissance et la qualité d'expertise acquises par les membres du service prévision de Lig'Air sur le comportement des polluants au sein du territoire régional permettent d'améliorer les performances des prévisions et la détection des épisodes de pollution. Des efforts d'amélioration des prévisions doivent encore être entrepris pour mieux appréhender l'apparition d'épisodes de pollution associés à des remontées de poussières sahariennes.

Il est important d'indiquer que Lig'Air a été précurseur dans la mise en place d'une réunion de gestion d'alerte. Cette réunion permet de mettre en émulation les connaissances et l'expertise de l'ensemble des prévisionnistes dans le but d'approfondir la détection d'un épisode de pollution en réalisant un croisement avec diverses sources de données (les conditions météorologiques, les résultats issus des différents modèles, l'origine de la masse d'air, l'évolution des concentrations observées issues du réseau de surveillance, la composition chimique des particules, les sources

d'émissions, les critères de mesures d'urgence, etc...). A travers les résultats analysés dans ce rapport d'évaluation, il apparaît clairement que cette procédure apporte une amélioration significative dans la détection d'un épisode de pollution notamment en particules en suspension PM_{10} .

Lig'Air apporte et a toujours apporté un intérêt tout particulier dans l'amélioration constante de la prévision des épisodes de pollution. Après avoir mis en place, il y a quelques années, une première version de l'outil VACARM, une nouvelle version (Vacarm 2024.1) a vu le jour en février 2024 :



Figure 36 : Page d'accueil de la nouvelle version de l'outil VACARM de Lig'Air

Cette nouvelle version a permis d'apporter des optimisations dans la gestion et la pérennité de l'outil tout en améliorant les étapes de réalisation de l'expertise faite par les prévisionnistes. La traçabilité de l'ensemble des actions menées est réalisée et désormais consultable. Des améliorations sont prévues pour réaliser une expertise plus fine des concentrations modélisées issues des différentes plateformes. Cette expertise, faite actuellement par département, sera réalisée de manière beaucoup plus localisée à l'échelle des communes voire à la maille des différents modèles. Cette finesse dans l'expertise pourra améliorer les scores et éventuellement améliorer la détection des épisodes tout en assurant la traçabilité des informations et des décisions conformément au référentiel national.

En parallèle de ces travaux, le système d'adaptation statistique locale PREVALOIR sera revu pour améliorer sa gestion et son fonctionnement. Initialement mis en place par Lig'Air pour améliorer la prévision des concentrations en PM_{10} pour le jour même et pour le lendemain, il sera étendu à la prévision des concentrations d'ozone et à la prévision des $PM_{2,5}$. Ainsi, PREVALOIR deviendra un modèle multi-polluants et multi-échances. La nouvelle version de PREVALOIR intégrera le système de prévision VACARM dans l'objectif d'améliorer la détection des épisodes de pollution. Une mise à jour de l'apprentissage est également prévue en 2024 avec la prise en compte de la nouvelle version de CHIMERE dans les fournitures de PREVAIR.

Enfin, les premiers résultats de cette évaluation ont montré que des efforts doivent être menés pour améliorer l'analyse des épisodes de pollution en PM_{10} et en O_3 qui peuvent impacter de petites zones de la région comme observé en 2022 et en 2023. Des travaux sont actuellement engagés par Lig'Air pour mettre en place une « analyse par mélange de carte » sur les données analysées (échance de la veille nommé Jm1). Ces données constitueront les « données de référence » utilisées dans l'évaluation de la qualité de l'air à l'échelle communale sur l'ensemble de la région Centre-Val de Loire. Ces évaluations seront mises directement à disposition de la population et intégreront le document « porter à connaissance » à travers la nouvelle plateforme INTERqual'Air.

V. Annexes

1) Annexe 1 : Scores statistiques classiques

Biais moyen : Estimateur des écarts entre prévisions et observations, exprimé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il indique si la simulation surestime (valeurs positives) ou sous-estime (valeurs négatives) les concentrations réellement mesurées.

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

avec N 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.

RMSE : « Root Mean Square Error », exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle informe sur la capacité du modèle à reproduire les niveaux de concentrations observés et doit être la plus faible possible.

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

avec N 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.

Corrélation : exprimée sans dimension, elle informe sur la cohérence des variabilités temporelle ou spatiale des concentrations observées et prévues. Plus elle est proche de 1, et plus la simulation reproduit correctement les variations des concentrations observées.

$$R = \frac{\text{cov}(P, O)}{\sqrt{\text{var}(P)} \cdot \sqrt{\text{var}(O)}} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

avec N le nombre de stations de mesure, P_i la valeur de prévision à la station i , \bar{P} la moyenne des prévisions, O_i la valeur observée à la station, et \bar{O} la moyenne des observations.

2) Annexe 2 : Scores statistiques pour l'O₃ pour le jour de prévision J2

Echéance J+2 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par zone géographique

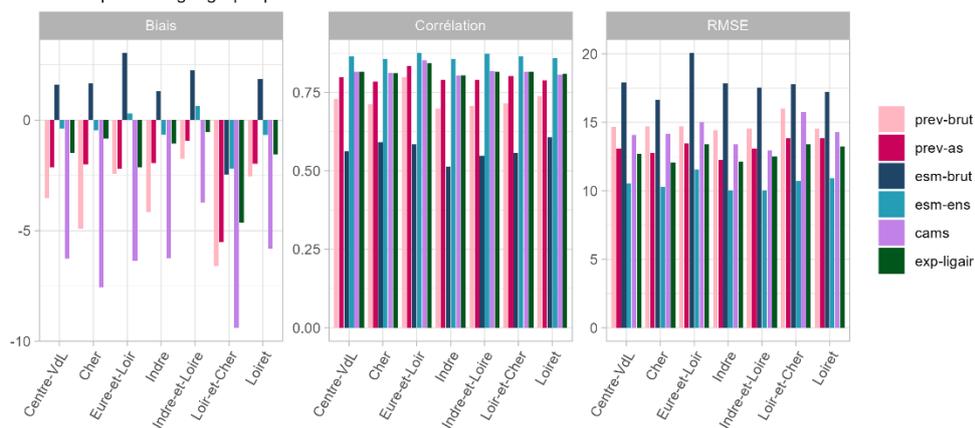


Figure 37 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+2 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par typologie de stations

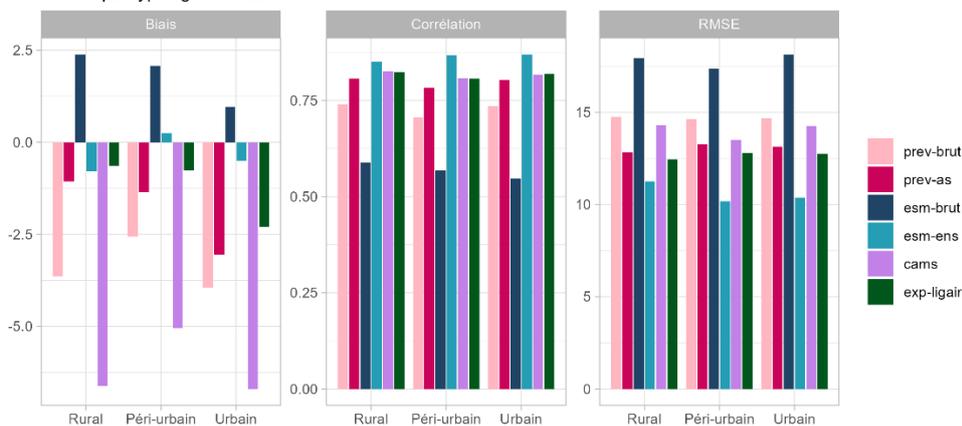


Figure 38 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+2 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2023

Scores par plage de concentrations

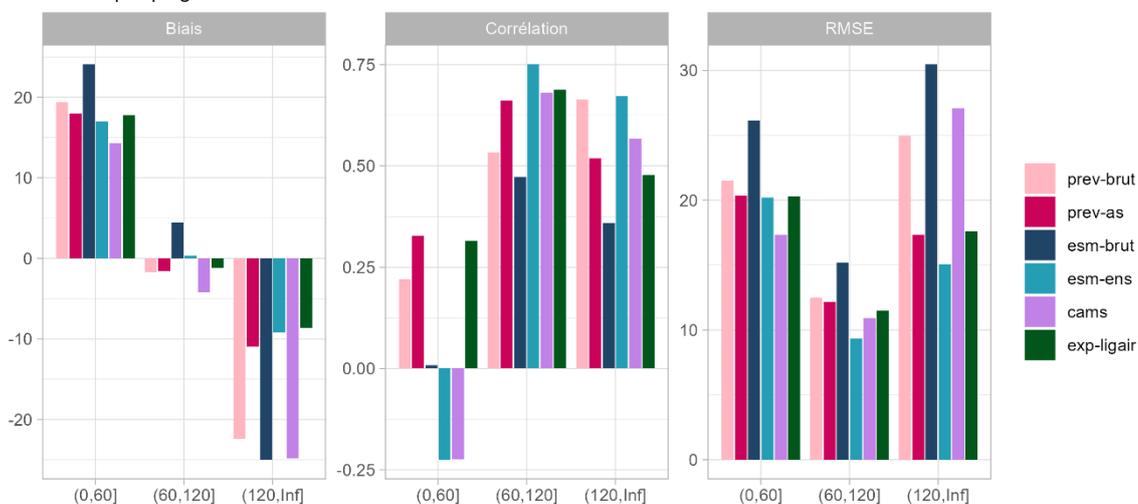


Figure 39 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

3) Annexe 3 : Eléments de tableau de contingence

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 (BD+)	Fausse détection (FD)
<i>Prévi < seuil</i>	Détection manquée (DM)	Bonne non-détection (BD-)

Bonne détection +, ou BD+ : bonne prévision de dépassement du seuil

Bonne détection -, ou BD- : bonne prévision de non-dépassement du seuil

Détection manquée, ou DM : dépassement de seuil observé en station mais non prévu par le modèle

Fausse détection, ou FD : 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 de détections manquées que de fausses détections.

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

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.

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

4) Annexe 4 : Scores statistiques pour les PM₁₀ pour le jour de prévision J2

Echéance J+2 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par zone géographique

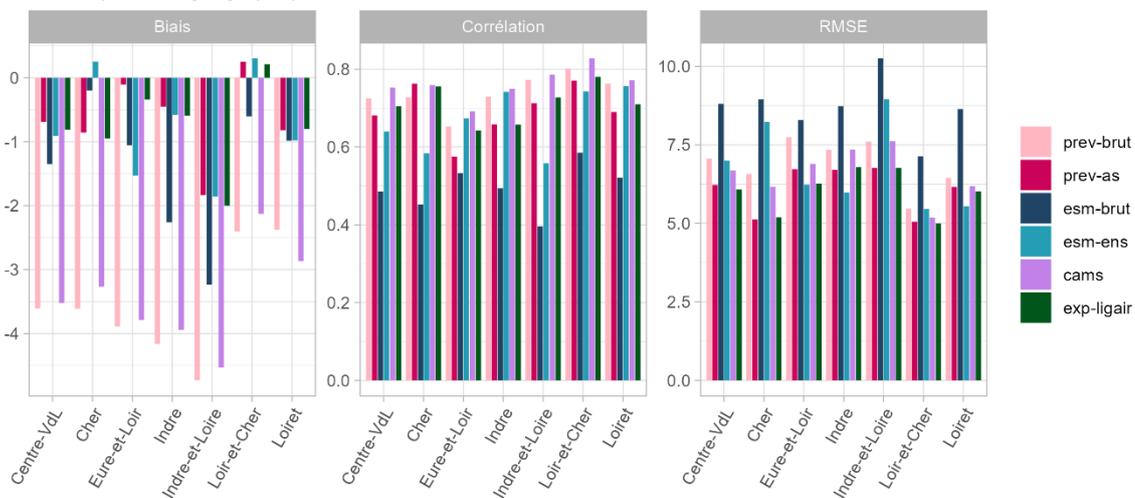


Figure 40 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+2 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par typologie de stations

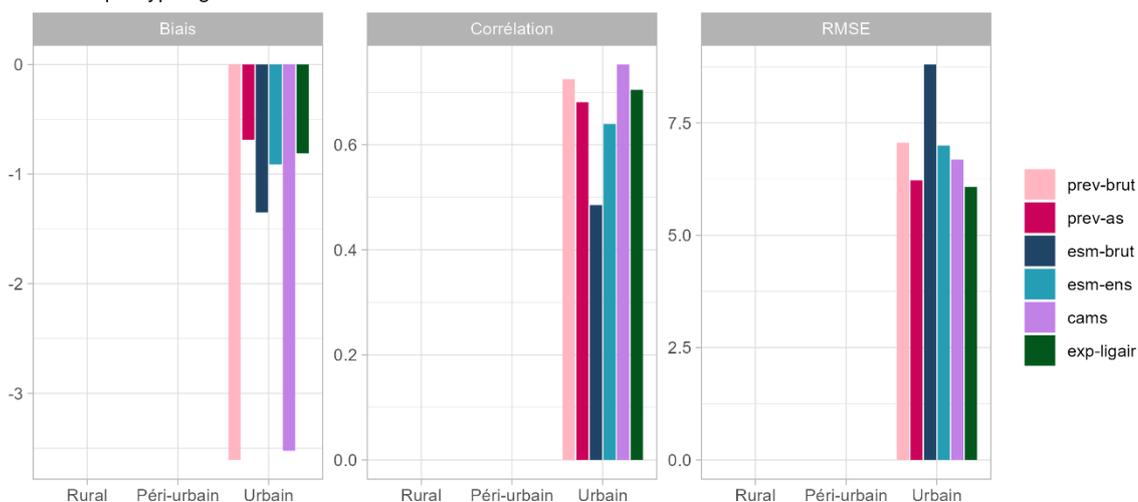


Figure 41 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+2 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2023

Scores par plage de concentrations

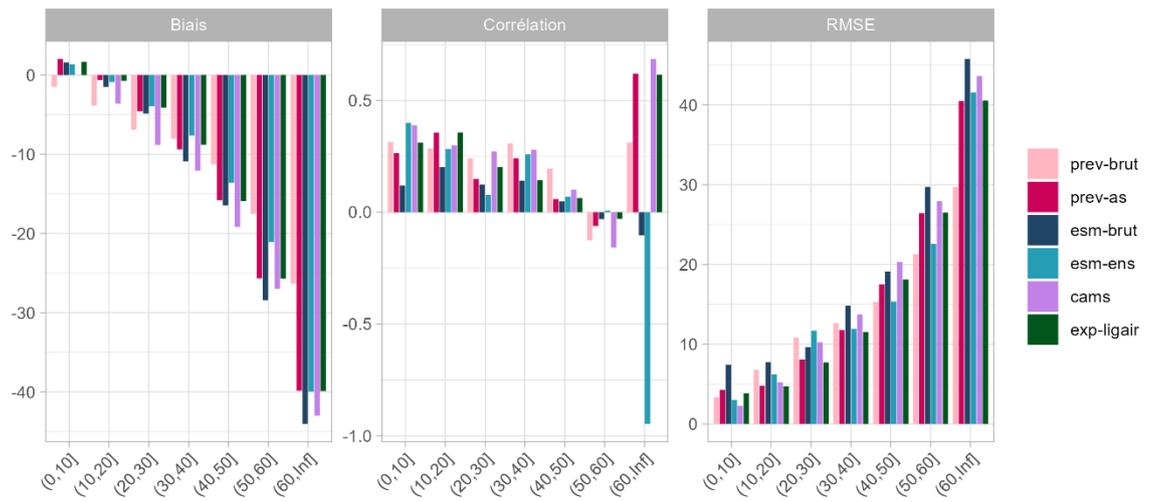


Figure 42 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2