



Rapport de performances du système de prévision de Lig'Air

Année 2021

Juin 2022



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 | 17 |
| 2) Prévisions des particules en suspension PM ₁₀ | 18 |
| a) Performances du modèle | 19 |
| b) Performances par rapport aux seuils réglementaires | 21 |
| c) Performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence | 23 |
| d) Evolution des performances des prévisions | 25 |
| III. Conclusions et Perspectives | 26 |
| IV. Annexes | 28 |
| 1) Annexe 1 : Scores statistiques classiques | 28 |
| 2) Annexe 2 : Scores statistiques pour l'O ₃ pour les jours de prévision J1 et J2 | 29 |
| 3) Annexe 3 : Eléments de tableau de contingence | 31 |
| 4) Annexe 4 : Scores statistiques pour les PM ₁₀ pour les jours de prévision J1 et J2 | 32 |

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 2021..... | 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 | 13 |
| 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..... | 16 |
| FIGURE 11 : O ₃ - DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2021 POUR L'ECHEANCE J0 | 16 |
| FIGURE 12 : PM ₁₀ - CARTE DE REPARTITION DES STATIONS DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LIG'AIR..... | 18 |
| FIGURE 13 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0 | 19 |
| 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..... | 19 |
| FIGURE 15 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J0 | 19 |
| 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 | 21 |
| 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..... | 22 |
| 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..... | 22 |
| FIGURE 19 : PM ₁₀ - DIAGRAMME DE PERFORMANCE DES MODELES CONSIDERES POUR 2021 POUR L'ECHEANCE J0 | 22 |
| FIGURE 20 : PM ₁₀ - CARTOGRAPHIES DES EPISODES DE POLLUTION EN MODE ANALYSE AVEC CRITERES SURFACIQUES ET D'EXPOSITION DE POPULATION | 23 |
| 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 | 24 |
| 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 | 24 |
| 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..... | 29 |
| 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..... | 29 |
| FIGURE 25 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1 | 29 |
| FIGURE 26 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2 | 30 |
| FIGURE 27 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1 | 30 |

| | |
|--|----|
| FIGURE 28 : O ₃ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2 | 30 |
| 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 | 32 |
| 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 | 32 |
| FIGURE 31 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1 | 32 |
| FIGURE 32 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION EN FONCTION DU DEPARTEMENT DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2 | 33 |
| FIGURE 33 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J1 | 33 |
| FIGURE 34 : PM ₁₀ - SCORES DE RMSE, BIAIS ET CORRELATION PAR GAMME DE CONCENTRATION DES PREVISIONS DES MODELES CONSIDERES SUR L'ECHEANCE J2 | 33 |

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) | 14 |
| TABLEAU 6 : PM ₁₀ – PROPORTION DE VALEURS UTILISEES POUR LE CALCUL DE SCORES DE CHAQUE GAMME DE CONCENTRATION (μG/M ³) | 20 |

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).

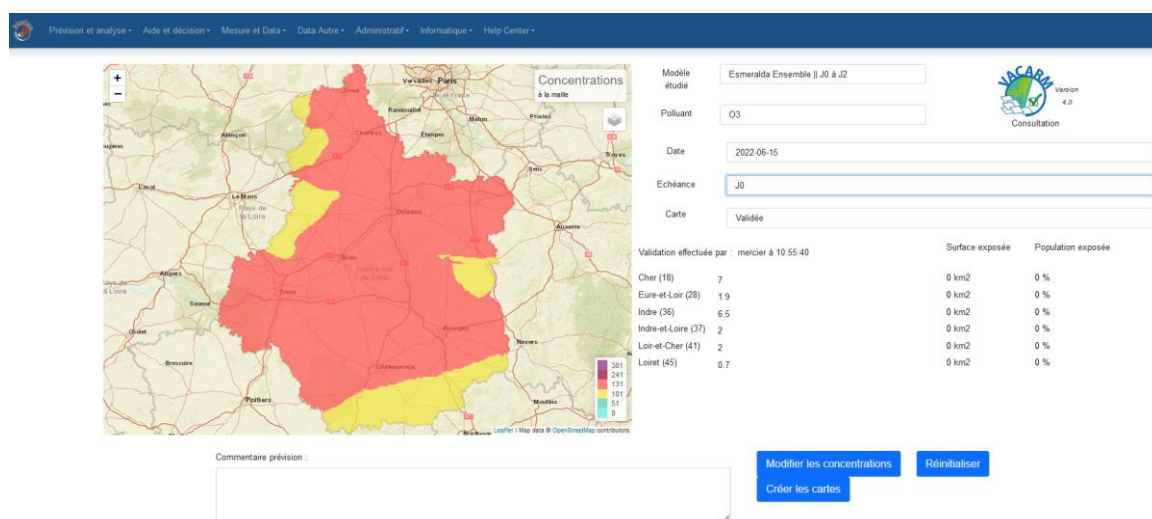


Figure 1 : Présentation de l'outil VACARM de Lig'Air

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 ESMERALDA (<http://www.esmeralda-web.fr/>) d'AIRPARIF. Les fournitures utilisées dans l'évaluation concernent celles de la prévision d'ensemble d'ESMERALDA (nommé **ESM-ENS** dans la suite du rapport) et celles des sorties brutes (nommé **ESM-BRUT** dans la suite du rapport).

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

- 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 COPERNICUS (nommé **CAMS** dans la suite du rapport).
- 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 2021 | 321 jours | 323 jours | 343 jours | 361 jours | 365 jours | 347 jours |

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

3) Bilan du taux d'utilisation des modèles sur 2021

Ce rapport traite de l'évaluation des performances du système de prévision VACARM de Lig'Air pour l'année 2021 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 2021 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 89%-90% pour réaliser la validation des prévisions quotidiennes en fonction de l'échéance considérée. Elles sont suivies de loin par ESM-ENS (environ 5%), PREV-BRUT (4%), PREVALOIR (1%) et CAMS (0,3%). Seules les fournitures ESM-BRUT n'ont pas été utilisées durant l'année 2021 pour la prévision de la qualité de l'air.

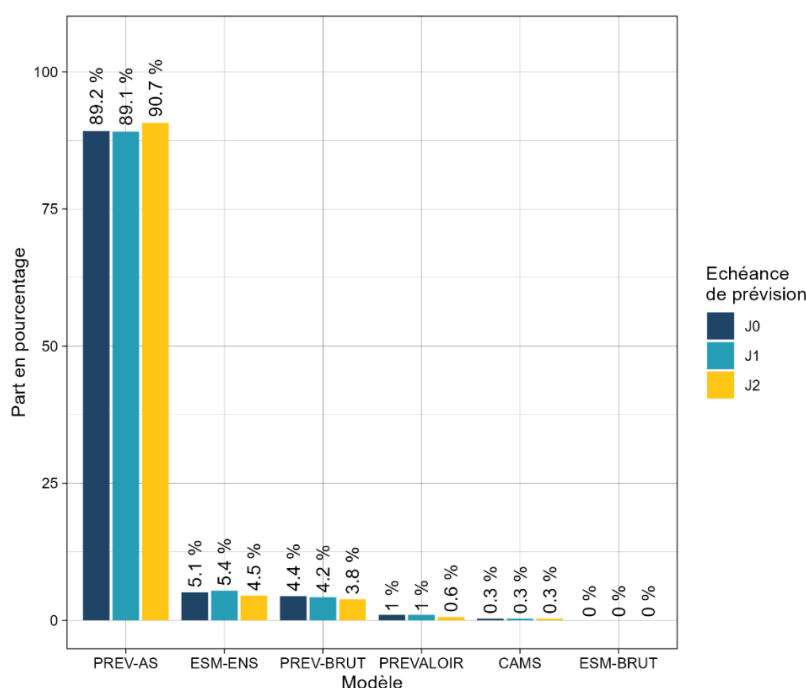


Figure 2 : Taux d'utilisation de chaque modèle dans la prévision quotidienne de Lig'Air en 2021

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, sur 89,2% des données de PREV-AS utilisées pour la validation des prévisions pour l'échéance J0 (**figure 2**), environ 13,8% ont dû être modifiées/ajustées par le service prévision. De même, sur un taux d'utilisation des données de PREV-BRUT en 2021 à hauteur de 4,4% pour l'échéance J0, 10% des concentrations ont dû être corrigées par le service afin de valider les prévisions.

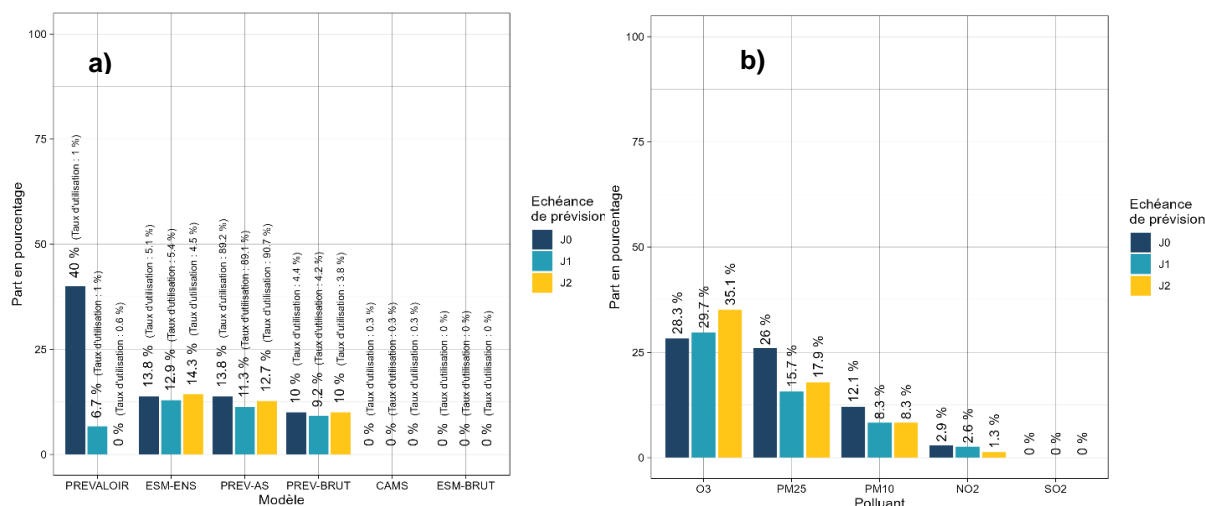


Figure 3 : Part des modifications réalisées par le service prévision sur les données expertisées en fonction du modèle (a) et en fonction des polluants (b)

La figure 3b met également en évidence qu'une partie des ajustements réalisés par le service prévision a concerné l'ozone (de 28,3% à 35,1% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance considérée), suivi par les particules en suspension PM_{2,5} (de 28,3% à 35,1% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance) et par les particules en suspension PM₁₀ (de 12,1% à 8,3% tout modèle confondu et en fonction de l'échéance). Les ajustements réalisés sur le dioxyde d'azote n'ont impacté que 1,3% à 2,9% des données expertisées (en fonction de l'échéance considérée).

Pour PREVALOIR, 40% des prévisions ont été ajustées sur 2021 pour l'échéance J0. Rappelons ici que la version PREVALOIR utilisée en 2021 est dédiée uniquement à l'échéance J0 et J1 et concerne uniquement les PM₁₀. Par conséquent, son utilisation est restée faible (1%) durant cette année. Les modèles multi-polluants et multi-échances ont été privilégiés.

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 2021

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

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>.

- 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.

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 2021. 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**).

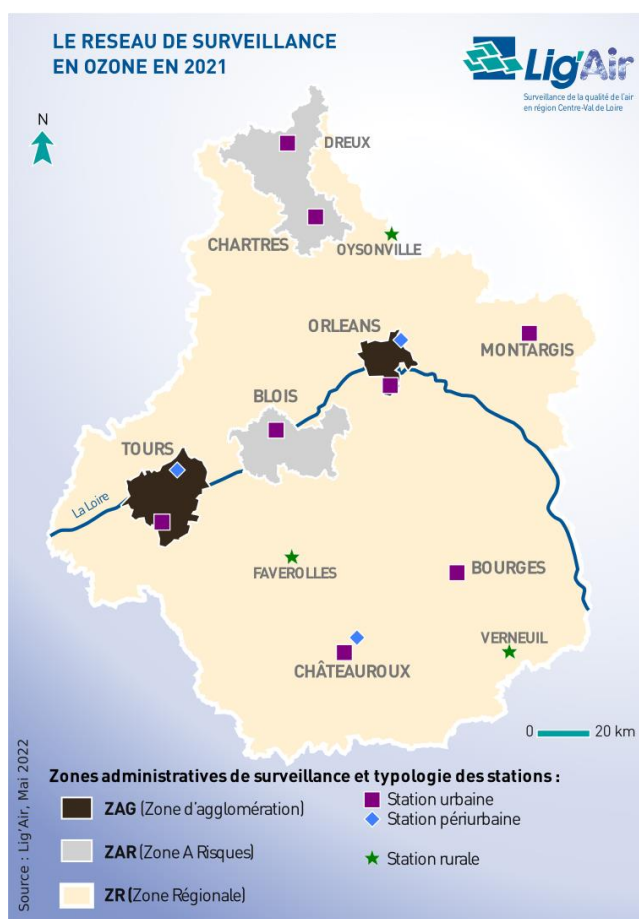


Figure 4 : O₃ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air

a) Performances du modèle

Les **figures 5, 6 et 7** présentent pour l'O₃ les scores de RMSE, de biais et de corrélation 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 « Région » sur la figure), situé à l'extrême gauche, correspondant aux scores sur l'ensemble des 14 stations de la région.

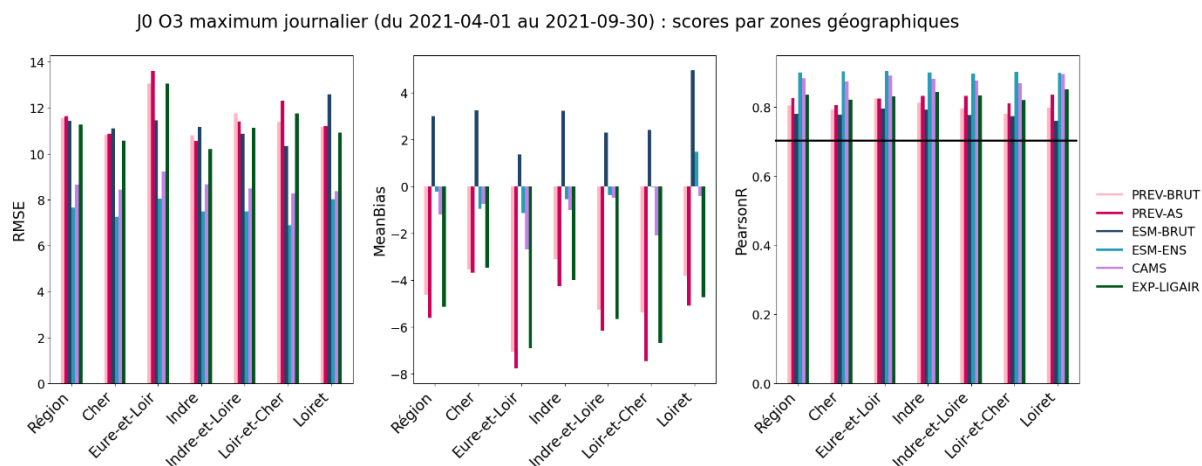


Figure 5 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

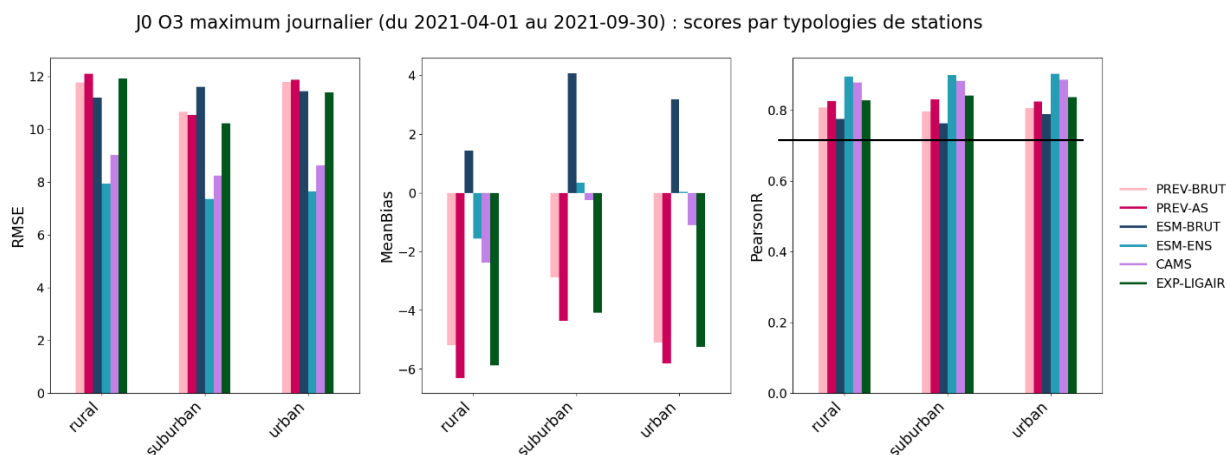


Figure 6 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

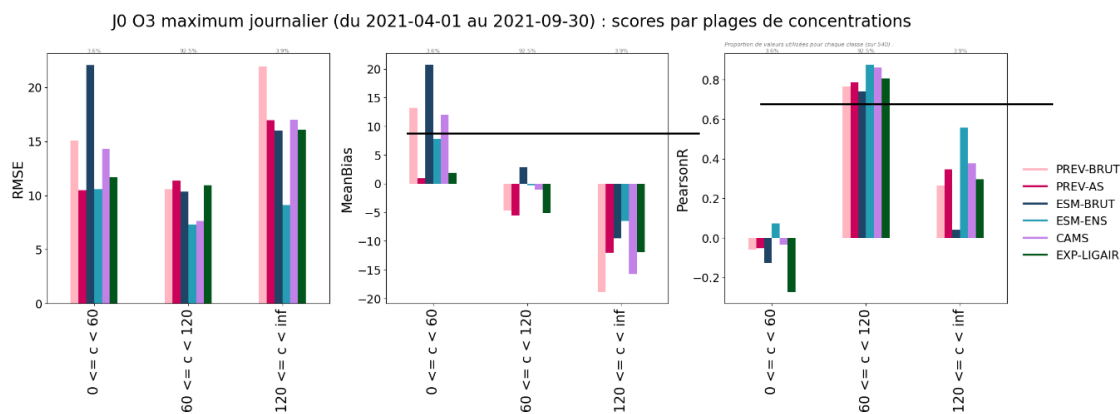


Figure 7 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

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

- A l'échéance J0, l'ensemble des modèles respectent les objectifs qualité pour l'O₃ sur le biais (inférieur à +10/-10 µg/m³) et sur la RMSE (inférieure à 25 µg/m³) pour l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire.
- Cependant, que ce soit pour le biais, la RMSE et la corrélation, les modèles de prévision d'ensemble ESM-ENS et CAMS présentent 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.
- Les scores sont relativement homogènes entre les différentes typologies de stations avec comme précédemment de meilleurs scores pour les modèles d'ensemble ESM-ENS et CAMS (**figure 6**).
- Des performances « en U » selon les gammes de concentrations (observées), c'est-à-dire que les valeurs intermédiaires (entre 60 et 120 µg/m³) sont les mieux prévues, tandis que les performances des valeurs basses (inférieures à 60 µg/m³) ou hautes (supérieures à 120 µg/m³) 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 les deux modèles d'ensemble ESM-ENS et CAMS 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.

Les modèles de prévision d'ensemble (ESM-ENS et CAMS), quant à eux, apportent une amélioration significative dans les performances des prévisions engendrant des scores meilleurs.

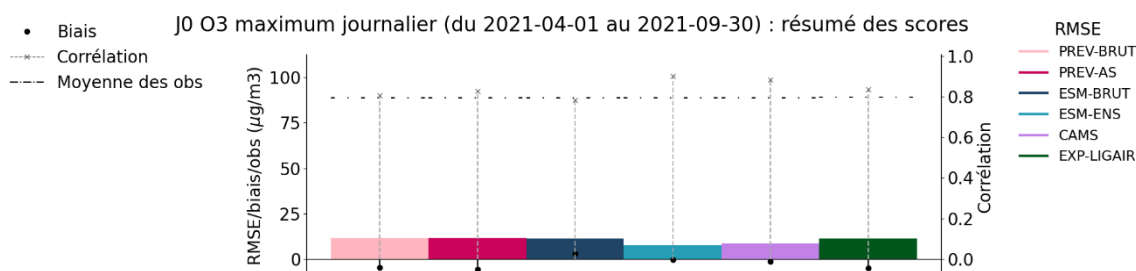
De plus, l'expertise réalisée quotidiennement par les membres du service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) n'améliore pas davantage les scores vis-à-vis des modèles de prévisions d'ensemble notamment pour les concentrations les plus élevées (supérieures à 120 µg/m³). Il est mis en évidence que les concentrations 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 µg/m³ rencontrées au cours de l'année 2021 ne représentant que 3,9% des données totales (**tableau 5**) et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations sont comprises entre 60 et 120 µg/m³ représentant près de la quasi-totalité des données avec 92,5%.

| Moins de 60 µg/m ³ | Entre 60 µg/m ³ et 120 µg/m ³ | Plus de 120 µg/m ³ |
|-------------------------------|---|-------------------------------|
| 3,6% | 92,5% | 3,9% |

Tableau 5 : PM₁₀ – Proportion de valeurs utilisées pour le calcul de scores de chaque gamme de concentration (µg/m³)

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



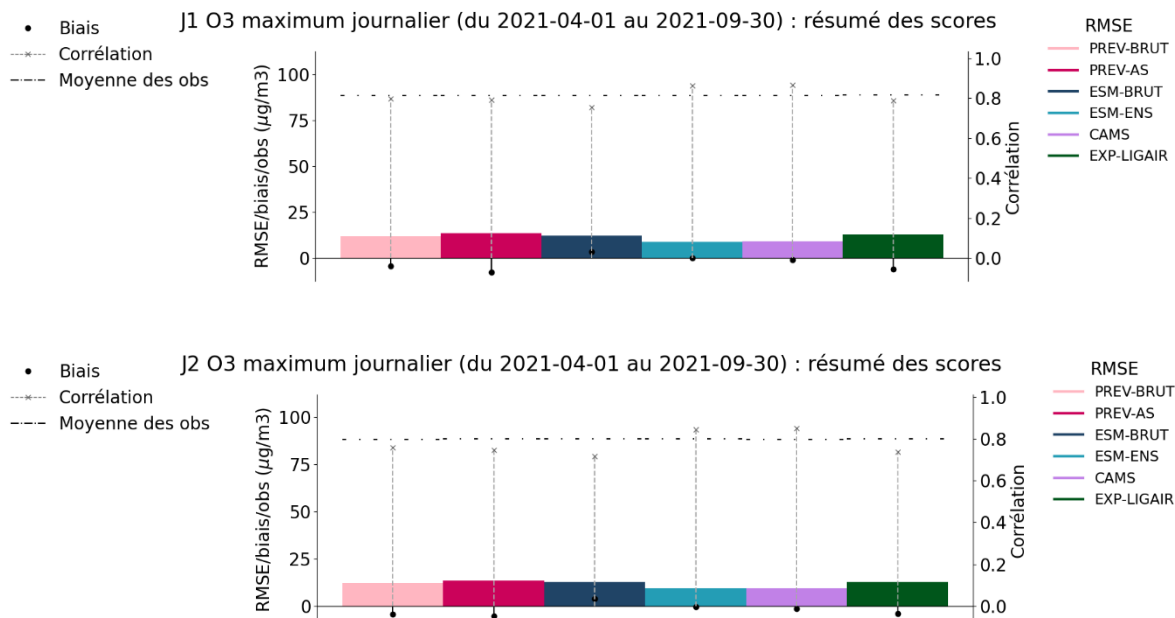


Figure 8 : O₃ – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

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 0,78 à 0,75 entre J0 et J1 puis de 0,75 à 0,71 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. Globalement, les modèles de prévision d'ensemble maintiennent les meilleures performances.

b) Performances par rapport aux seuils réglementaires

La région Centre-Val de Loire n'a connu aucun épisode de pollution à l'O₃ au cours de l'année 2021. La période d'avril à septembre 2021 fut marquée par des conditions météorologiques qui n'ont pas été propices à une augmentation des concentrations d'ozone. Ces conditions, relativement pluvieuses avec des températures inférieures aux normales de saisons durant toute la période ont permis de limiter fortement les dépassements du seuil d'information et de recommandation de 180 µg/m³.

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 µg/m³. Des explications détaillées à propos des indicateurs utilisés dans ces figures sont présentées en **Annexe 3 – Eléments de table de contingence**.

J0 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) :
dépassements du seuil de 180 µg/m3

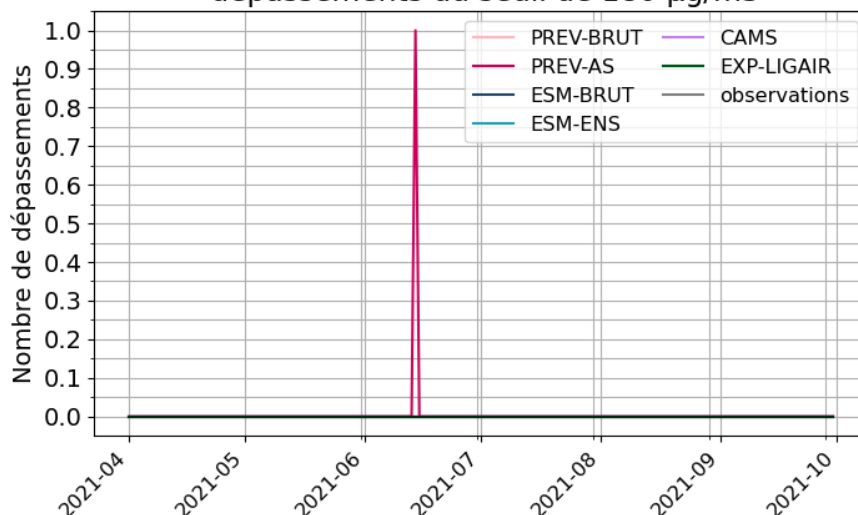


Figure 9 : O₃ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation (180 µg/m³) pour les modèles considérés sur l'échéance J0

J0 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) :
table de contingence pour le seuil de 180 µg/m3

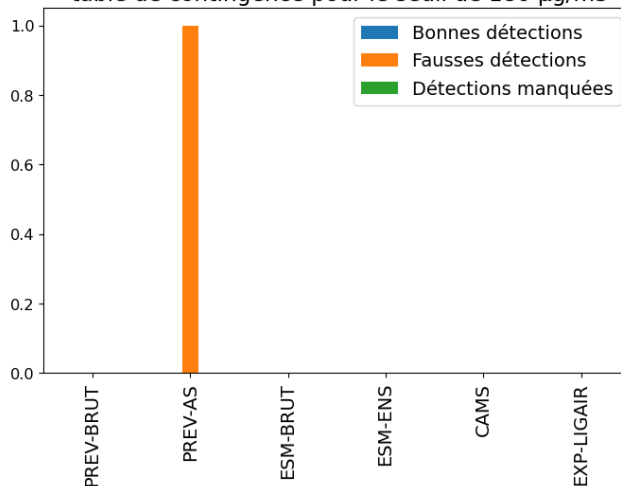


Figure 10 : O₃ – Table de contingence pour 2021 à l'échéance J0 pour le seuil d'information et de recommandation (180 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert

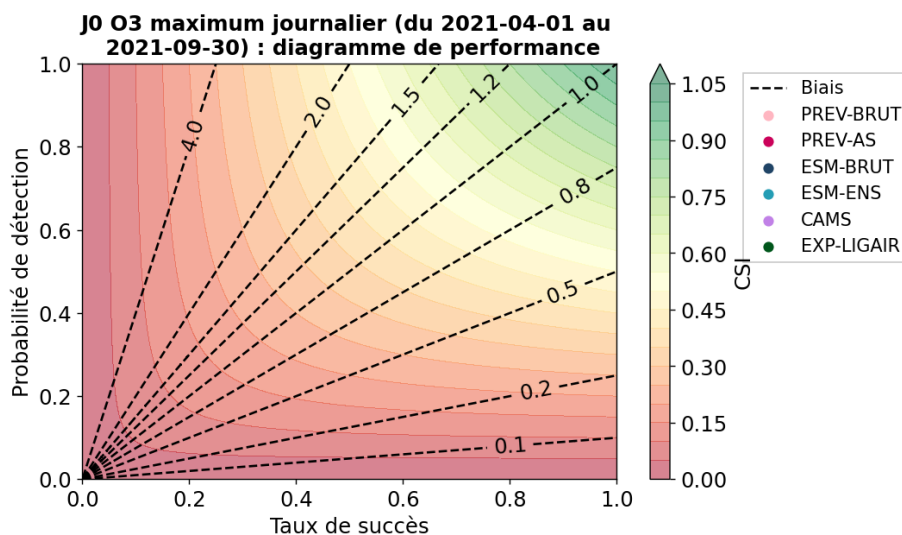


Figure 11 : O₃ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2021 pour l'échéance J0

Malgré l'absence d'épisodes de pollution à l'O₃ en 2021 en région Centre-Val de Loire, les **figures 9 et 10** indiquent que seul le modèle d'adaptation statistique PREV-AS prévoyait un dépassement le 14 juin 2021 sans que cela ne soit confirmé par l'observation.

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

L'absence d'épisode de pollution à l'O₃ en 2021 ne permet pas d'évaluer les performances en lien avec les critères des Arrêtés de Mesures d'Urgence.

d) Evolution des performances des prévisions

Cette année marque le premier exercice d'évaluation des performances des prévisions. L'évolution annuelle des performances des prévisions sera mise en valeur lors des prochains exercices d'évaluation.

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.

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 2021. 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 12 stations disponibles réparties en 9 stations périurbaines et 3 stations trafics (figure 12).

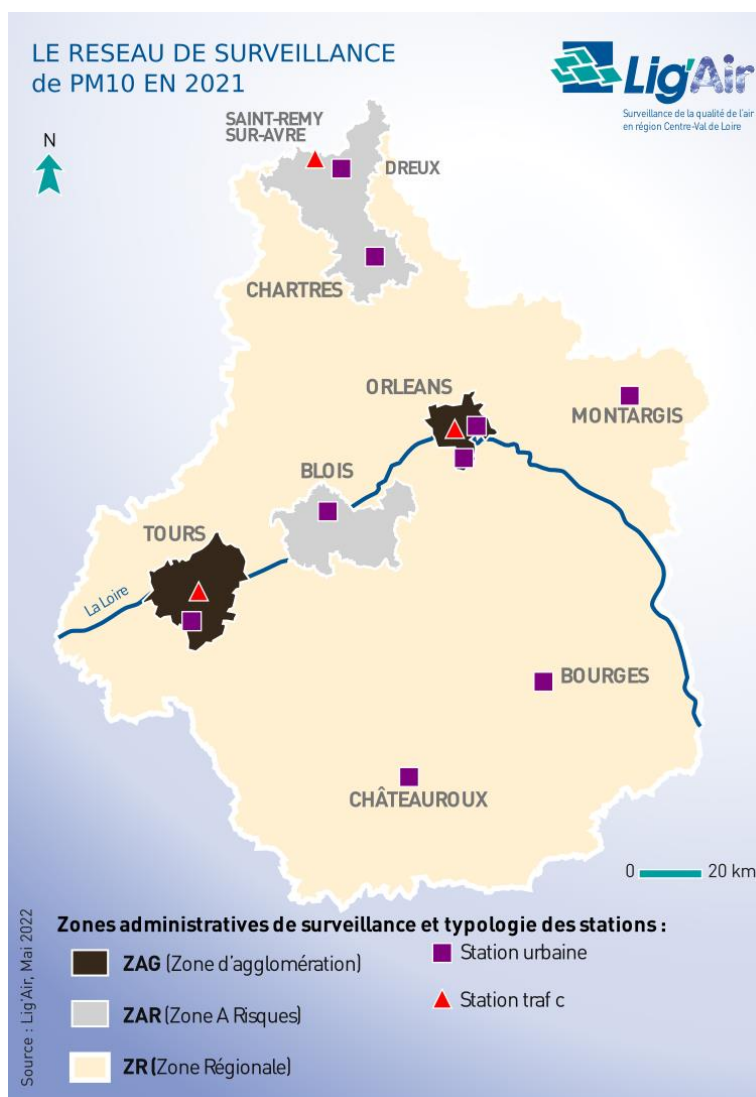


Figure 12 : PM₁₀ - Carte de répartition des stations du réseau de surveillance de Lig'Air

a) Performances du modèle

Les figures 13, 14 et 15 présentent pour les PM₁₀ les scores de RMSE, de biais et de corrélation 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 13 montre ces scores sur les six départements de la région Centre-Val de Loire, le premier groupe de barres (nommé « Région » sur la figure), situé à l'extrême gauche, correspondant aux scores sur l'ensemble des 12 stations de la région.

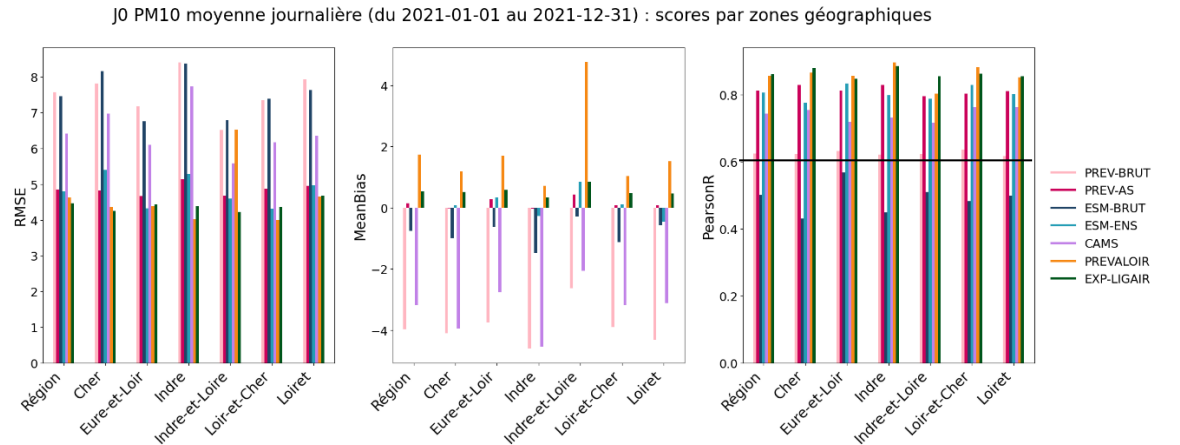


Figure 13 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

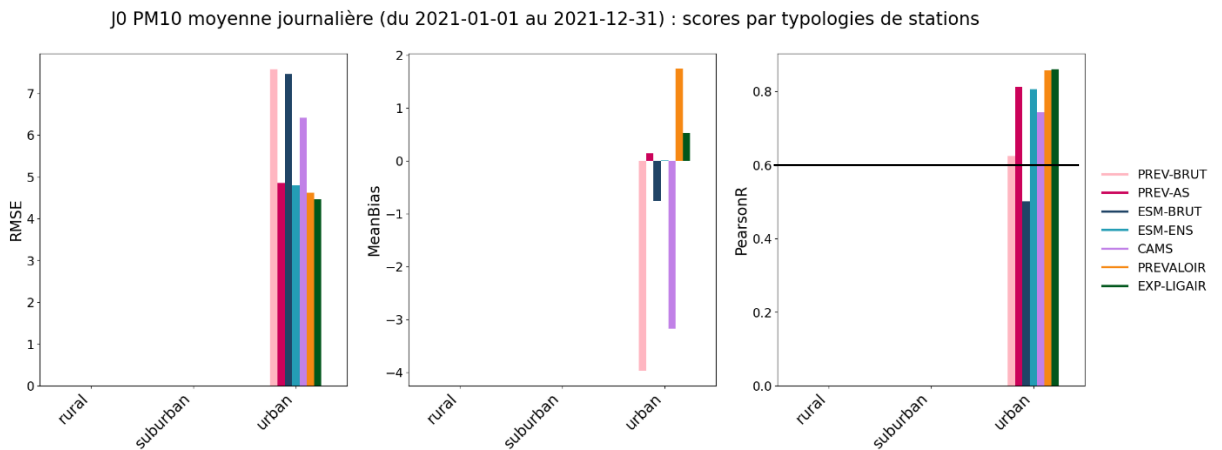


Figure 14 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

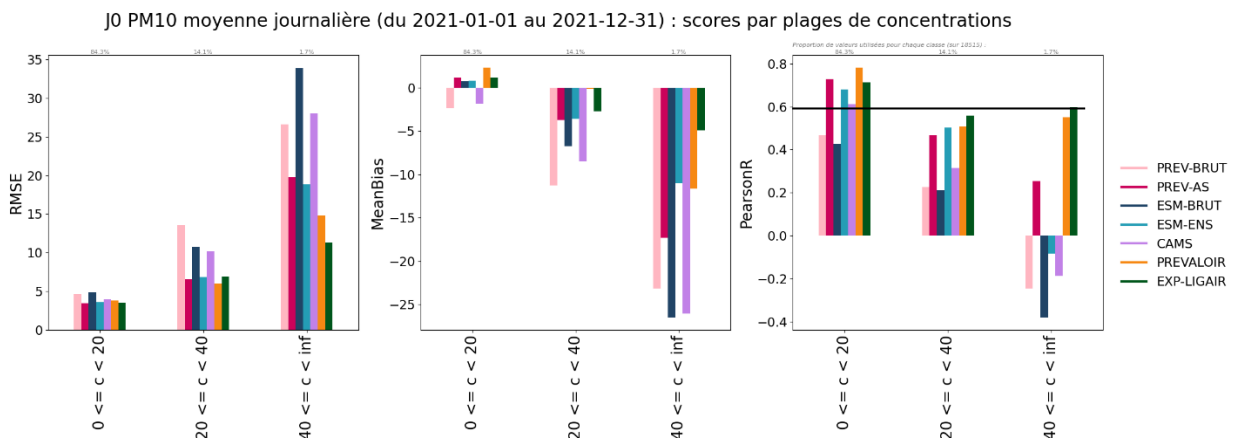


Figure 15 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J0

Les principaux résultats issus des **figures 13, 14 et 15** sont :

- A l'échéance J0, l'ensemble des 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. Cependant, pour la corrélation, les modèles bruts PREV-BRUT et ESM-BRUT ont davantage de difficultés à atteindre le seuil de 0,6. ESM-BRUT n'y parvient sur aucun département et PREV-BRUT présente des corrélations très proche de 0,6 pour l'ensemble des départements (**figure 13**).
- 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 14**.
- Les scores sont 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 15**).
- D'une manière générale, le modèle PREVALOIR (adaptation statistique locale développée par Lig'Air) et l'expertise menée par le service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) présentent quant à eux les meilleurs scores quelque soit les départements (**figure 13**) et surtout pour les gammes de concentrations les plus élevées (supérieures à 40 µg/m³) (**figure 15**).

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 à l'échéance J0. L'adaptation statistique (PREV-AS) et la prévision d'ensemble (ESM-ENS et CAMS), 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 13 à 14** que la mise en place d'une adaptation statistique locale et maîtrisée par Lig'Air (PREVALOIR) permet d'apporter une amélioration significative des scores sur l'ensemble des départements et surtout pour les concentrations les plus élevées (supérieures à 40 µg/m³).

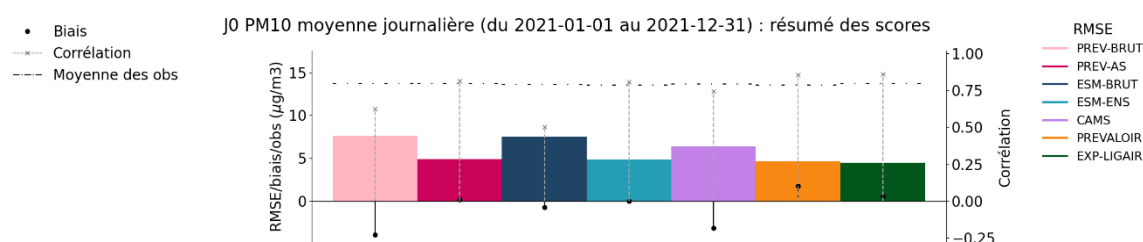
Enfin, l'expertise réalisée quotidiennement par les membres du service prévision de Lig'Air (EXP-LIGAIR) améliore encore d'avantage les scores en particulier pour la prévision des concentrations supérieures à 40 µg/m³ pour laquelle cette expertise est la seule parmi l'ensemble des modèles utilisé dans le système de prévision de Lig'Air à respecter les objectifs qualité avec en particulier une corrélation supérieure à 0,6 (**figure 15**).

Il est important de noter, cependant, que les concentrations supérieures à 40 µg/m³ rencontrées au cours de l'année 2021 ne représentant que 1,7% des données totales (**tableau 6**) et qu'à l'inverse, une grande partie des concentrations journalières sont restées inférieures à 20 µg/m³ représentant 84,3% des données totales.

| Moins de 20 µg/m ³ | Entre 20 µg/m ³ et 40 µg/m ³ | Plus de 40 µg/m ³ |
|-------------------------------|--|------------------------------|
| 84,3% | 14,1% | 1,7% |

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

La **figure 16** présente ces scores sur les jours de prévision J0, J1, J2, correspondant respectivement au jour courant, au lendemain et au surlendemain.



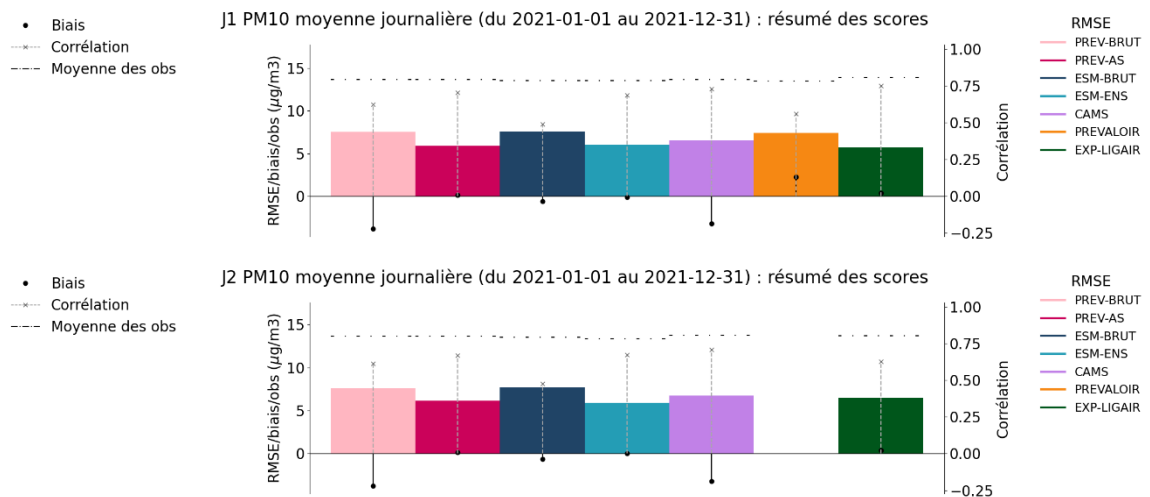


Figure 16 : PM₁₀ – Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision (J0, J1 et J2) pour les modèles considérés

La figure 16 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 davantage entre les échéances J0 et J1 en particulier sur la corrélation et la RMSE. Cependant, l'adaptation statistique (PREV-AS, ESM-ENS et CAMS) reste plus performante que les deux modèles bruts (PREV-BRUT et ESM-BRUT) 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 les meilleurs scores pour l'échéance J1 avec notamment une corrélation de 0,75 et une RMSE de 5. Pour le modèle PREVALOIR, les scores se dégradent de manière significative présentant des scores identiques aux 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.

b) Performances par rapport aux seuils réglementaires

La région Centre-Val de Loire a connu au cours de l'année 2021 trois épisodes de pollution aux PM₁₀. Le premier épisode fut relativement localisé et n'a concerné que le département du Loir-et-Cher le 22 février 2021 (dépassement du seuil d'information et de recommandation observé sur la station de Blois-Nord). Le second épisode, survenu les 24 et 25 février 2021, fut d'une ampleur régionale et d'intensité plus importante en touchant les six départements de la région Centre-Val de Loire avec uniquement des dépassements du seuil d'information et de recommandation sans que le seuil d'alerte ne soit atteint. Le dernier épisode a eu lieu le 3 mars 2021, impactant uniquement le département de l'Eure-et-Loir en engendrant un léger dépassement du seuil d'information et de recommandation sur la station de Fulbert à Chartres.

Les figures 17 à 19 font état de la capacité des modèles à détecter avec exactitude les dépassements du seuil d'information et de recommandation de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des explications détaillées à propos des indicateurs utilisés dans ces figures sont présentées en Annexe 3 – **Éléments de table de contingence**.

J0 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) :
dépassements du seuil de 50 µg/m3

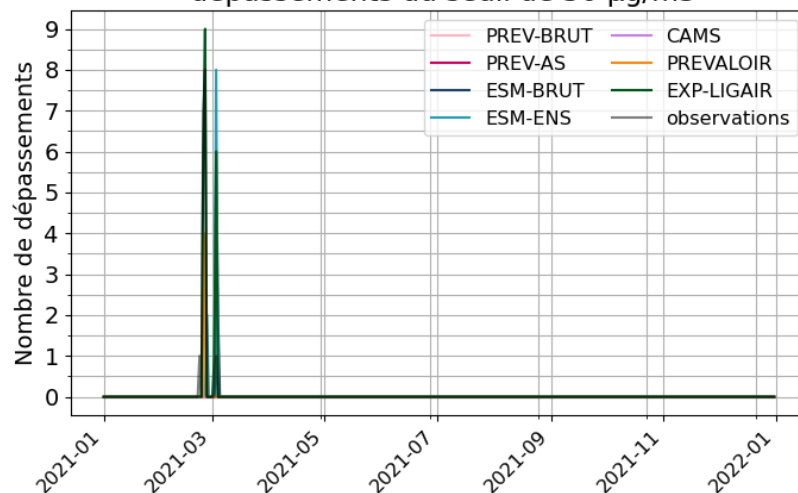


Figure 17 : PM₁₀ – Série temporelle des dépassements du seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³) pour les modèles considérés sur l'échéance J0

J0 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) :
table de contingence pour le seuil de 50 µg/m3

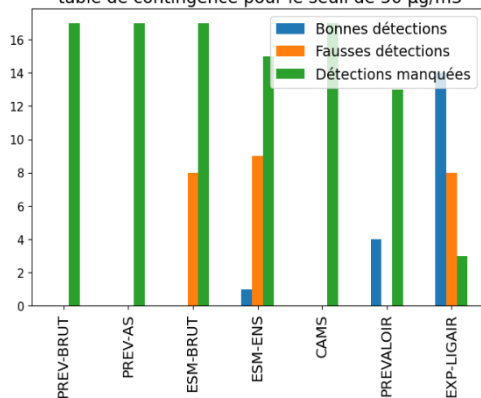


Table de contingence du modèle exp-ligair pour 50 µg/m3,
PM10, moyenne journalière
(2021-01-01 au 2021-12-31)

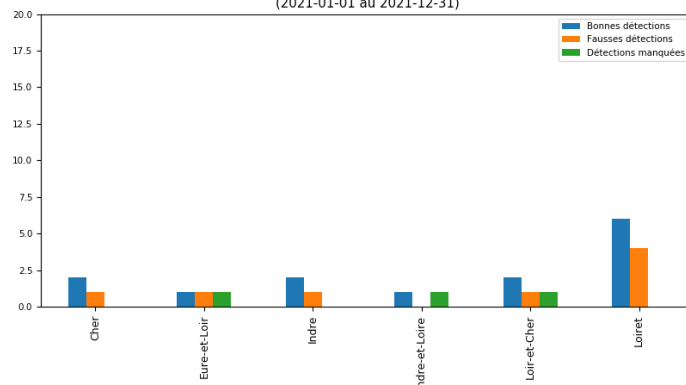


Figure 18 : PM₁₀ – Table de contingence pour 2021 à l'échéance J0 pour le seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³). Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange et les détections manquées en vert. Gauche : Table de contingence de l'ensemble des modèles pour la région entière. Droite : Table de contingence de l'expertise de Lig'Air déclinée par départements

J0 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au
2021-12-31) : diagramme de performance

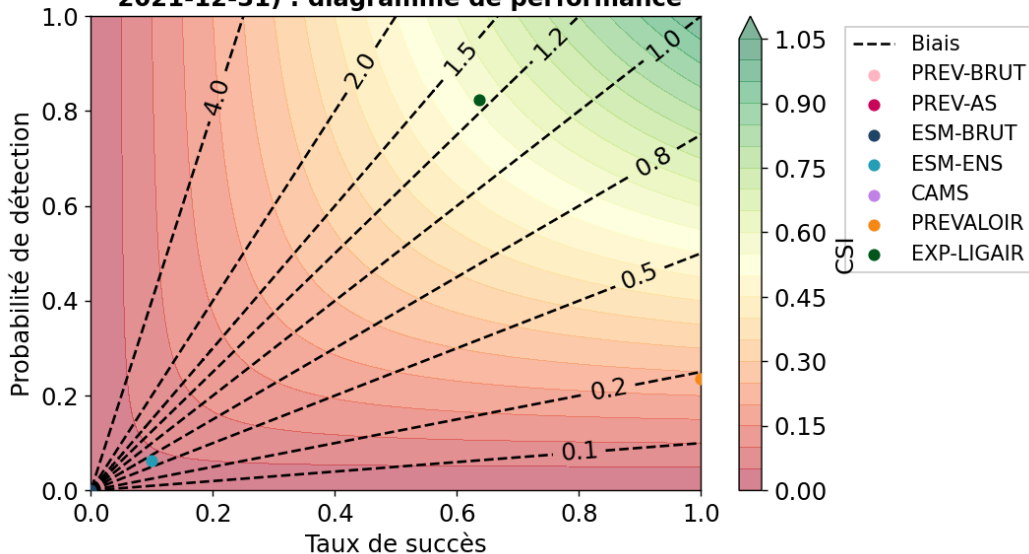


Figure 19 : PM₁₀ – Diagramme de performance des modèles considérés pour 2021 pour l'échéance J0

D'une manière générale, ces figures mettent en évidence des comportements relativement hétérogènes entre les modèles. Parmi ces derniers, seuls les modèles ESM-ENS, PREVALOIR 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 beaucoup plus élevé pour EXP-LIGAIR atteignant 14 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 3 pour PREVALOIR avec un taux de succès de 1 et une probabilité de détection de 0,2 et une seule bonne détection pour ESM-ENS avec un taux de succès de 0,1 et une probabilité de détection de 0,08.

La **figure 18 – Droite** montre que l'expertise conduite par le service prévision a permis d'obtenir un nombre de bonnes détections satisfaisant sur l'ensemble des départements de la région Centre-Val de Loire. Cependant, pour trois départements Eure-et-Loir, Indre-et-Loire et Loir-et-Cher, le nombre de détections manquées est de 1 journée. A l'exception de l'Indre-et-Loire, quatre fausses détections ont concerné le département du Loiret contre une seule fausse détection pour les départements du Cher, d'Eure-et-Loir, de l'Indre et du Loir-et-Cher.

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.

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

Sur les cartographies de la **figure 20** sont illustrées les situations épidodiques en PM₁₀ obtenues et analysées pour les quatre journées concernées par un dépassement du seuil d'information et de recommandation de 50 µg/m³ en 2021 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).

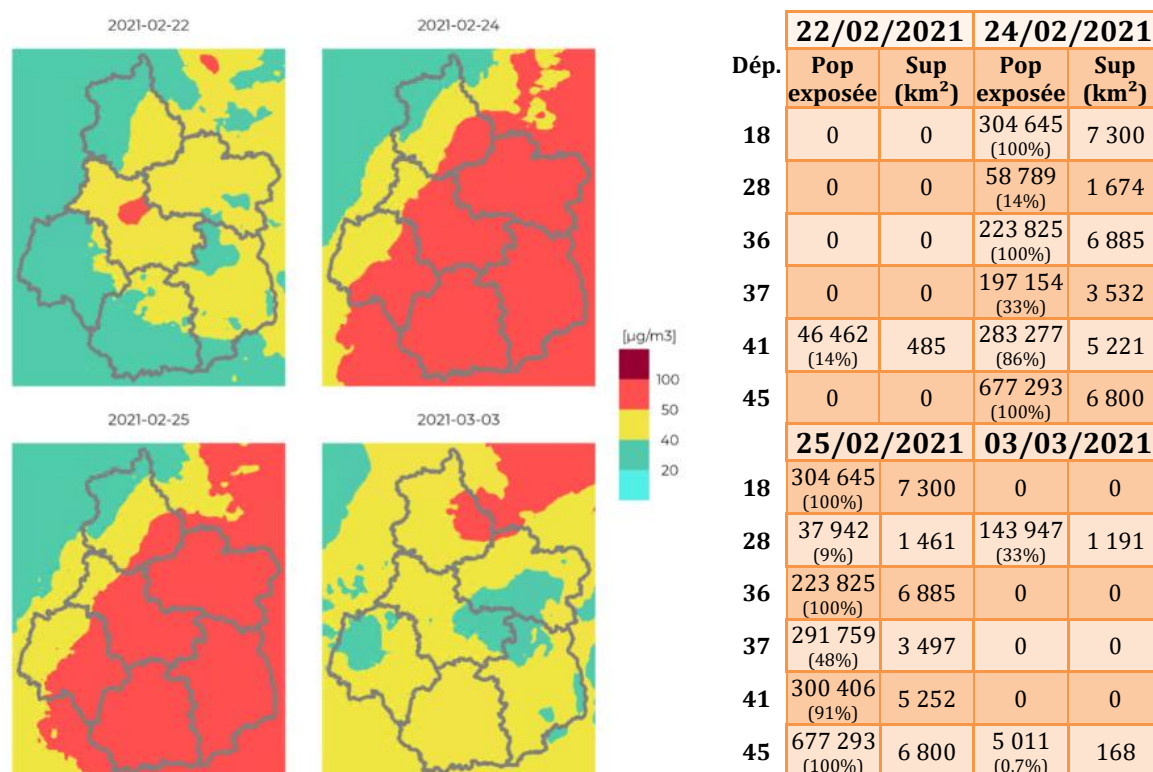


Figure 20 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution en mode analysé avec critères surfaciques et d'exposition de population

Les cartographies des **figures 21 et 22** 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 quatre mêmes journées concernées par un dépassement du seuil d'information et de recommandation de 50 µg/m³ en 2021 avec le détail des critères surfaciques et d'exposition de population (nombre d'habitants et en pourcentage).

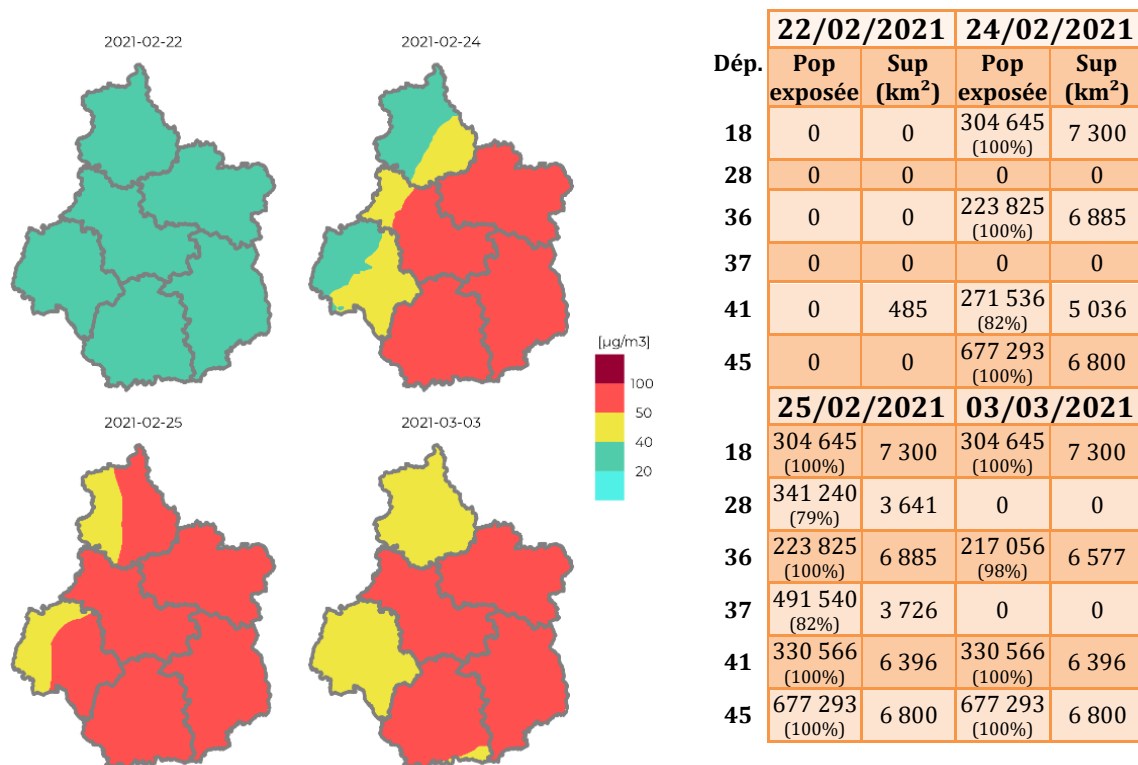


Figure 21 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le jour-même (à l'échéance J0) avec critères surfaciques et d'exposition de population

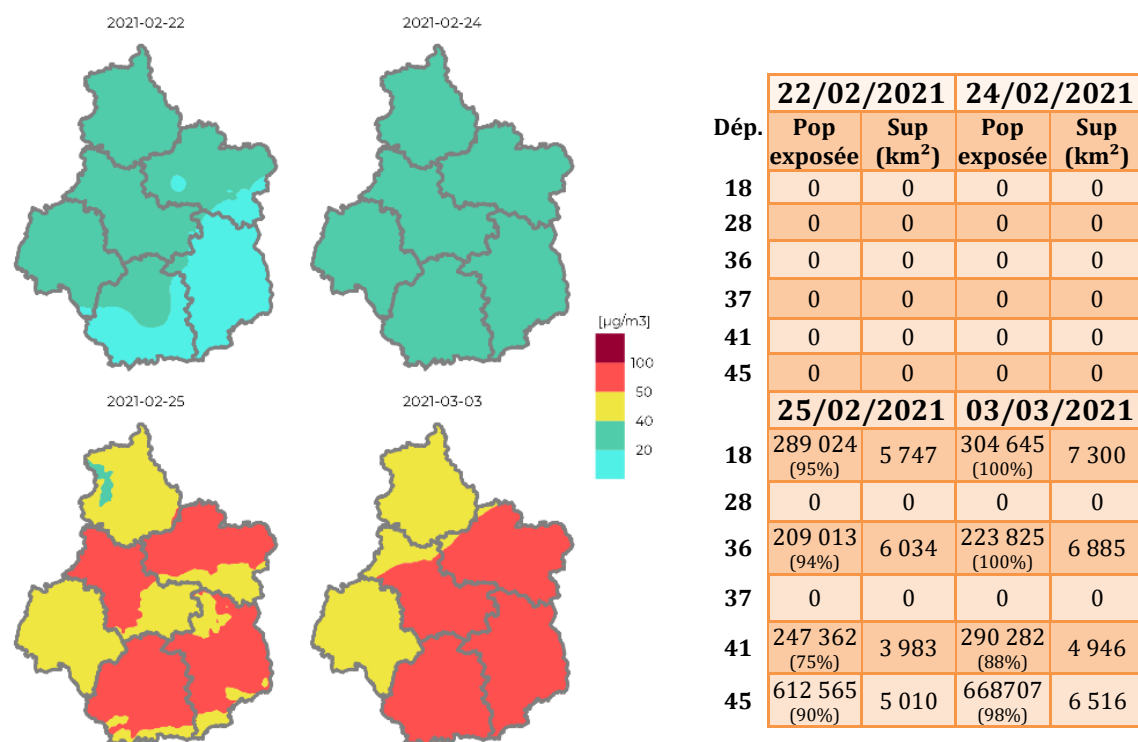


Figure 22 : PM₁₀ – Cartographies des épisodes de pollution obtenues pour le lendemain (à l'échéance J1) avec critères surfaciques et d'exposition de population

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 21 et 22**) 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 20**).

En comparant l'ensemble de ces résultats, l'analyse confirme le comportement décrit dans le paragraphe précédent, avec un nombre total de trois détections manquées à l'échéance J0, principalement pour les journées du 22 février 2021 concernant le département du Loir-et-Cher, du 24 février 2021 concernant le département de l'Indre-et-Loire et le 3 mars 2021 concernant le département de l'Eure-et-Loir.

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 24 et 25 février 2021.

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 des 24 et 25 février 2021, l'épisode a impacté le sud du département de l'Eure-et-Loir sans conduire à un dépassement du seuil d'information et de recommandation sur les stations de Fulbert située à Chartres ou à la station de Dreux-Centre (**figure 20**).

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

Comme indiqué précédemment, cette année marque le premier exercice d'évaluation des performances des prévisions. L'évolution des performances des prévisions sera mise en valeur dans les prochains exercices d'évaluation.

Il est important d'indiquer que les configurations des modèles peuvent être modifiées et évoluées au fil des années pouvant impacter l'évolution des scores pouvant engendrer 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 mettant à jour un certain nombre de paramètres tels que l'inventaire des émissions.

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 évaluées afin de prendre en compte la prévision dans sa totalité.

L'année 2021 a été marquée par une absence d'épisode de pollution en O₃ sur la région Centre-Val de Loire. La période d'avril à septembre 2021 fut associée à des conditions météorologiques qui n'ont pas été propices à une augmentation des concentrations d'ozone. Ces conditions pluvieuses avec des températures inférieures aux normales de saison durant toute la période ont permis de limiter fortement les dépassements du seuil d'information et de recommandation de 180 µg/m³.

Toutefois, les résultats montrent que les deux modèles d'ensemble ESM-ENS et CAMS présentent de meilleures performances et ils sont 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 3 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.

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 significativement d'améliorer les performances des prévisions et la détection des épisodes de pollution.

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 récemment en place une première

version de l'outil VACARM, des améliorations importantes vont être menées pour réaliser une expertise plus fine des concentrations modélisées issues des différentes plateformes. Cette expertise, faite actuellement par département, sera prochainement 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 PM_{10} pour le jour même et pour le lendemain, sera étendu à la prévision des concentrations d'ozone et $PM_{2,5}$. Ainsi, PREVALOIR deviendra un modèle multi-polluants et multi-échéances. La nouvelle version de PREVALOIR intègrera le système de prévision VACARM dans l'objectif d'améliorer la détection des épisodes de pollutions. Une mise à jour de l'apprentissage sera également réalisée 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. 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 seront mises directement à disposition de la population et intégreront le document « porter à connaissance » à travers la nouvelle plateforme INTERqual'Air.

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.

$$R = \frac{\text{cov}(P, O)}{\sqrt{\text{var}(P)} \cdot \sqrt{\text{var}(O)}} = \frac{\sum_{i=0}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

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

J1 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par typologies de stations

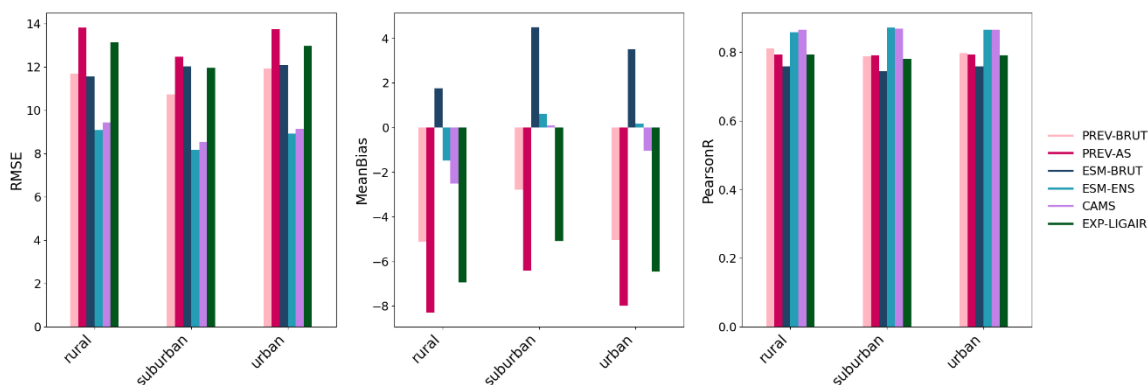


Figure 23 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par typologies de stations

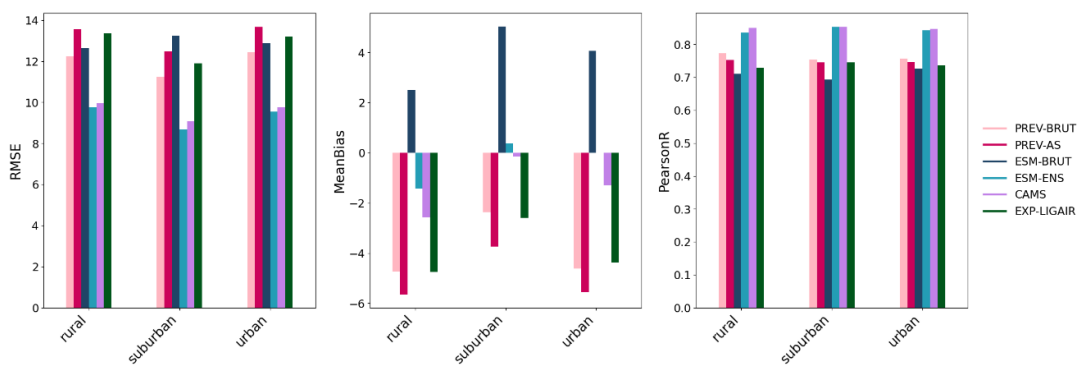


Figure 24 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

J1 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par zones géographiques

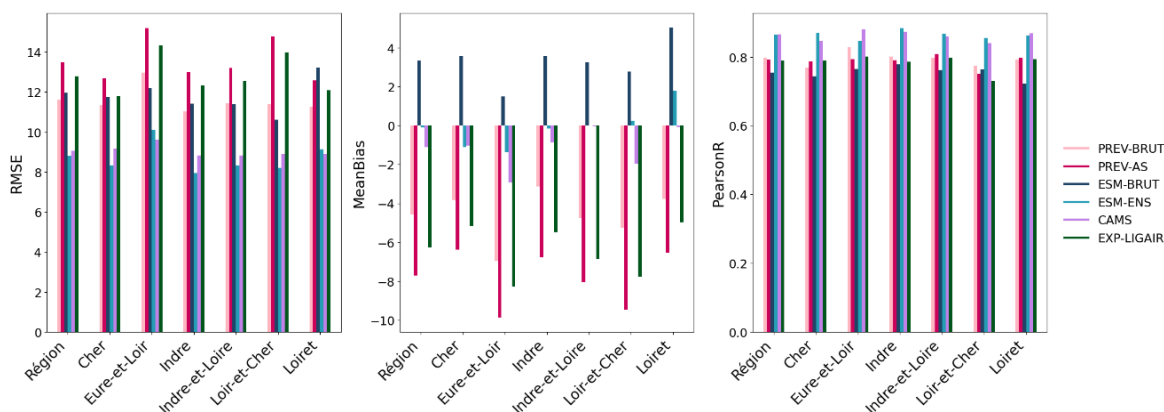


Figure 25 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par zones géographiques

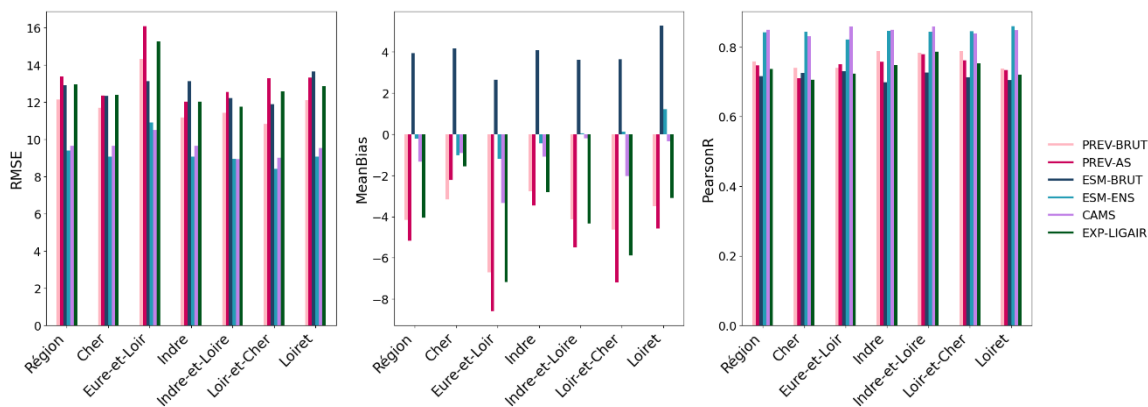


Figure 26 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

J1 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par plages de concentrations

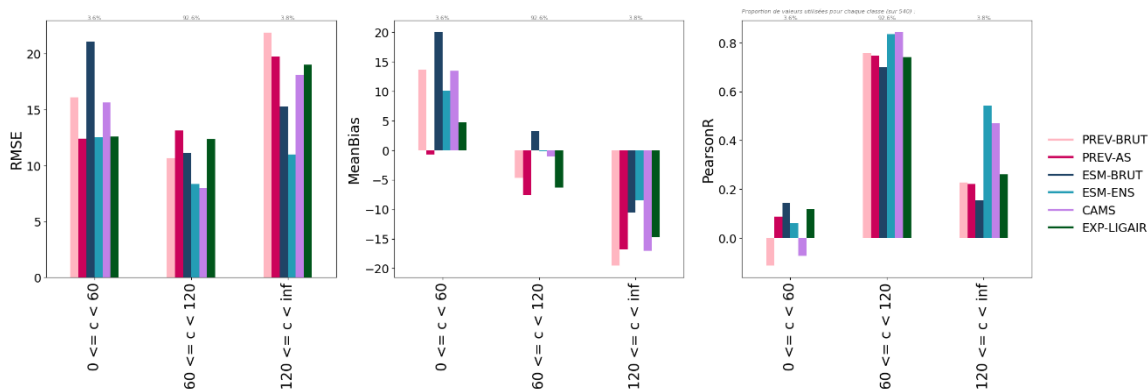


Figure 27 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 O3 maximum journalier (du 2021-04-01 au 2021-09-30) : scores par plages de concentrations

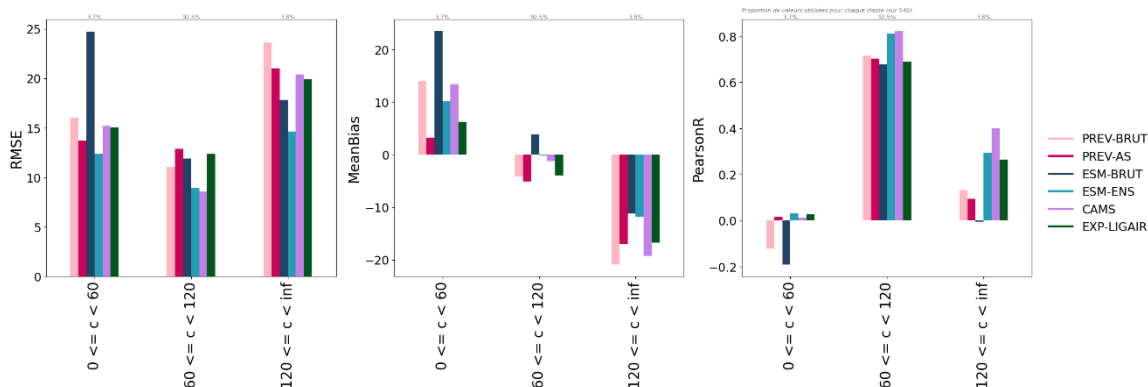


Figure 28 : O₃ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

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

J1 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par typologies de stations

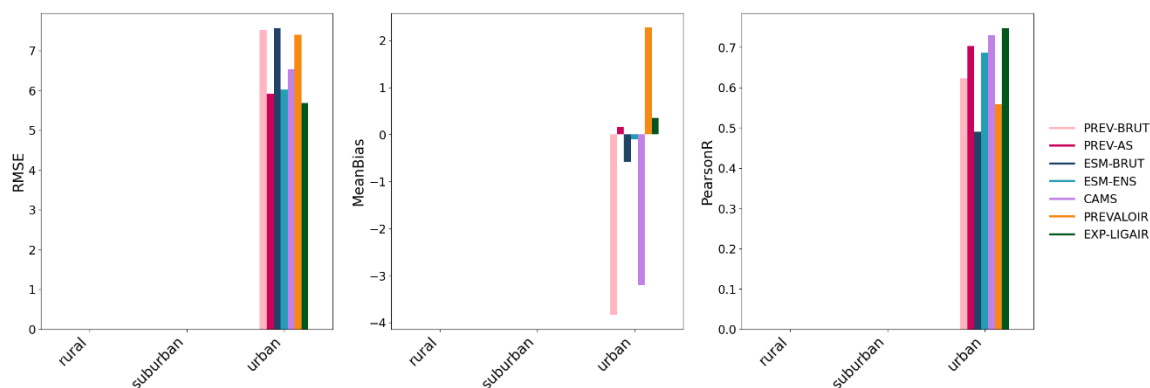


Figure 29 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par typologies de stations

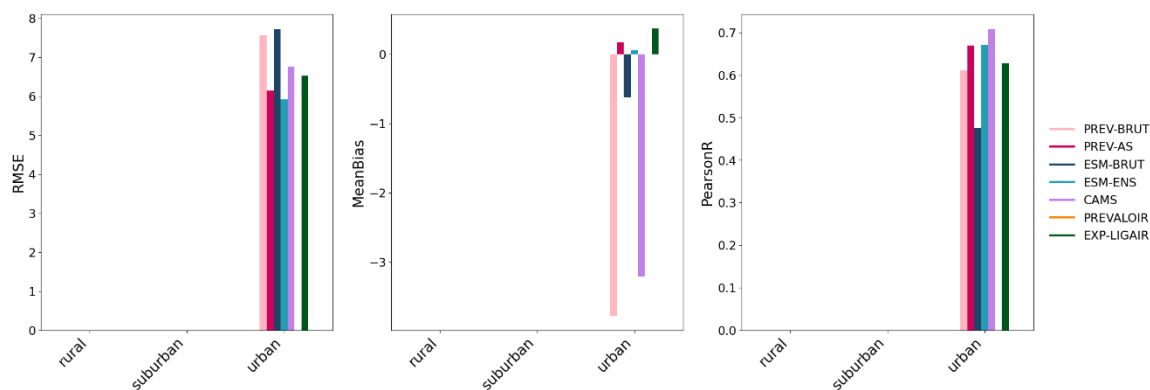


Figure 30 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (rurales, urbaines et périurbaines) des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

J1 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par zones géographiques

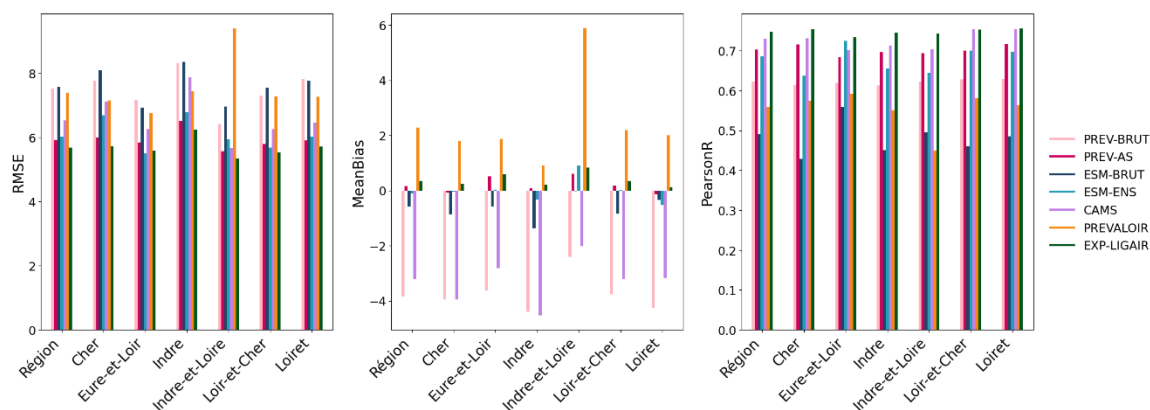


Figure 31 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par zones géographiques

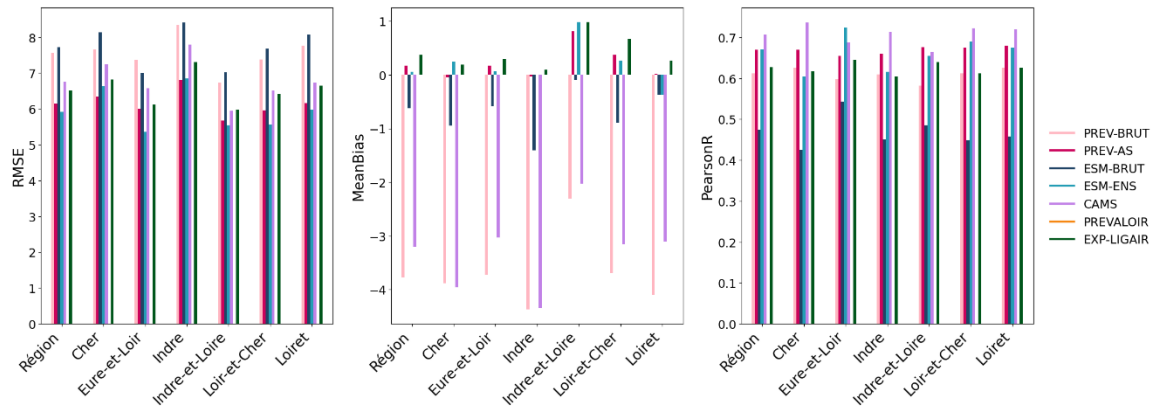


Figure 32 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du département des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2

J1 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par plages de concentrations

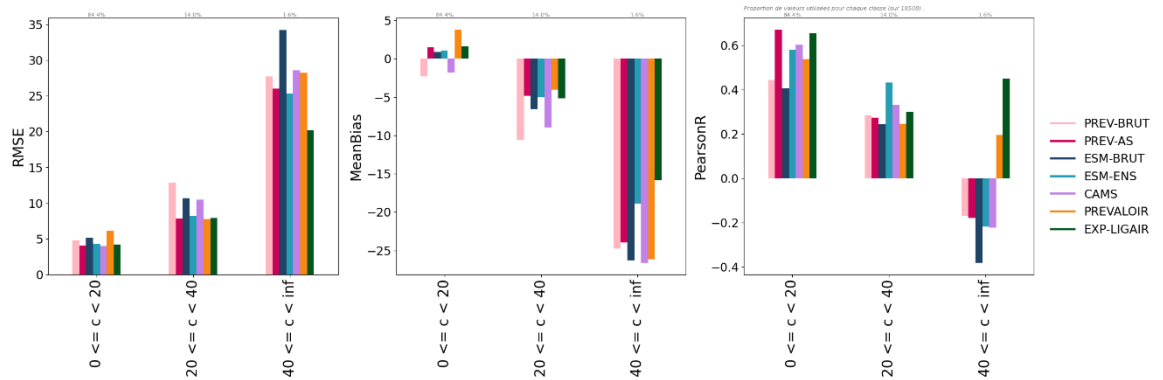


Figure 33 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J1

J2 PM10 moyenne journalière (du 2021-01-01 au 2021-12-31) : scores par plages de concentrations

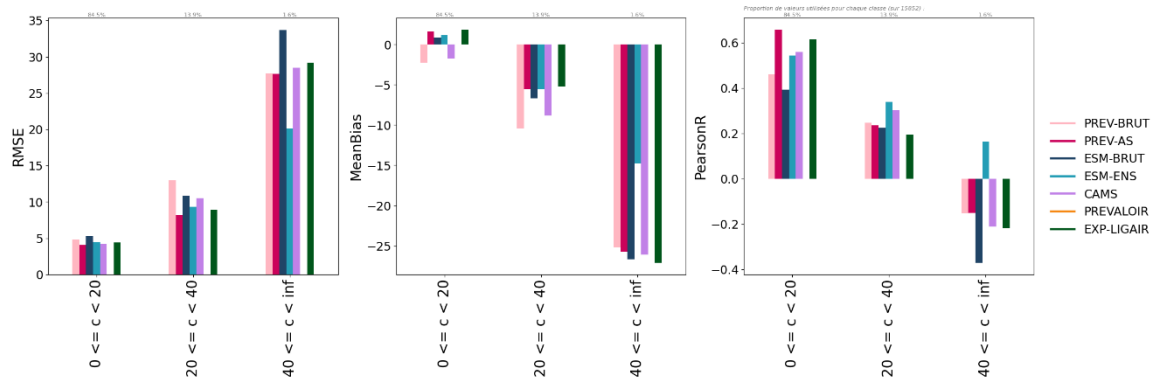


Figure 34 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par gamme de concentration des prévisions des modèles considérés sur l'échéance J2