



Rapport de performances du système de prévision de Lig'Air

Année 2022

Juin 2023



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 2021	9
II. Performances des prévisions de qualité de l'air pour 2021	11
1) Prévisions d'ozone	12
a) Performances du modèle	13
b) Performances par rapport aux seuils réglementaires	15
c) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence	17
d) Evolution des performances des prévisions	19
2) Prévisions des particules en suspension PM ₁₀	20
a) Performances du modèle	21
b) Performances par rapport aux seuils réglementaires	24
c) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence	26
d) Evolution des performances des prévisions	30
III. Conclusions et Perspectives	31
IV. Annexes	33
1) Annexe 1 : Scores statistiques classiques	33
2) Annexe 2 : Scores statistiques pour l'O ₃ pour les jours de prévision J1 et J2	34
3) Annexe 3 : Eléments de tableau de contingence	37
4) Annexe 4 : Scores statistiques pour les PM ₁₀ pour les jours de prévision J1 et J2	38

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	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 : O ₃ - CARTE DE REPARTITION DES STATIONS DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE Lig'Air.....	12
FIGURE 5 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0	13
FIGURE 6 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0.....	13
FIGURE 7 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0	14
FIGURE 8 : O ₃ – SYNTHESE DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU JOUR DE PREVISION (J0, J1 ET J2) POUR LES MODELES CONSIDERES.....	15
FIGURE 9 : O ₃ – SERIE TEMPORELLE DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (180 µG/M ³) POUR LES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0.....	16
FIGURE 10 : O ₃ – TABLE DE CONTINGENCE POUR 2021 A L'ECHEANCE J0 POUR LE SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (180 µG/M ³). LES BONNES DETECTIONS SONT EN BLEU, LES FAUSSES DETECTIONS EN ORANGE ET LES DETECTIONS MANQUEES EN VERT.....	17
FIGURE 11 : O ₃ – DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2021 POUR L'ECHEANCE J0	17
FIGURE 12 : PM ₁₀ - CARTE DE REPARTITION DES STATIONS DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE Lig'Air..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
FIGURE 13 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0	22
FIGURE 14 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0.....	22
FIGURE 15 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0	22
FIGURE 16 : PM ₁₀ – SYNTHESE DES SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU JOUR DE PREVISION (J0, J1 ET J2) POUR LES MODELES CONSIDERES	24
FIGURE 17 : PM ₁₀ – SERIE TEMPORELLE DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION (50 µG/M ³) POUR LES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0.....	25
FIGURE 18 : PM ₁₀ – TABLE DE CONTINGENCE POUR 2021 A L'ECHEANCE J0 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. DROITE : TABLE DE CONTINGENCE DE L'EXPERTISE DE Lig'Air DECLINEE PAR DEPARTEMENTS	26
FIGURE 19 : PM ₁₀ – DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2021 POUR L'ECHEANCE J0	26
FIGURE 20 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION EN MODE ANALYSE AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	27
FIGURE 21 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE JOUR-MEME (A L'ECHEANCE J0) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	28
FIGURE 22 : PM ₁₀ – CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION OBTENUES POUR LE LENDEMAIN (A L'ECHEANCE J1) AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION	29
FIGURE 23 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1.....	34
FIGURE 24 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2.....	34
FIGURE 25 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1	35
FIGURE 26 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2	35

FIGURE 27 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1	35
FIGURE 28 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2	36
FIGURE 29 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1.....	38
FIGURE 30 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE STATION (RURALES, URBAINES ET PERIURBAINES) DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2.....	38
FIGURE 31 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1	38
FIGURE 32 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2	39
FIGURE 33 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1	39
FIGURE 34 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2	39

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.....	11
TABLEAU 3 : CRITERES NATIONAUX DE LA QUALITE DE L'AIR	11
TABLEAU 4 : CRITERE DE POPULATION A RESPECTER POUR LA CARACTERISATION D'UN EPISODE DE POLLUTION.....	12
TABLEAU 5 : PM ₁₀ – PROPORTION DE VALEURS UTILISEES POUR LE CALCUL DE SCORES DE CHAQUE GAMME DE CONCENTRATION (μG/M ³).....	15
TABLEAU 6 : PM ₁₀ – PROPORTION DE VALEURS UTILISEES POUR LE CALCUL DE SCORES DE CHAQUE GAMME DE CONCENTRATION (μG/M ³).....	23

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, en tant qu'Associations Agréées de Surveillance de Qualité de l'Air (AASQA) ; Lig'Air doit « 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).

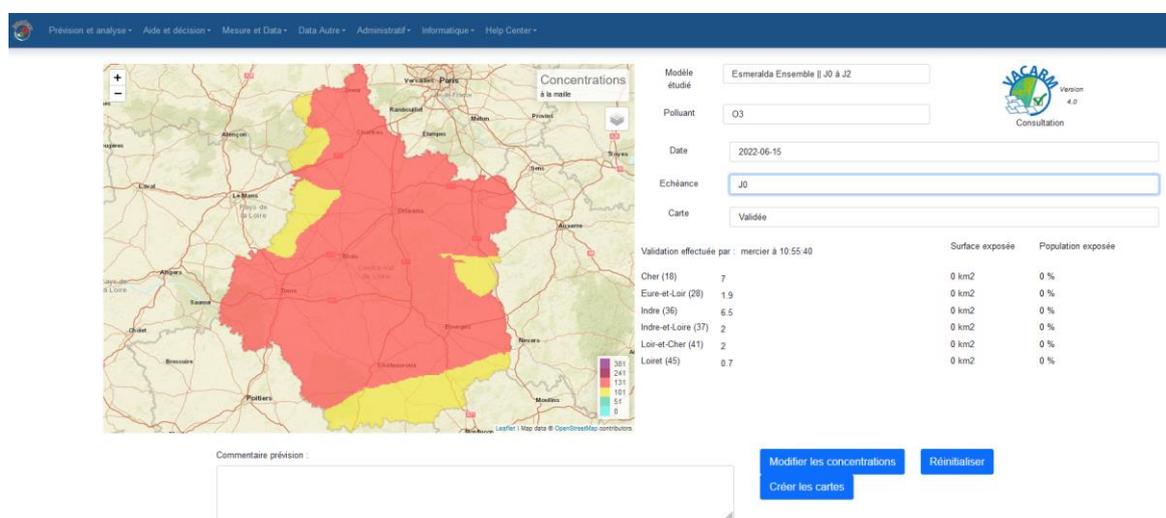


Figure 1 : Présentation de l'outil VACARM de Lig'Air

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	Cadastre régionaux des inventaires des émissions		2011 CAMS_71.II	-
Echantillons sur 2022	352 jours	348 jours	364 jours	354 jours	365 jours	354 jours

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

3) Bilan du taux d'utilisation des modèles sur 2022

Ce rapport traite de l'évaluation des performances du système de prévision VACARM de Lig'Air pour l'année 2022 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-Lig'Air 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 2022 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 de Lig'Air à hauteur de 87%-93% pour réaliser la validation des prévisions quotidiennes en fonction de l'échéance considérée. Elles sont suivies de loin par PREVALOIR (7% à 14% selon l'échéance), ESM-ENS (environ 6% à 7% selon l'échéance). Les fournitures PREV-BRUT, ESM-BRUT et CAMS n'ont pas été utilisées durant l'année 2022 pour la prévision de la qualité de l'air.

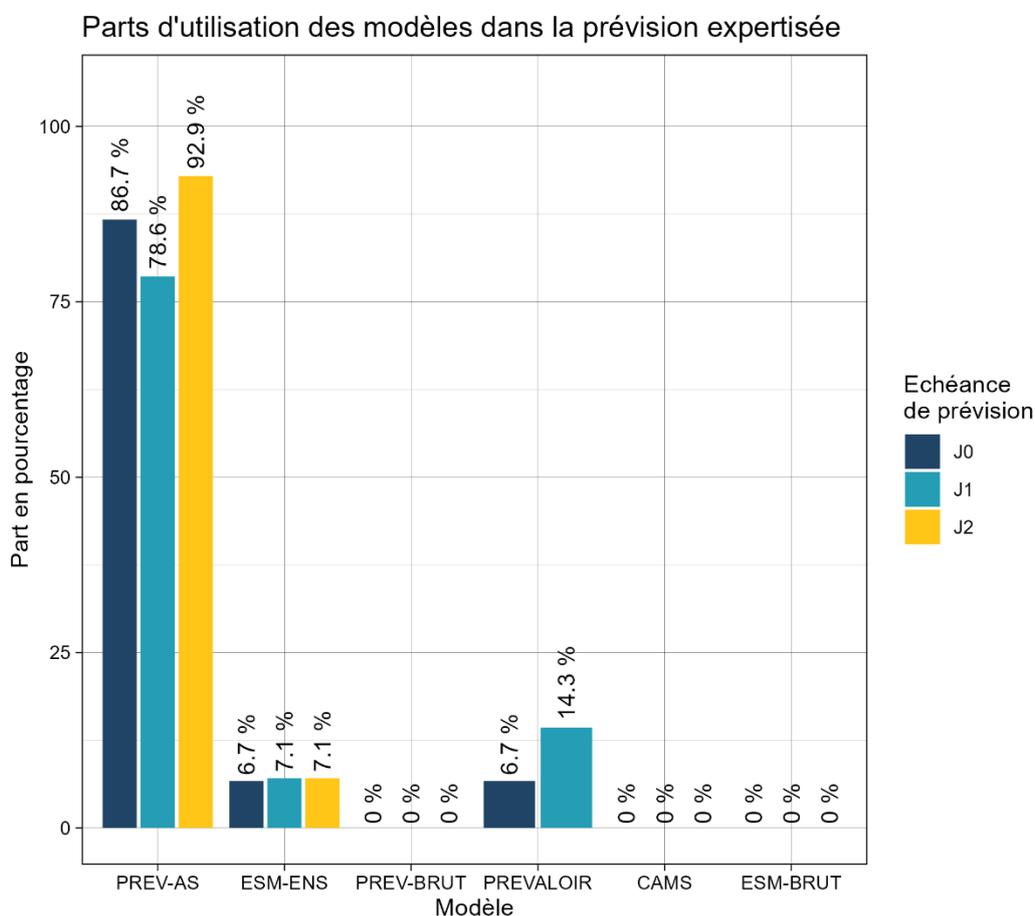


Figure 2 : Taux d'utilisation de chaque modèle dans la prévision quotidienne de Lig'Air en 2022

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 86,7% des données de PREV-AS pour la validation des prévisions pour l'échéance J0 (**figure 2**), environ 29% ont dû être modifiées/ajustées par le service prévision. De même, sur un taux d'utilisation des données de PREVALOIR en 2022 à hauteur de 6,7% pour l'échéance J0, 60% des concentrations ont dû être corrigées par le service afin de valider les prévisions.

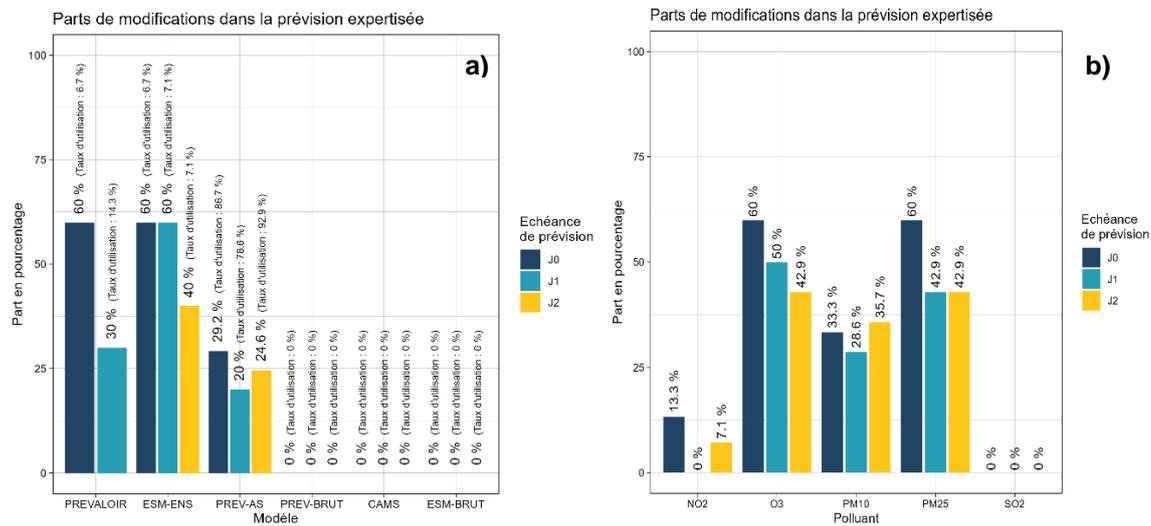


Figure 3 : Part des modifications réalisées par le service prévision sur les données expertisées en fonction du modèle (a) et en fonction des polluants (b)

La **figure 3b** met également en évidence qu’une partie des ajustements réalisés par le service prévision a concerné l’ozone (de 42,9% à 60% tout modèle confondu et en fonction de l’échéance considérée), suivi par les particules en suspension PM_{2,5} (de 42,9% à 60% tout modèle confondu et en fonction de l’échéance) et par les particules en suspension PM₁₀ (de 28,6% à 35,7% tout modèle confondu et en fonction de l’échéance). Les ajustements réalisés sur le dioxyde d’azote n’ont impacté que 7,1% à 13,3% des données expertisées (en fonction de l’échéance considérée).

Pour PREVALOIR, 60% des prévisions ont été ajustées sur 2022 pour l’échéance J0. Rappelons ici que la version PREVALOIR utilisée en 2022 est dédiée uniquement à l’échéance J0 et J1 et concerne uniquement les PM₁₀. Par conséquent, son utilisation est restée faible (6,7% à 14,3% selon l’échéance) durant cette année. Les modèles multi-polluants et multi-échances 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 règlementaires et de leur respect des critères définis dans l’Arrêté Mesure d’Urgence AMU (Arrêté du 7 avril 2016).

II. Performances des prévisions de qualité de l'air pour 2022

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 :
 - 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
 - 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 2022. 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 horaire 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**).

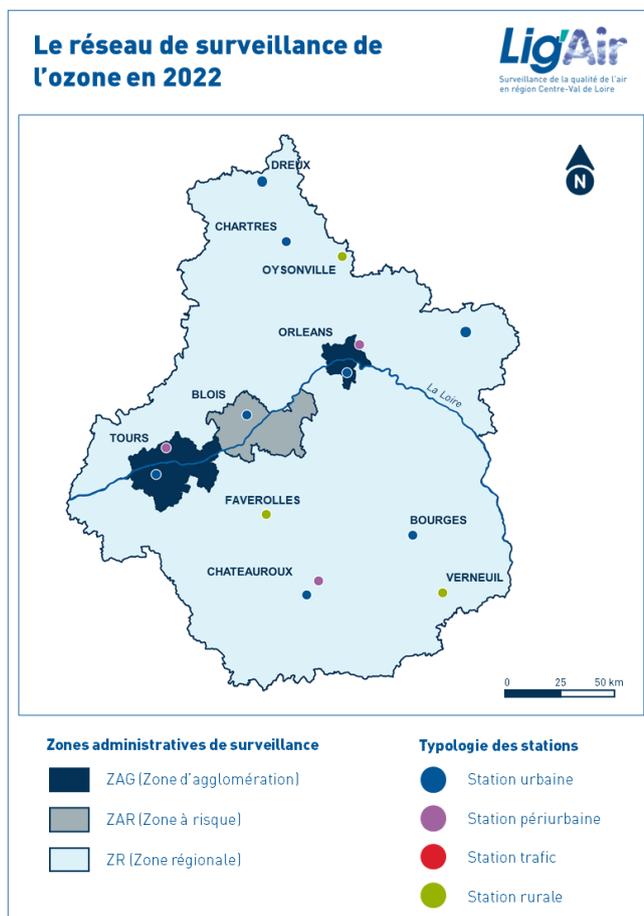


Figure 4 : O₃ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air en 2022

a) Performances du modèle

Les **figures 5, 6 et 7** 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 le jour de prévision J0. La présentation de ces scores pour les jours de prévision J1 et J2 est situé en **annexe 2**.

La **figure 5** montre 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.

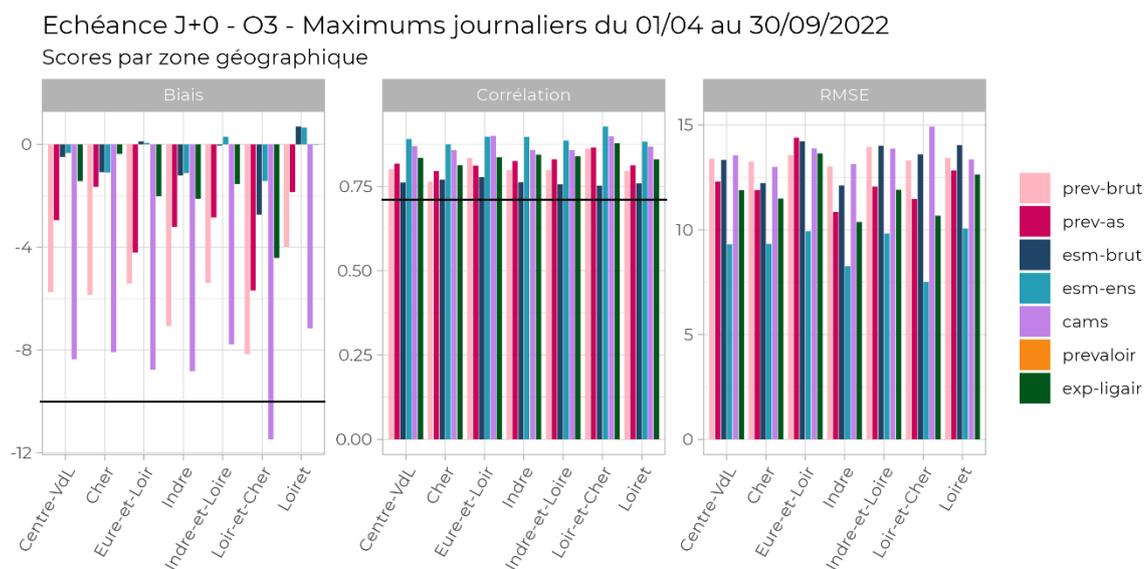


Figure 5 : O₃ - Scores de biais, corrélation et RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

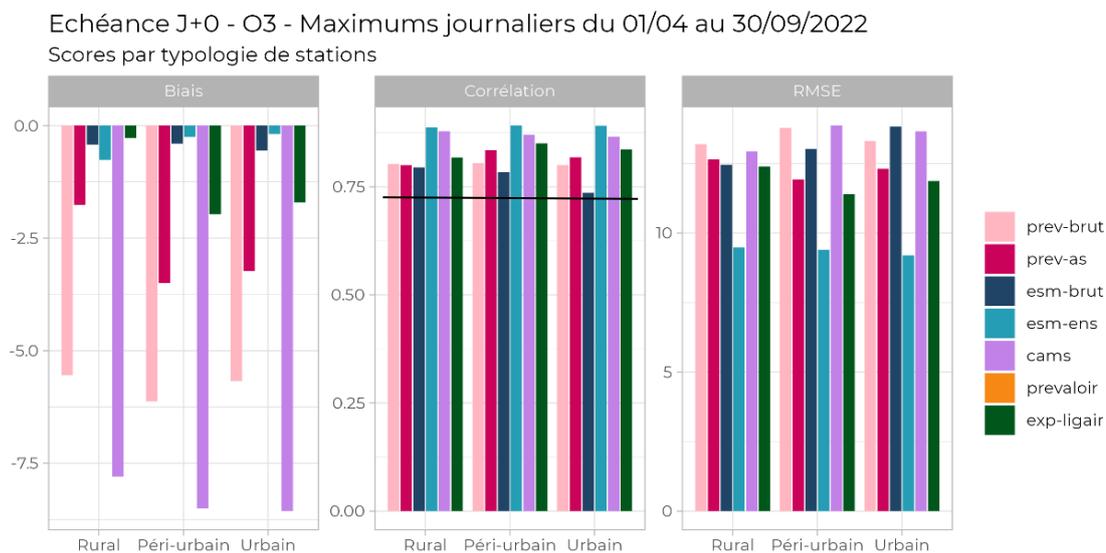


Figure 6 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+0 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022
Scores par plage de concentrations

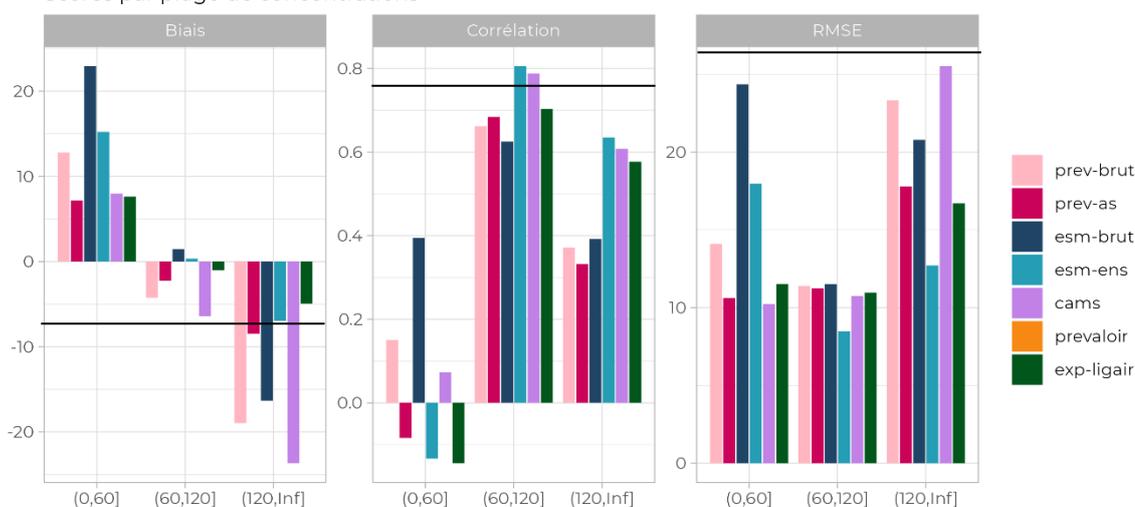


Figure 7 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Les principaux résultats issus des figures 5, 6 et 7 sont :

- A l'échéance J0, à l'exception du département du Loir-et-Cher pour lequel le modèle CAMS présente un biais supérieur à $-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'ensemble des modèles respectent les objectifs qualité pour l'O₃ sur le biais (inférieur à $+10/-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et sur la RMSE (inférieure à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire.
- Cependant, que ce soit pour le biais, la RMSE et la corrélation, le modèle de prévision d'ensemble ESM-ENS présente les meilleurs scores avec une corrélation de l'ordre de 0,85 pour les 6 départements (figure 5) et un biais très faible inférieur à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Les scores sont relativement homogènes entre les différentes typologies de stations avec comme précédemment de meilleurs scores pour les modèles d'ensemble ESM-ENS (figure 6).
- Des performances « en U » selon les gammes de concentrations (observées), c'est-à-dire que les valeurs intermédiaires (entre 60 et $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont les mieux prévues, tandis que les performances des valeurs basses (inférieures à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ou hautes (supérieures à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont dégradées (figure 7).
- D'une manière générale, l'expertise menée par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent des scores légèrement inférieurs par rapport à ceux calculés pour le modèle d'ensemble ESM-ENS mais présentent de meilleurs scores par rapport aux autres modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) et d'adaptation statistique (PREV-AS).

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 à l'échéance J0. 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 notamment pour les concentrations les plus élevées en O₃ (supérieures à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il est mis en évidence que les concentrations expertisées par le service de prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) n'influencent pas les performances vis-à-vis des modèles de prévisions d'ensemble. Il est important d'indiquer, cependant, que les concentrations supérieures à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rencontrées au cours de l'année 2022 ne représentant que 7,7% des données totales (tableau 5)

et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations sont comprises entre 60 et 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ représentant près de la quasi-totalité des données avec 91,2%.

Moins de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entre 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Plus de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1,1%	91,2%	7,7%

Tableau 5 : O₃ – Proportion de valeurs utilisées pour le calcul de scores de chaque gamme de concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

La **figure 8** présente ces scores sur les jours de prévision J0, J1, J2, correspondant respectivement au jour courant, au lendemain et au surlendemain.

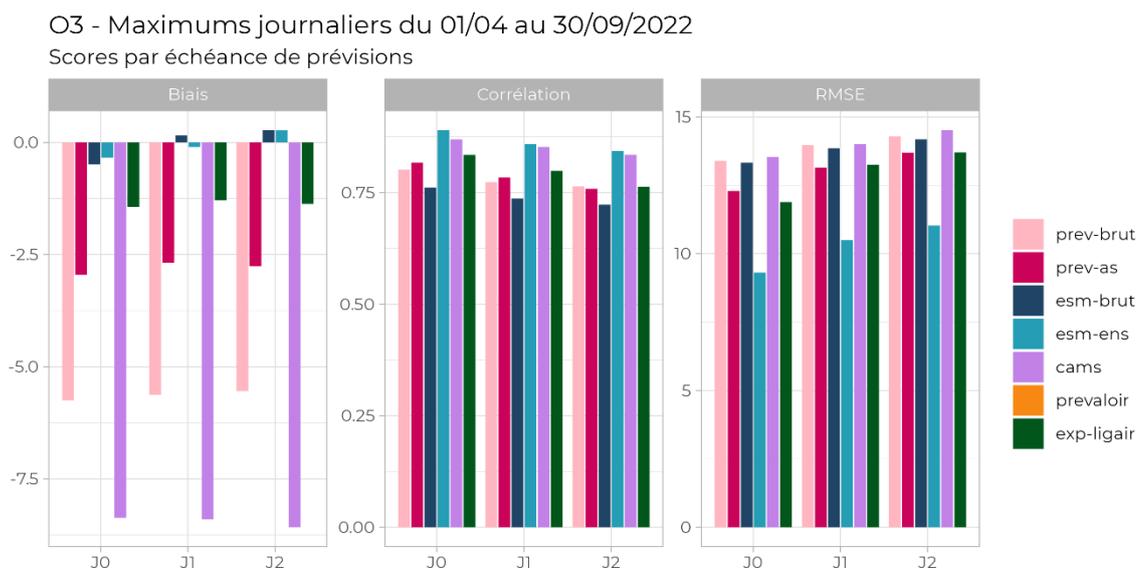


Figure 8 : O₃ – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

La **figure 8** 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 0,90 à 0,86 entre J0 et J1 puis de 0,86 à 0,84 entre J1 et J2. A l'inverse, la corrélation du modèle ESM-BRUT passe de 0,76 à 0,74 entre J0 et J1 puis de 0,74 à 0,72 entre J1 et J2

L'expertise conduite par Lig'Air présente des scores très similaires à ceux du modèle d'adaptation statistique PREV-AS pour les 3 échéances.

Quelque 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 2022 un seul épisode de pollution à l'O₃. Cet épisode, très localisé, a concerné 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 15 juin 2022 sur la station de Oysonville situé dans le sud de l'Eure-et-Loir à proximité de la région parisienne. Le 16 juin 2022 la situation s'est légèrement dégradée au nord de la région avec un dépassement du seuil d'information et recommandation sur les stations de Oysonville et de Chartres-Fulbert toujours dans le département de l'Eure-et-Loir. Les conditions météorologiques, ayant conduit à une canicule intense sur une grande partie 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 – Éléments de table de contingence**.

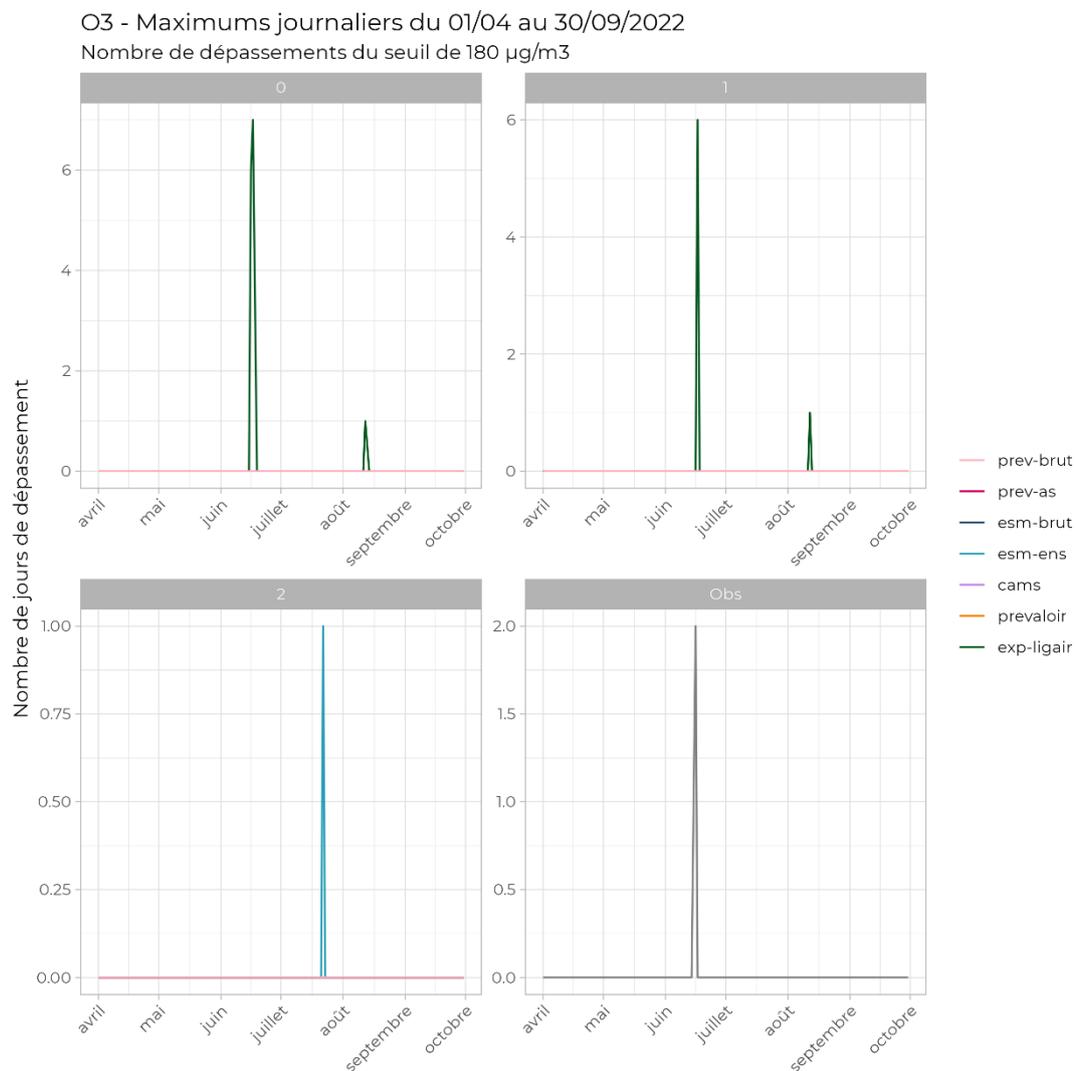


Figure 9 : O₃ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les modèles considérés sur l'échéance J0

O3 - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Table de contingence pour le seuil de 180 µg/m³

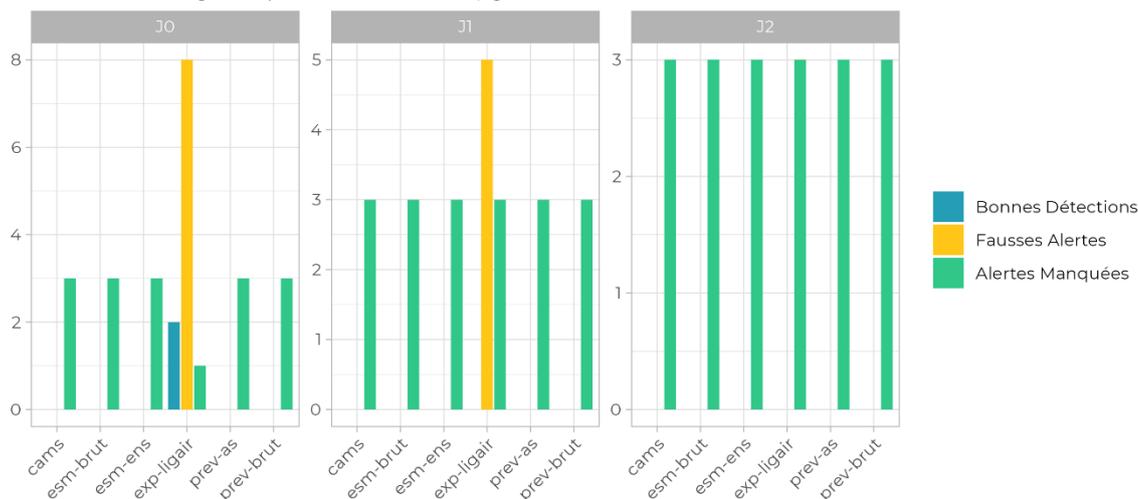


Figure 10 : O₃ – Table de contingence pour 2022 à l'échéance J0 pour le seuil d'information et de recommandation (180 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert

O3 - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Diagramme de performance

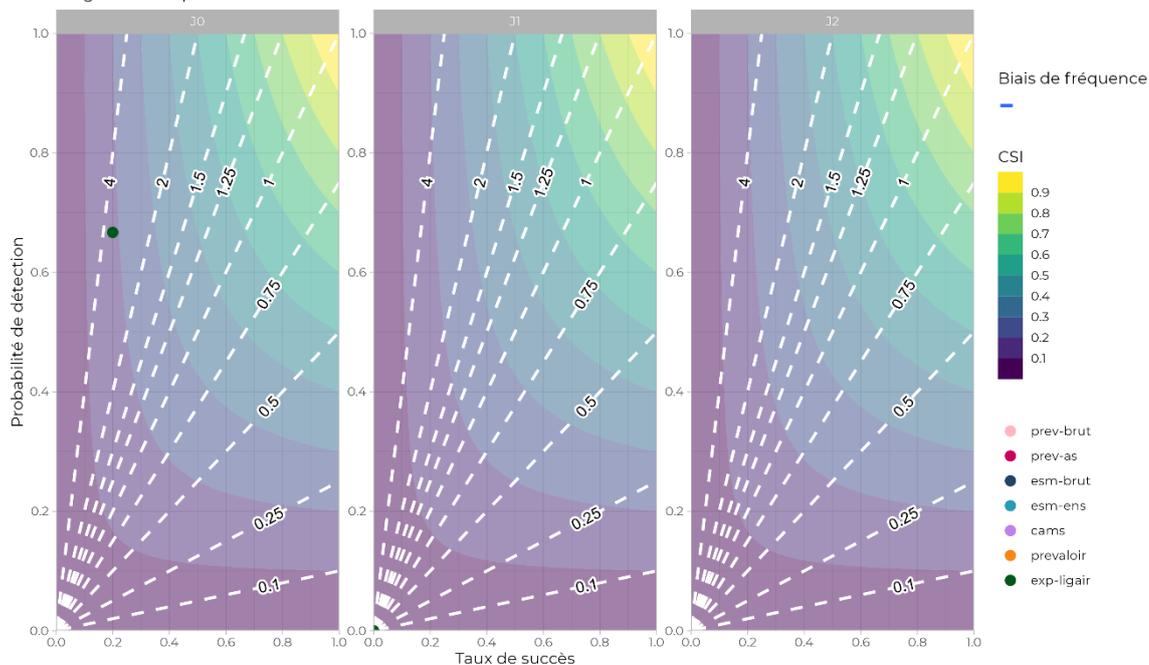


Figure 11 : O₃ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2022 pour l'échéance J0

Ces figures 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 2022. Tous les autres modèles n'ont pu détecter le dépassement du seuil d'information et de recommandation. Malgré un nombre de fausses alertes élevées expliquées 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), 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 0,67 et une probabilité de détection de 0,2).

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

Sur les cartographies de la **figure 12** 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 2022 (matérialisé par les points noirs sur les cartographies) comme indiqué dans la partie **II.1.b** avec le détail des critères surfaciques (en km²) et d'exposition de population par département (nombre d'habitants et en pourcentage).

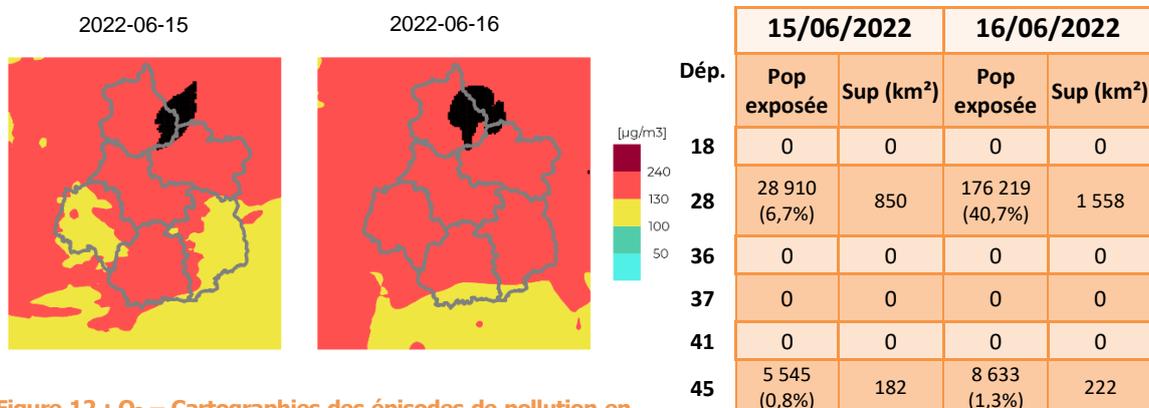


Figure 12 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution en mode analysé avec critères surfaciques et d'exposition de population (en noir les grilles de dépassement du 180 µg/m³)

Les cartographies des **figures 13 et 14** 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 2022 avec le détail des critères surfaciques et d'exposition de population (nombre d'habitants et en pourcentage).

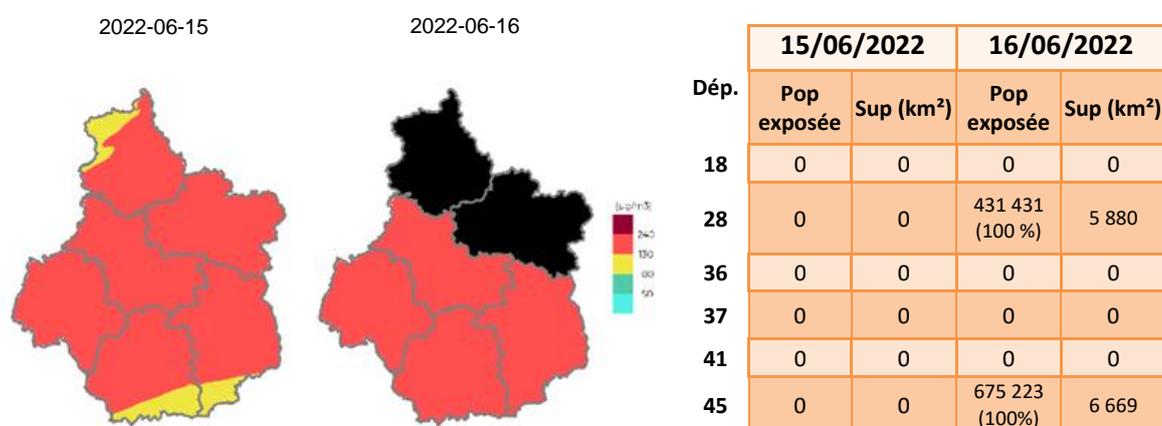


Figure 13 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le lendemain (à l'échéance J0) avec critères surfaciques et d'exposition de population (en noir les départements en dépassement)

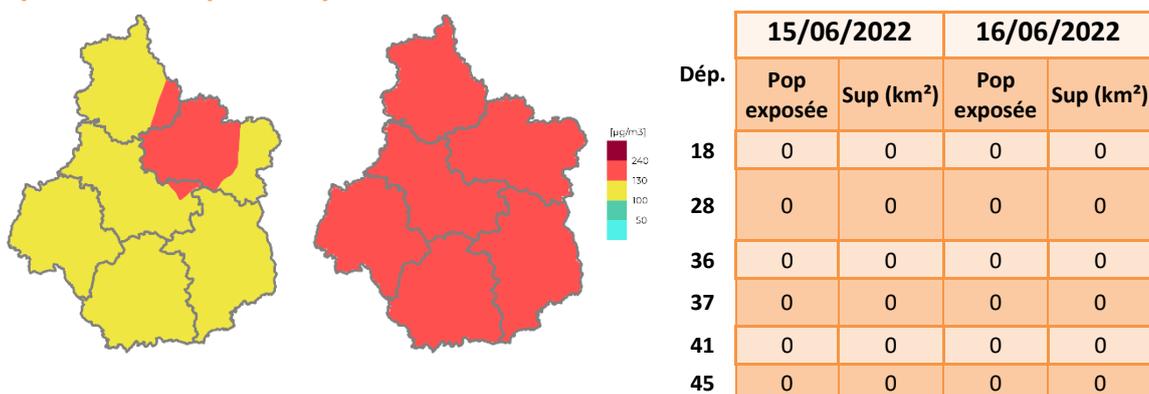


Figure 14 : O₃ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le lendemain (à l'échéance J1) avec critères surfaciques et d'exposition de population

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 13 et 14) 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 12).

En comparant l'ensemble de ces résultats, l'analyse confirme le comportement décrit dans le paragraphe précédent, avec un nombre total de 3 détections manquées à l'échéance J0 (EXPLIGAIR), pour les journées du 15 juin 2022 et du 16 juin 2022 concernant les départements de l'Eure-et-Loir et du Loiret qui ont été impactés par un dépassement très localisé du seuil d'information et de recommandation (matérialisé par les points noirs sur les cartographies). A l'inverse, pour la journée du 16 juin 2022, l'expertise a permis de bien identifier les départements qui ont été sujets à un dépassement du seuil d'information et de recommandation et de lancer les procédures préfectorales associées (départements de l'Eure-et-Loir et du Loiret).

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.

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.

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.

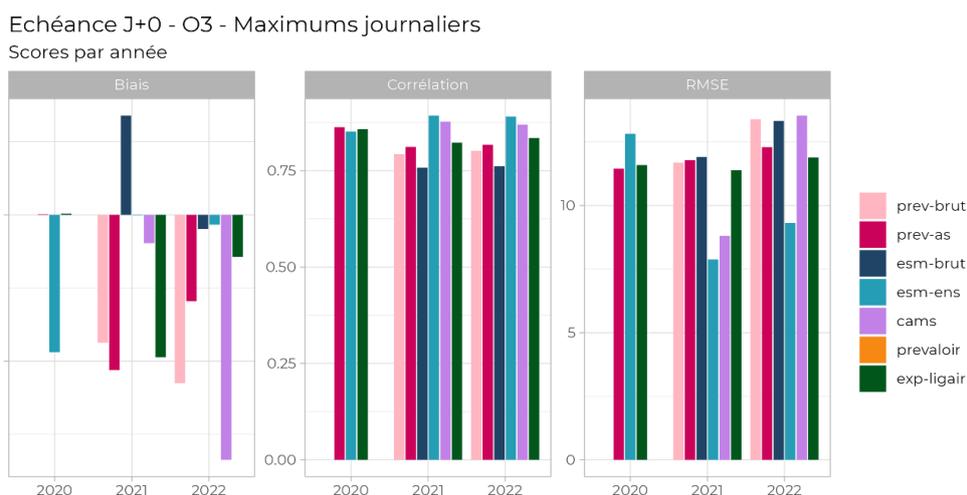


Figure 15 : O₃ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés

La figure 15 met en évidence que :

- Les modèles bruts PREV-BRUT et ESM-BRUT fournissent en 2021 et en 2022 les scores les plus faibles. 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. Le modèle CAMS a donc pu bien prévoir ces concentrations peu élevées en 2021 contrairement en 2022 où la fréquence d'apparition de fortes concentrations en O₃ a été plus importante.

- D'une manière générale, le modèle ESM-ENS et l'expertise conduite par Lig'Air (EXP-LIGAIR) 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 1er janvier au 31 décembre 2022. 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 16).

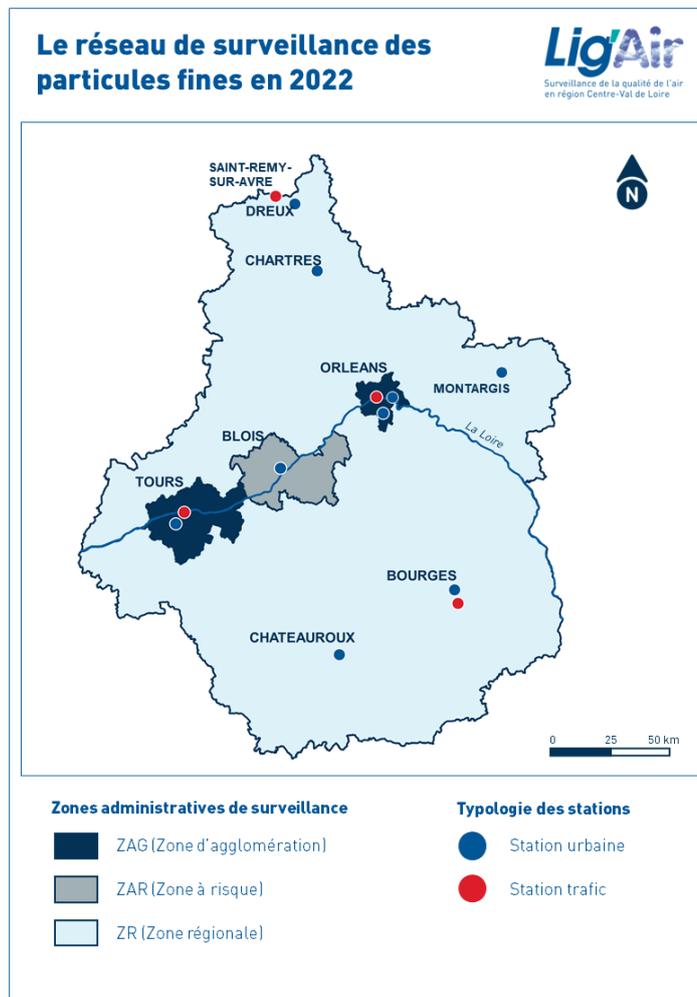


Figure 16 : PM₁₀ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air en 2022

e) Performances du modèle

Les **figures 17, 18 et 19** 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 le jour de prévision J0. La présentation de ces scores pour les jours de prévision J1 et J2 est situé en **annexe 4**.

La **figure 17** montre 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 13 stations de la région.

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par zone géographique

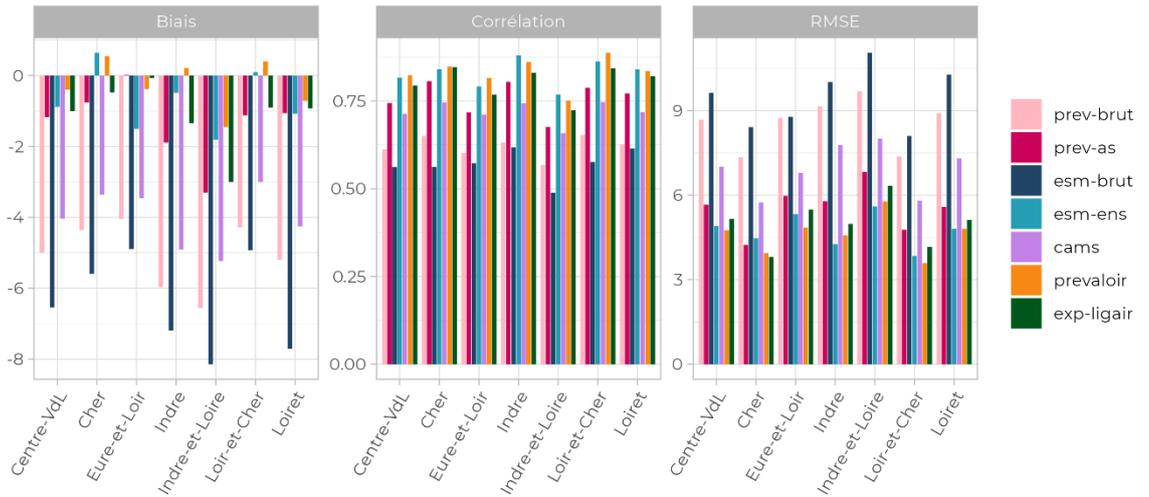


Figure 17 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par typologie de stations

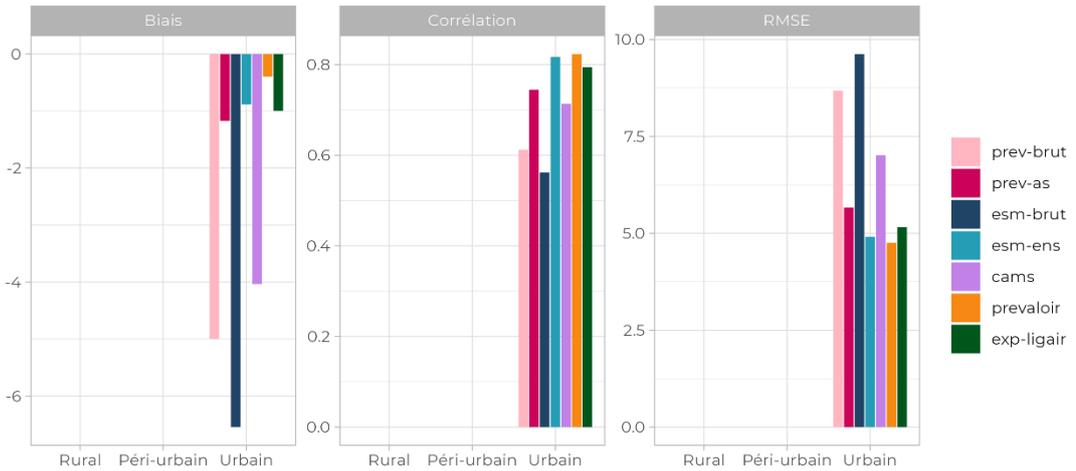


Figure 18 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Echéance J+0 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par plage de concentrations

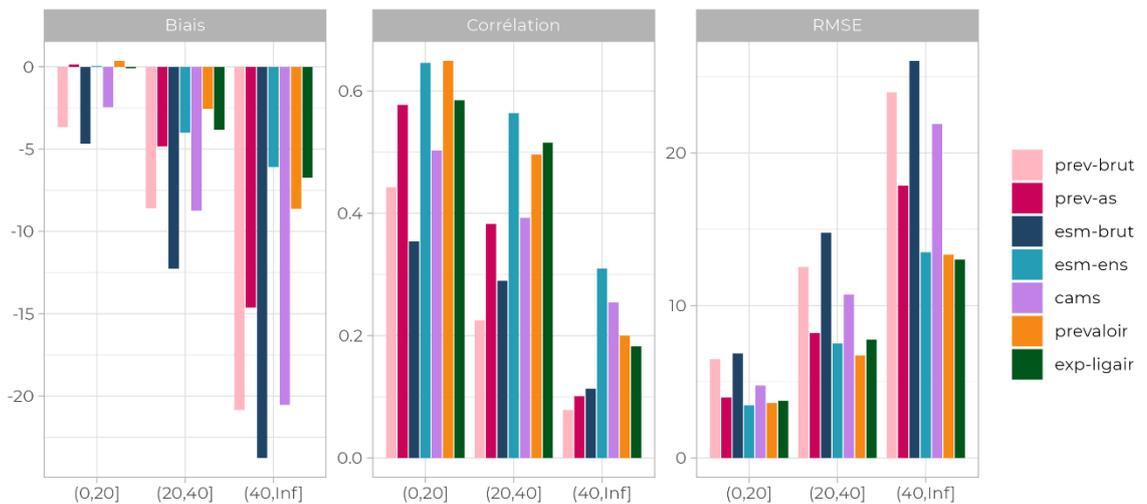


Figure 19 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Les principaux résultats issus des **figures 17, 18 et 19** sont :

- A l'échéance J0, à l'exception des modèles bruts ESM-BRUT et PREV-BRUT qui rencontrent, pour certains départements, davantage de difficultés à atteindre le seuil de 0,6 (**figure 17**), les autres modèles respectent les objectifs qualité pour les PM₁₀ sur le biais (inférieur à +7,5/-7,5 µg/m³) et sur la RMSE (inférieure à 15 µg/m³) pour l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire
- L'ensemble des stations de mesures des PM₁₀ du réseau de Lig'Air ne concerne que la typologie urbaine. Ainsi, les observations faites précédemment sur les scores par départements sont identiques pour la **figure 18**.
- Les scores sont relativement satisfaisants sur les faibles concentrations (inférieures à 20 µg/m³) à l'exception des modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) pour la corrélation. Ces scores se dégradent cependant pour les concentrations plus élevées (**figure 19**).
- D'une manière générale, comme en 2021, les modèles ESM-ENS et PREVALOIR (adaptation statistique locale développée par Lig'Air) ainsi que l'expertise menée par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent quant à eux les meilleurs scores quelque soient les départements (**figure 17**) et surtout pour les gammes de concentrations les plus élevées (supérieures à 40 µg/m³) (**figure 19**).

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.

L'adaptation statistique (PREV-AS) et la prévision d'ensemble ESM-ENS, quant à elles, apportent une amélioration dans les performances des prévisions apportant des scores meilleurs.

Il est mis en évidence également sur l'ensemble des **figures 17 à 19** 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 40 µg/m³).

Enfin, l'expertise réalisée quotidiennement par les membres du service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) obtient des scores proches de ceux issus de PREVALOIR et ESM-ENS en particulier pour la prévision des concentrations supérieures à 40 µg/m³ (**figure 19**).

Il est important de noter, cependant, que les concentrations supérieures à 40 µg/m³ rencontrées au cours de l'année 2022 ne représentant que 0,8% des données totales et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations journalières sont restées inférieures à 20 µg/m³ représentant 86,4% des données totales (**tableau 6**).

Moins de 20 µg/m ³	Entre 20 µg/m ³ et 40 µg/m ³	Plus de 40 µg/m ³
86,4%	12,8%	0,8%

Tableau 6 : PM₁₀ – Proportion de valeurs utilisées pour le calcul de scores de chaque gamme de concentration (µg/m³)

La **figure 20** 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 31/12/2022
Scores par échéance de prévisions

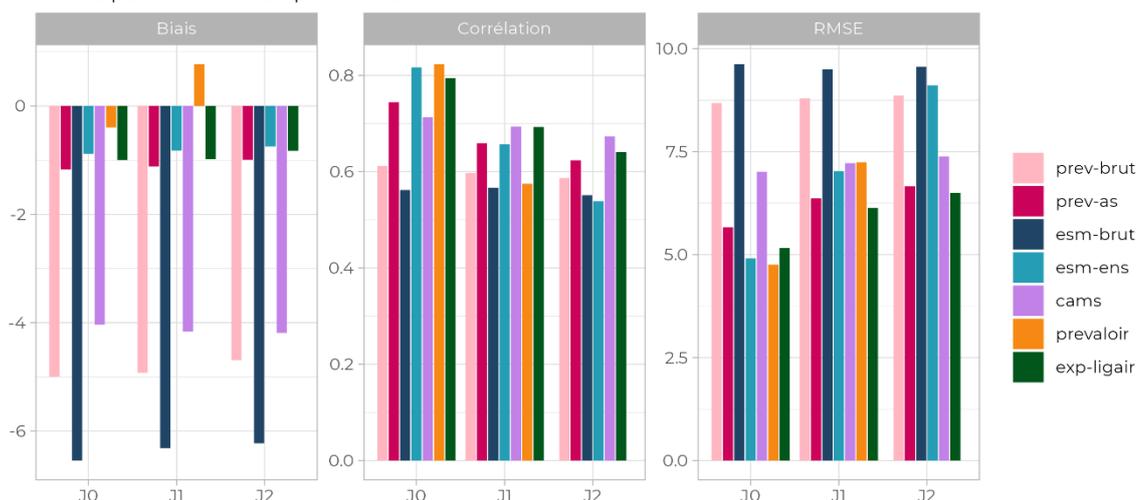


Figure 20 : PM₁₀ – Synthèse des scores de biais, et de corrélation et de RMSE en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

La figure montre que 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 performantes 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 présente des meilleurs scores pour l’échéance J1 avec notamment une corrélation supérieure à 0,6 et une RMSE plus faible vis-à-vis des autres modèles. Pour le modèle PREVALOIR, les scores se dégradent significativement présentant des scores faibles surtout à l’échéance J1 avec une corrélation similaire à celle obtenue avec les modèles bruts. 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 2022 quatre épisodes de pollution aux PM₁₀. Le premier épisode fut relativement localisé et n’a concerné que l’est du département du Loiret et le département de l’Indre le 15 janvier 2022 (dépassement du seuil d’information et de recommandation observé sur la station de Montargis-fond et Châteauroux Sud). Le second épisode, survenu le 16 mars 2022 n’a concerné que le département de l’Indre en engendrant un léger dépassement du seuil d’information et de recommandation sur la station de Châteauroux Sud (épisode de poussières sahariennes). Le troisième épisode fut d’une ampleur plus importante en impactant dans un premier temps le 25 mars 2022 la partie Nord-Est de la région Centre-Val de Loire pour ensuite se généraliser le 26 mars 2022 sur une grande moitié nord de la région avec uniquement des dépassements du seuil d’information et de recommandation sans que le seuil d’alerte ne soit atteint. Enfin, le dernier épisode du 29 mars 2023 fut très localisé en ne concernant que les départements de l’Indre et du Loiret.

Les figures 21 à 23 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 – Éléments de table de contingence**.

PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
 Nombre de dépassements du seuil de 50 µg/m³

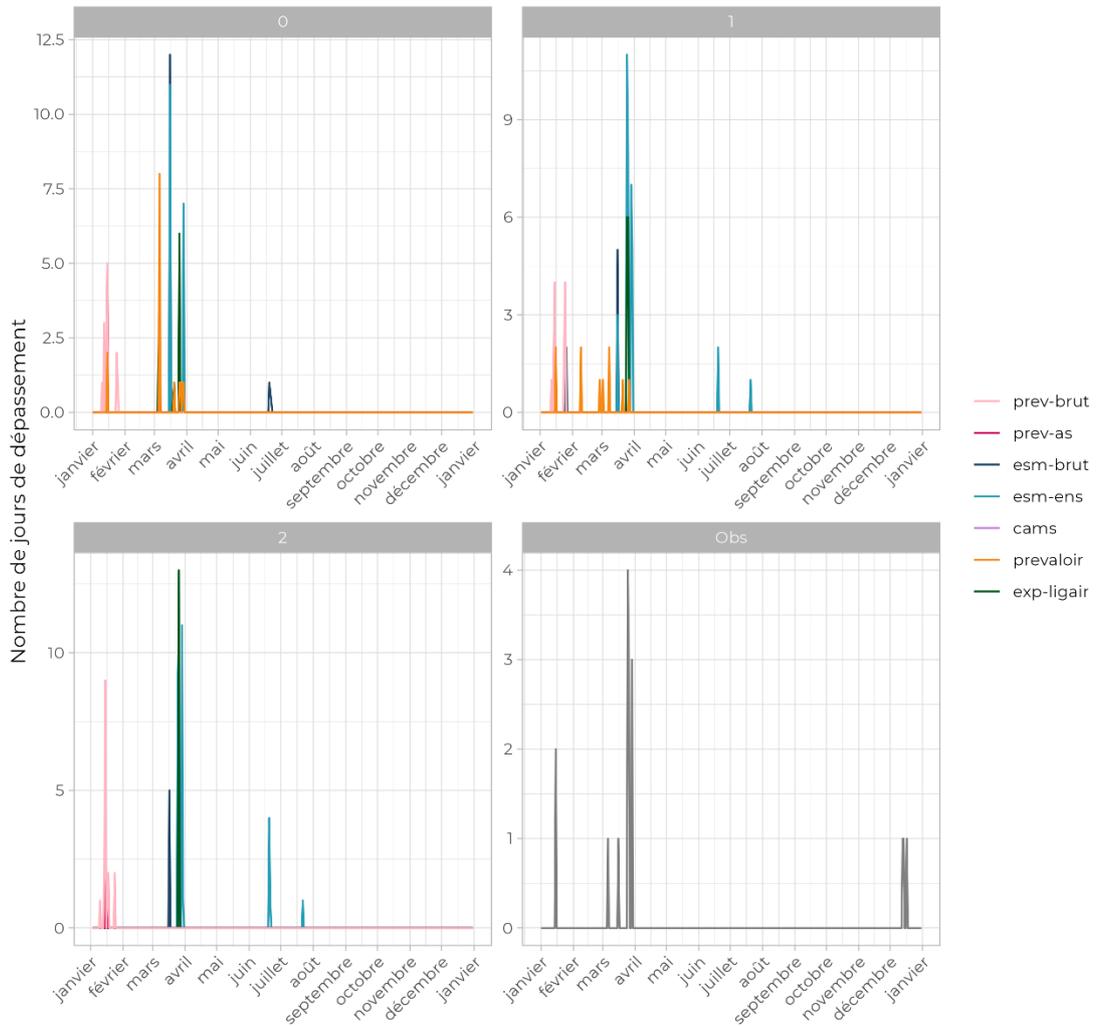


Figure 21 : PM₁₀ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³) pour les modèles considérés sur les échéances J0, J1 et J2

PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
 Table de contingence pour le seuil de 50 µg/m³

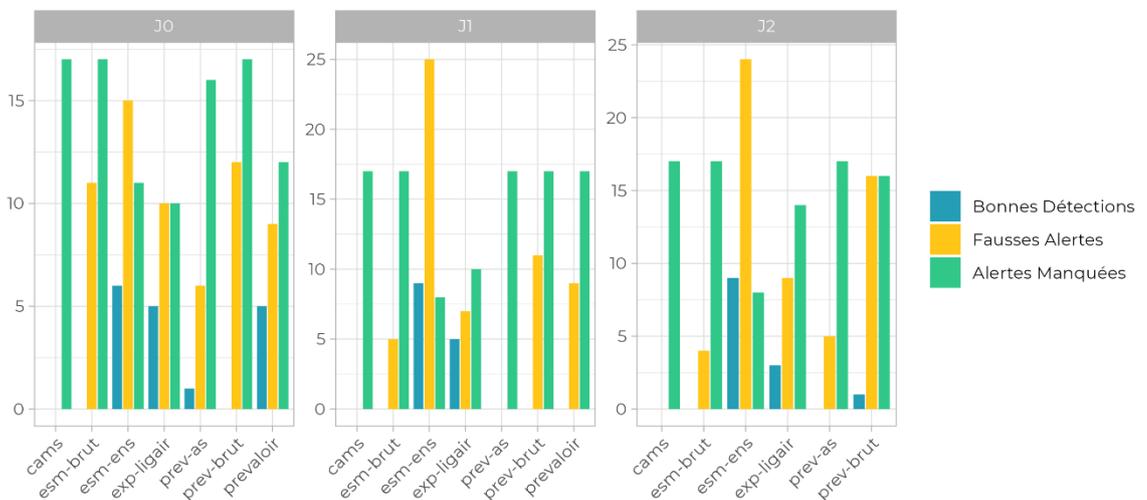


Figure 22 : PM₁₀ – Table de contingence pour 2022 à l'échéance J0 pour le seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert. Gauche : Table de contingence de l'ensemble des modèles pour la région entière.

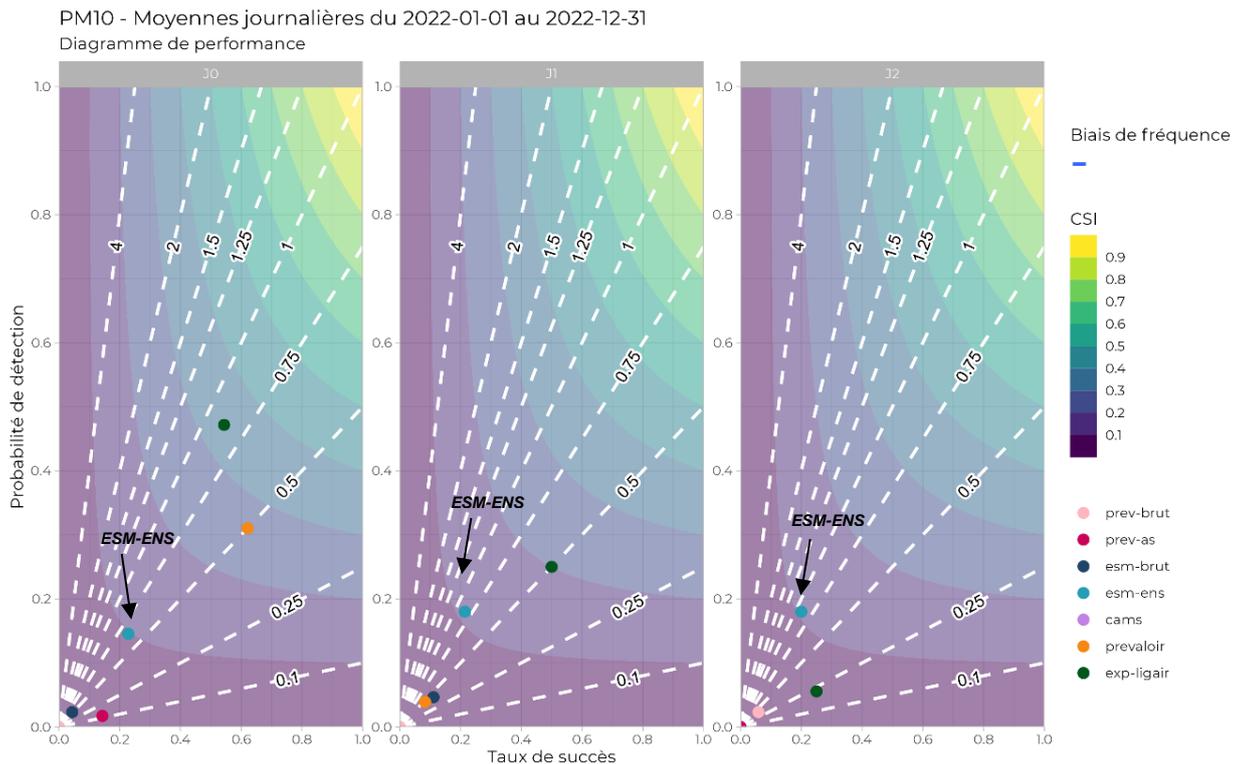


Figure 23 : PM₁₀ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2022 pour l'échéance J0

D'une manière générale, ces figures mettent en évidence des comportements relativement hétérogènes entre les modèles. Parmi ces derniers, à l'échéance J0, seuls les modèles ESM-ENS, PREVALOIR, PREV-AS et l'expertise menée par Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent un nombre de bonnes détections de dépassement du seuil d'information et de recommandation avec un nombre plus élevé pour ESM-ENS avec 6 bonnes détections (soit un taux de succès de 0,3 et une probabilité de détection de 0,8) suivi par EXP-LIGAIR et PREVALOIR fournissant tous les deux 5 bonnes détections (soit un taux de succès de 0,61 et une probabilité de détection de 0,8). Le nombre de bonnes détections est seulement de 1 pour PREV-AS avec un taux de succès de 0,14 et une probabilité de détection de 0,02. A noter que l'expertise de Lig'Air (EXP-LIG'AIR) présente le plus faible nombre d'alertes manquées à l'échéance J0 (figure 22).

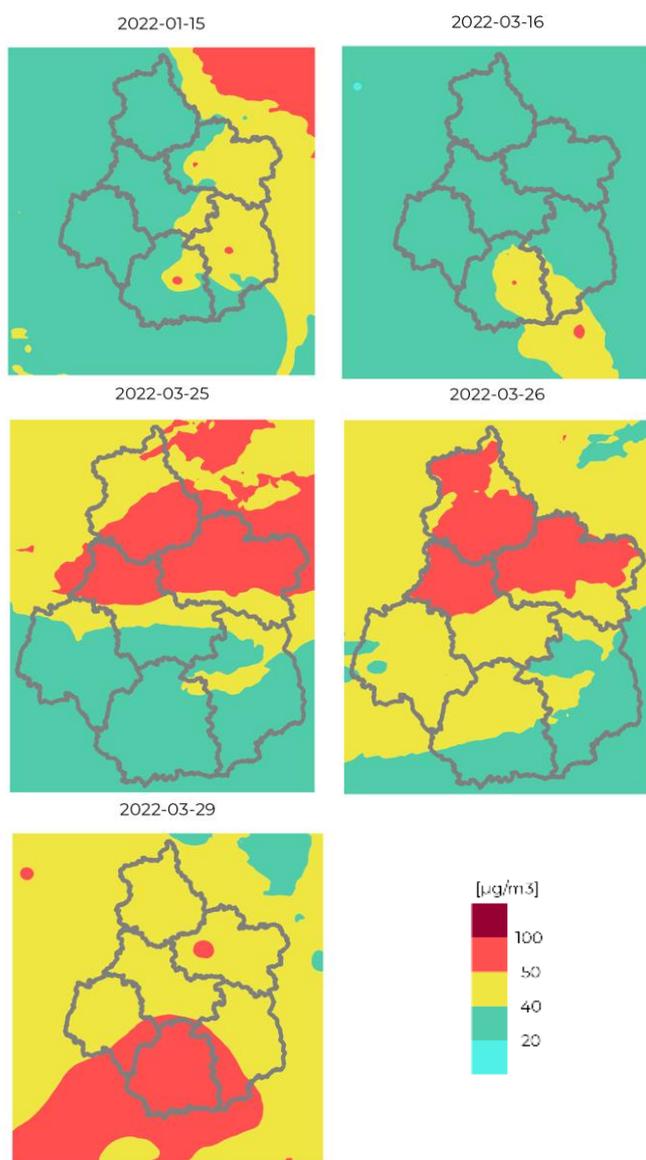
A l'échéance J1, seuls les modèles ESM-ENS et l'expertise menée par Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent un nombre de bonnes détections de dépassement du seuil d'information et de recommandation mais avec un nombre beaucoup plus important de fausses alertes pour ESM-ENS (25 pour ESM-ENS contre 7 pour EXP-LIGAIR). Ces mêmes résultats sont également observés pour l'échéance 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 24 sont illustrées les situations épisodiques en PM₁₀ obtenues et analysées pour les cinq journées concernées par un dépassement du seuil d'information et de

recommandation de 50 µg/m³ en 2022 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.	15/01/2022		16/03/2022		
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	
18	65570 (21%)	57	0	0	
28	0	0	0	0	
36	55514 (24%)	74	42 888 (19%)	20	
37	0	0	0	0	
41	0	0	0	0	
45	48610 (7%)	20	0	0	
		25/03/2022		26/03/2022	
18	0	0	0	0	0
28	274 795 (63%)	3 297	302 632 (69%)	4 871	
36	0	0	0	0	
37	0	7	0	4	
41	92 916 (28%)	2 475	109 504 (33%)	2 647	
45	619 251 (91%)	5 368	601 505 (89%)	4 720	
		29/03/2022			
18	57 963 (19%)	2 035			
28	0	0			
36	223 825 (100%)	6 885			
37	35 358 (6%)	1 473			
41	21 654 (6%)	336			
45	244 242 (36%)	325			

Figure 24 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution en mode analysé avec critères surfaciques et d'exposition de population

Les cartographies des figures 25 et 26 illustrent respectivement les situations épidodiques 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 2022 avec le détail des critères surfaciques et d'exposition de population (nombre d'habitants et en pourcentage).

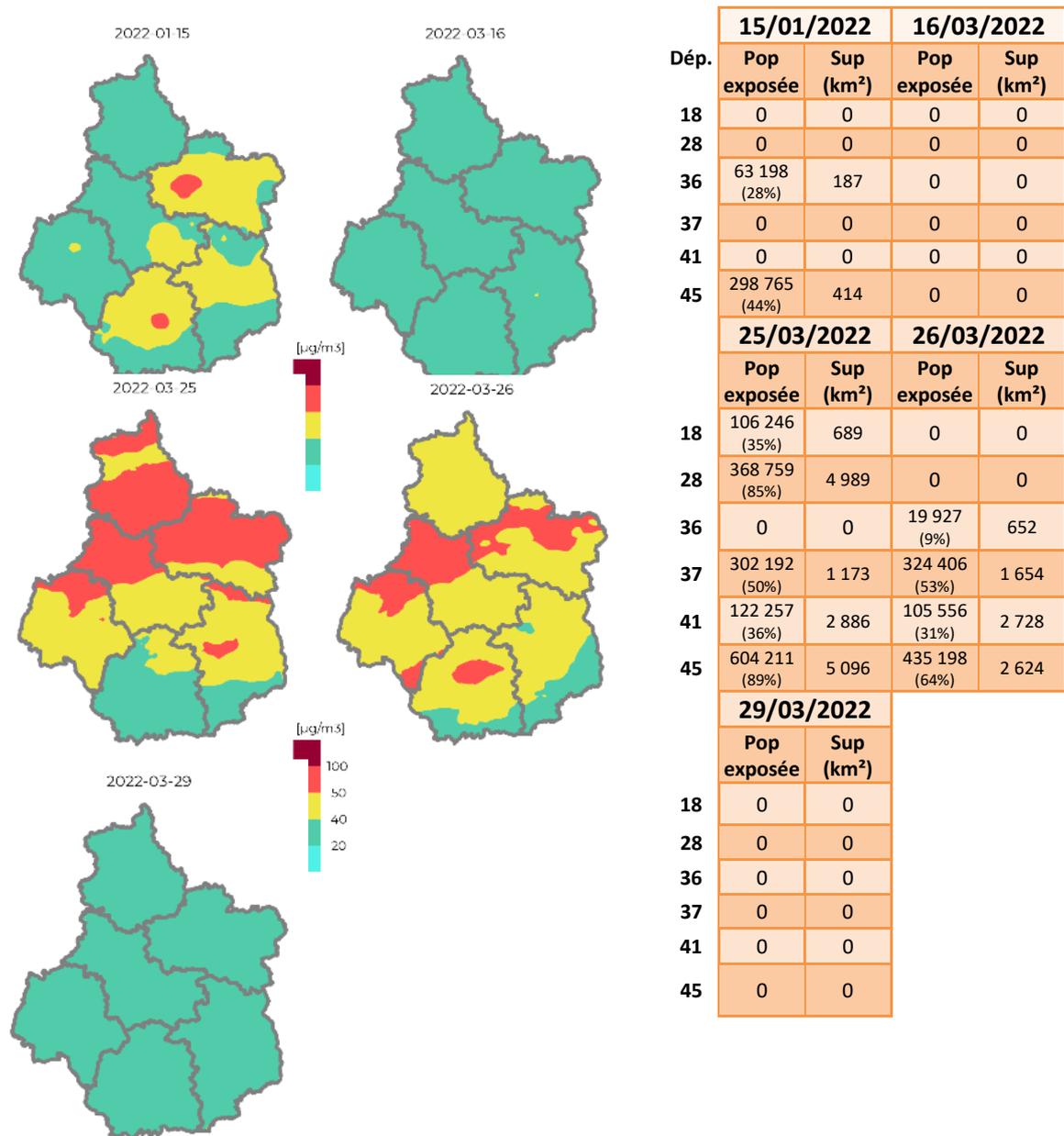
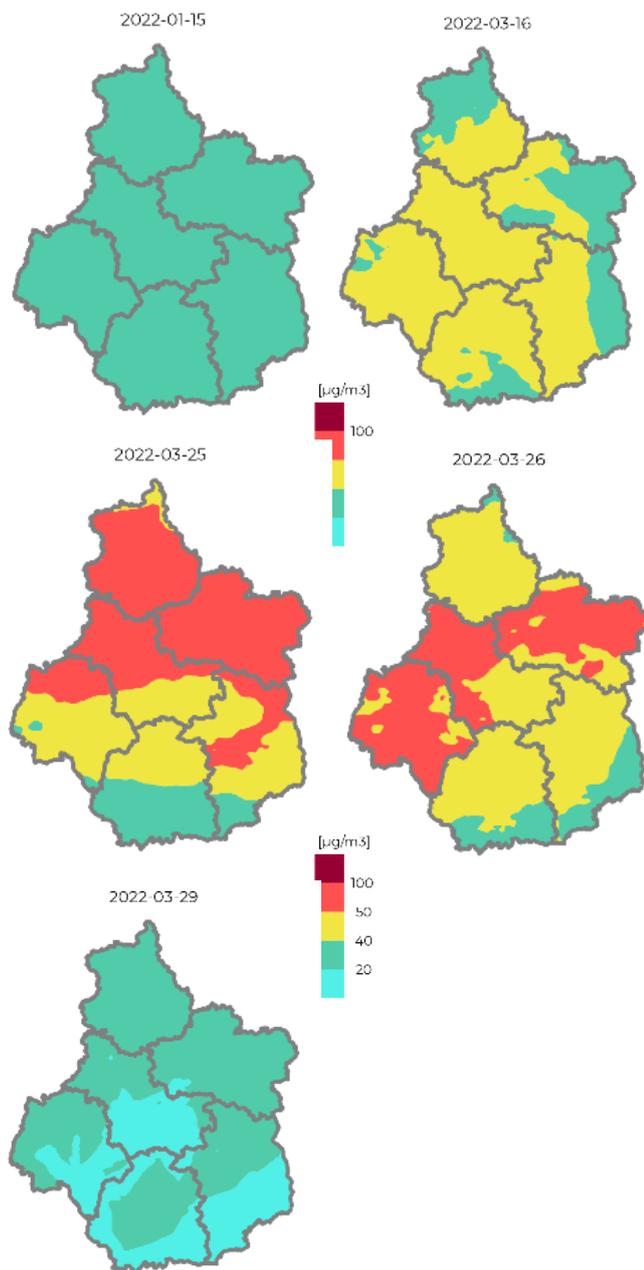


Figure 25 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le jour-même (à l'échéance J0) avec critères surfaciques et d'exposition de population



Dép.	15/01/2022		16/03/2022		
	Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)	
18	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	
36	0	0	0	0	
37	0	0	0	0	
41	0	0	0	0	
45	0	0	0	0	
		25/03/2022		26/03/2022	
		Pop exposée	Sup (km ²)	Pop exposée	Sup (km ²)
18		161 527 (53%)	2159	0	0
28		394 986 (91%)	5572	0	0
36		0	0	0	0
37		285 327 (82%)	1 706	565 995 (93%)	5 179
41		226 048 (68%)	3 961	228 556 (69%)	3 732
45		677 293 (100%)	6 800	620 434 (91%)	4 922
		29/03/2022			
		Pop exposée	Sup (km ²)		
18		0	0		
28		0	0		
36		0	0		
37		0	0		
41		0	0		
45		0	0		

Figure 26 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenus 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 25 et 26) 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 24).

En comparant l'ensemble de ces résultats, l'analyse confirme le comportement décrit dans le paragraphe précédent (figure 22), avec un nombre total de 10 alertes manquées à l'échéance J0 (EXP-LIGAIR), principalement pour les journées du 15 janvier 2022 concernant les départements du Loiret et de l'Indre, du 16 mars 2022 concernant le département de l'Indre avec un dépassement très localisé sur la ville de Châteauroux et du 29 mars 2022 concernant les départements de l'Indre et du Loiret.

Cette analyse met également en évidence de bonnes détections des épisodes sur certains départements en particulier l'épisode ayant impacté une grande partie de la région au cours des journées des 25 et 26 mars 2022.

Cet exercice est intéressant car il permet de mettre en évidence qu'un épisode de pollution peut impacter certaines zones 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. A titre d'exemple, au cours des journées du 29 mars 2022, l'épisode a impacté le département de l'Indre mais également une partie des départements limitrophes, l'Indre-et-Loire et le Cher sans conduire à un dépassement du seuil d'information et de recommandation sur les stations de Tours ou sur les stations situées sur la ville de Bourges (figure 25).

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 survenues au cours des journées du 16 mars 2022 et du 29 mars 2022 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

Au même titre que pour l'O₃, 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.

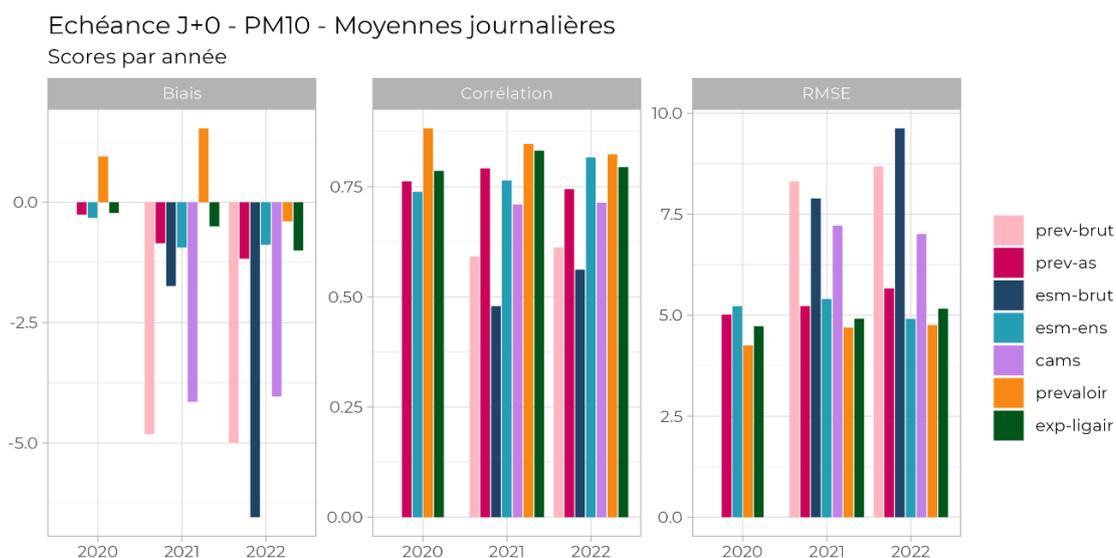


Figure 27 : PM₁₀ – Evolution des scores de RMSE, biais et corrélation depuis 2020 pour les modèles considérés

La figure 27 met 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, le modèle PREVALOIR et l'expertise conduite par Lig'Air (EXP-LIGAIR) donnent les scores les plus satisfaisants quelque 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.

III. 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 récemment 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 2022 a été marquée par deux journées d'épisode de pollution en O₃ sur la région Centre-Val de Loire les 15 et 16 juin 2022 avec des dépassements du seuil d'information et de recommandation de 180 µg/m³ qui se sont cantonnés uniquement au département de l'Eure-et-Loir.

Les résultats montrent que le modèle d'ensemble ESM-ENS présentent de meilleures performances suivis de près par EXP-LIGAIR (expertise Lig'Air). L'adaptation statistique issues de Prev'Air semble données 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) 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 2022.

Pour les PM₁₀, les performances de l'adaptation statistique (PREV-AS) et de la prévision d'ensemble (ESM-ENS et CAMS) sont nettement meilleures que celles des modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) corrigeant grandement la sous-estimation des concentrations faite par ces derniers sans pour autant augmenter la capacité du système à détecter les événements liés aux dépassements des seuils réglementaires.

Cependant, l'expertise conduite par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) a permis d'obtenir un nombre de bonnes détections satisfaisant sur l'ensemble des départements. 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 il y a déjà quelques années. 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 PM₁₀.

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 une première version de l'outil VACARM, des améliorations sont actuellement en train d'être menées 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, mis en place par Lig'Air pour améliorer la prévision des concentrations en PM₁₀ pour le jour même et pour le lendemain, a été étendu à la prévision des concentrations d'ozone au cours de l'année 2022 et à la prévision des PM_{2,5} en 2023. Ainsi, PREVALOIR deviendra un modèle multi-polluants et multi-échéances. La nouvelle version de PREVALOIR intégrera le système de prévision VACARM dans l'objectif d'améliorer la détection des épisodes de pollutions. Une mise à jour de l'apprentissage est également prévue en 2023 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 PM₁₀ et en O₃ qui peuvent impacter de petites zones de la région comme observé en 2022. Des travaux seront engagés par Lig'Air pour mettre en place une prévision d'ensemble sur les données analysées (échéance 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 sont mises à disposition de la population et elles sont intégrées dans le document « porter à connaissance » à travers la plateforme INTERqual'Air (<https://interqualair.ligair.fr/>).

IV. 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 les jours de prévision J1 et J2

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Scores par typologie de stations

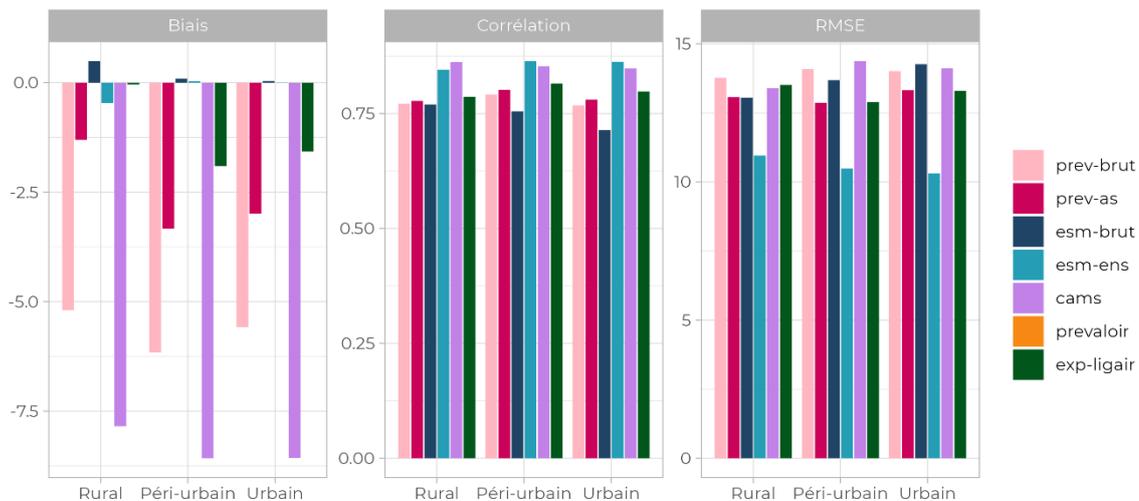


Figure 28 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers

Scores par année

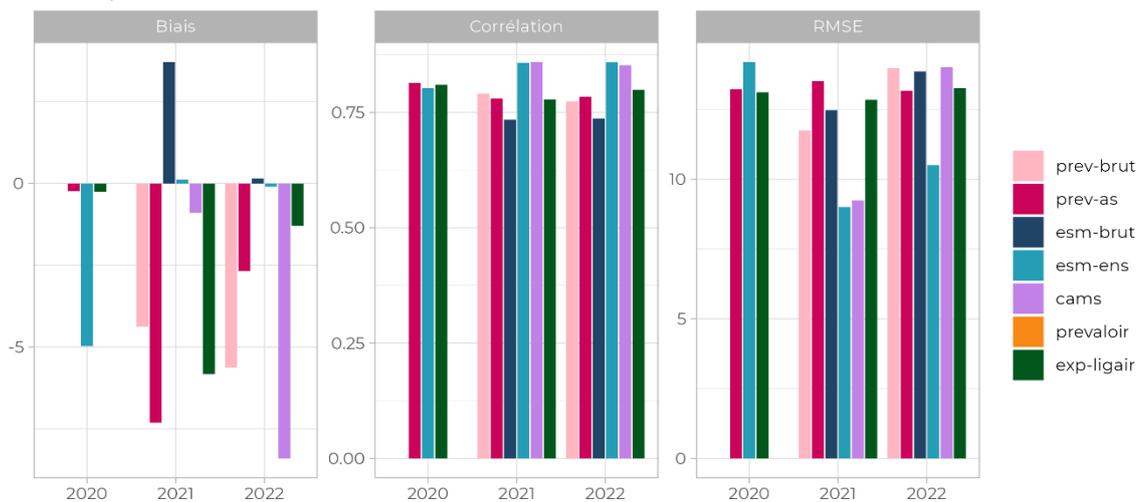


Figure 29 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Scores par zone géographique

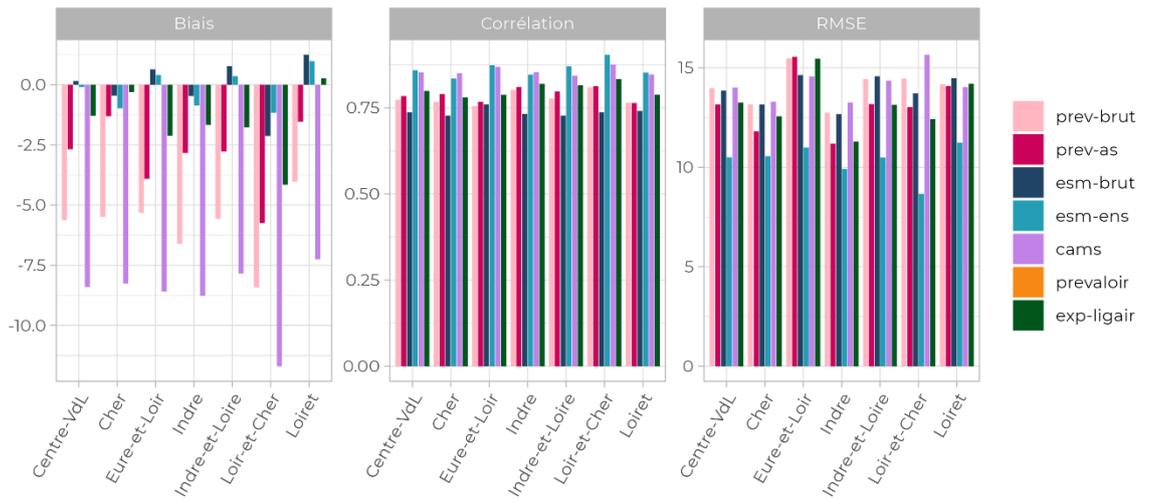


Figure 30 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+2 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Scores par zone géographique

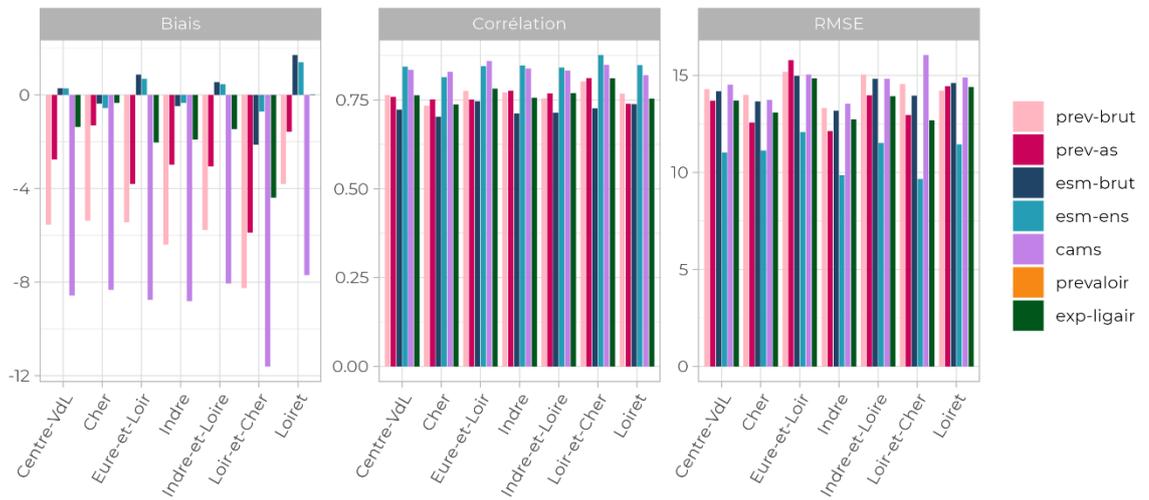


Figure 31 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+1 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022

Scores par plage de concentrations

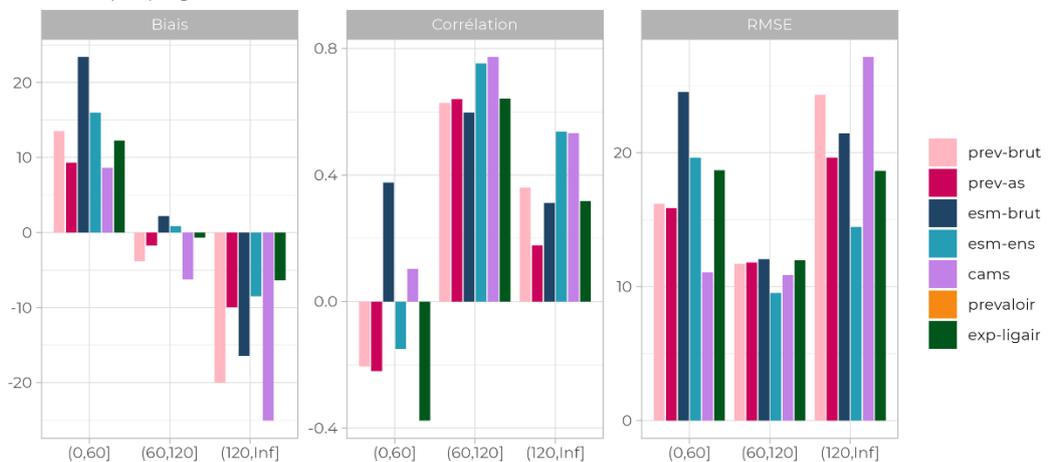


Figure 32 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+2 - O₃ - Maximums journaliers du 01/04 au 30/09/2022
Scores par plage de concentrations

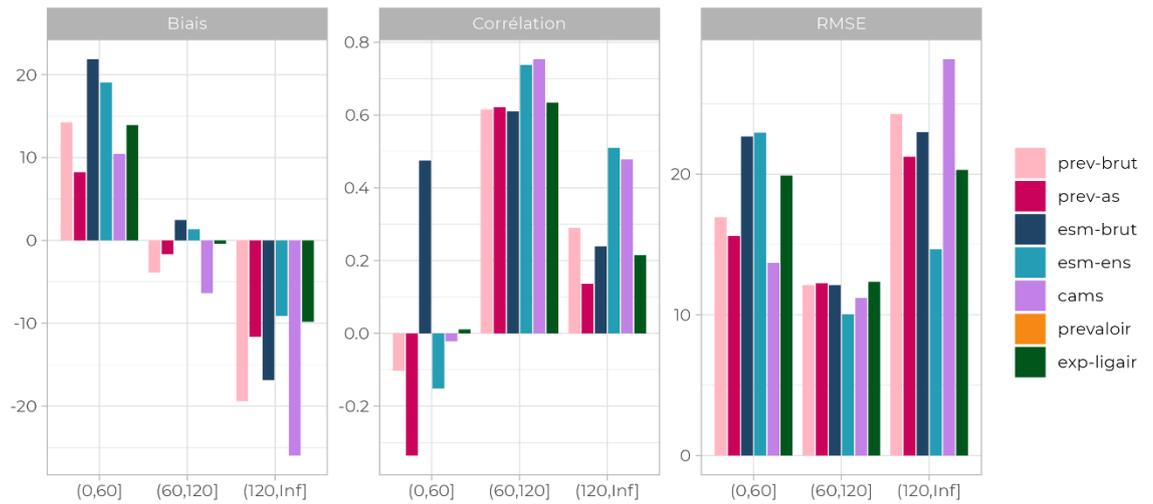


Figure 33 : O₃ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

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 les jours de prévision J1 et J2

Echéance J+1 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par typologie de stations

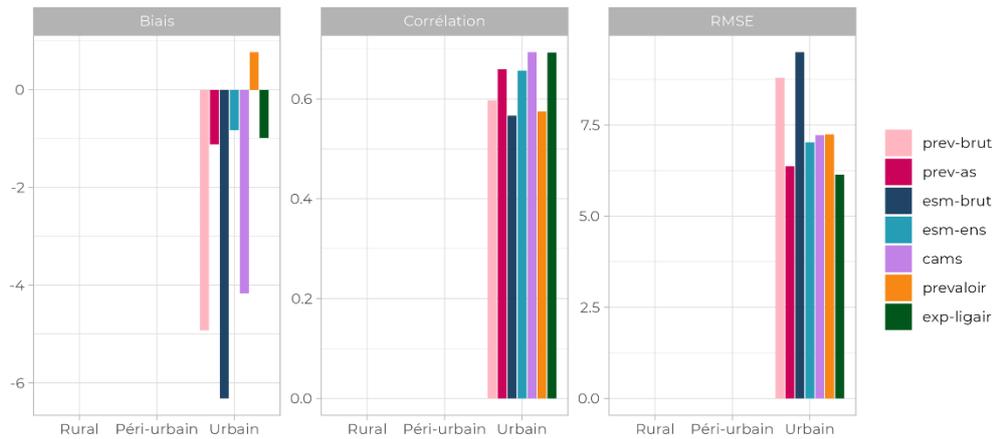


Figure 34 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+2 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par typologie de stations

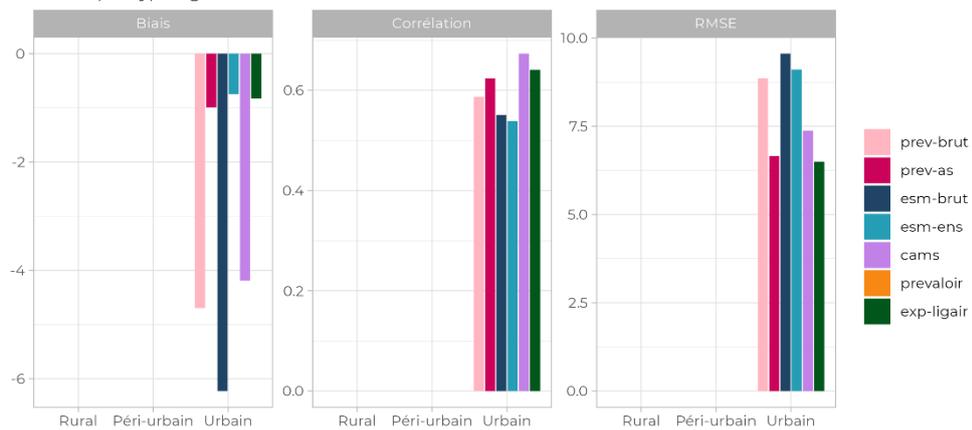


Figure 35 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+1 - PM₁₀ - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par zone géographique

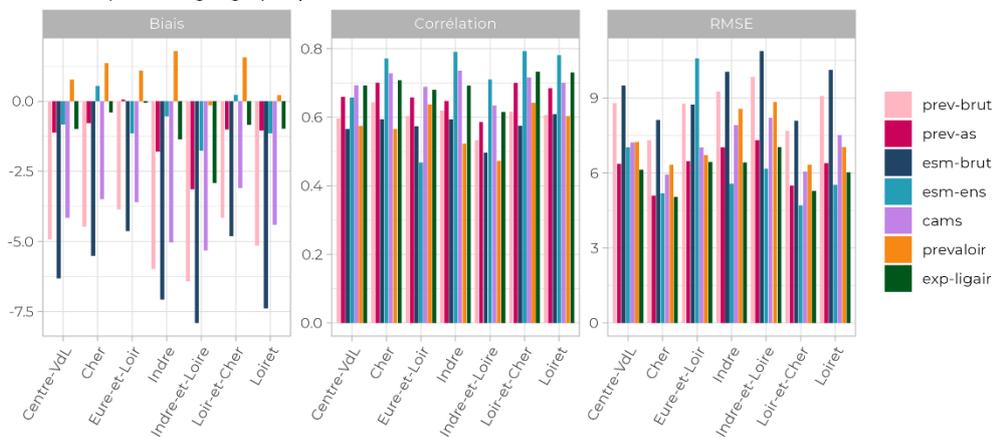


Figure 36 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+2 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par zone géographique

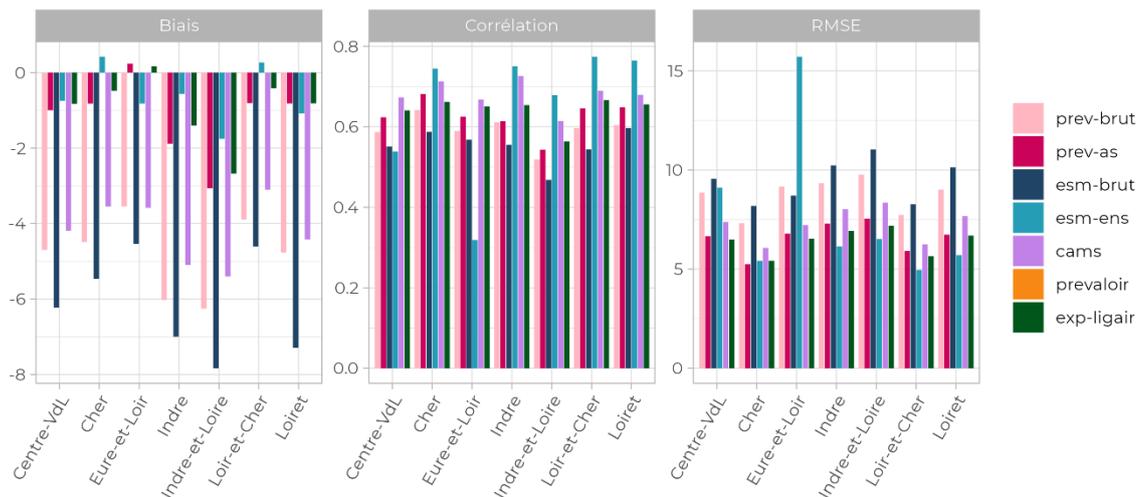


Figure 37 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

Echéance J+1 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par plage de concentrations

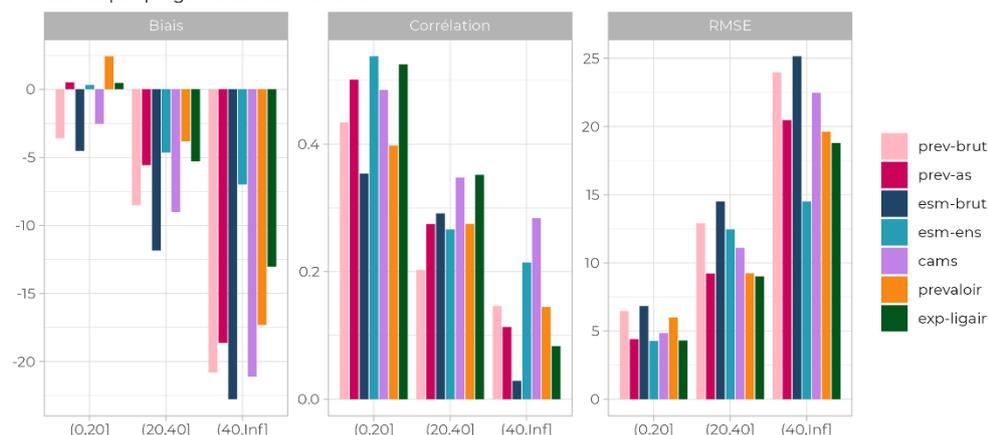


Figure 38 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

Echéance J+2 - PM10 - Moyennes journalières du 01/01 au 31/12/2022
Scores par plage de concentrations

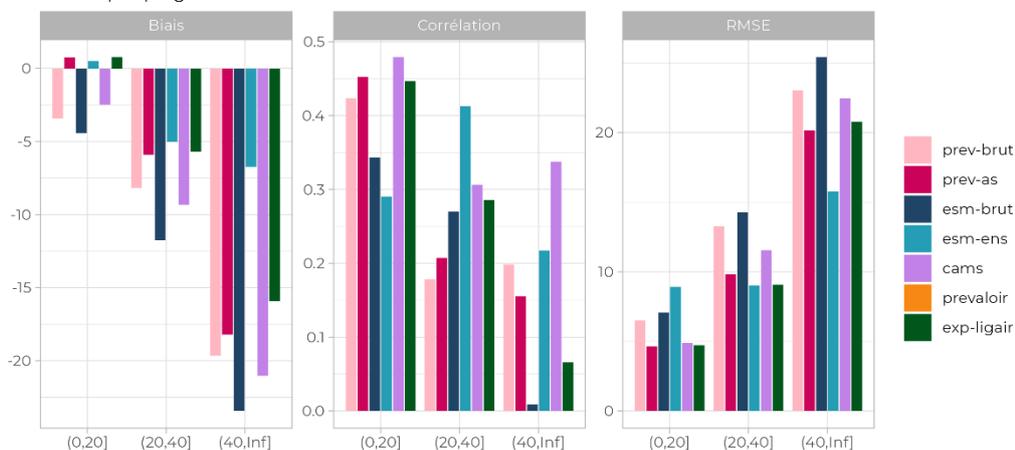


Figure 39 : PM₁₀ - Scores de biais, de corrélation et de RMSE par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2