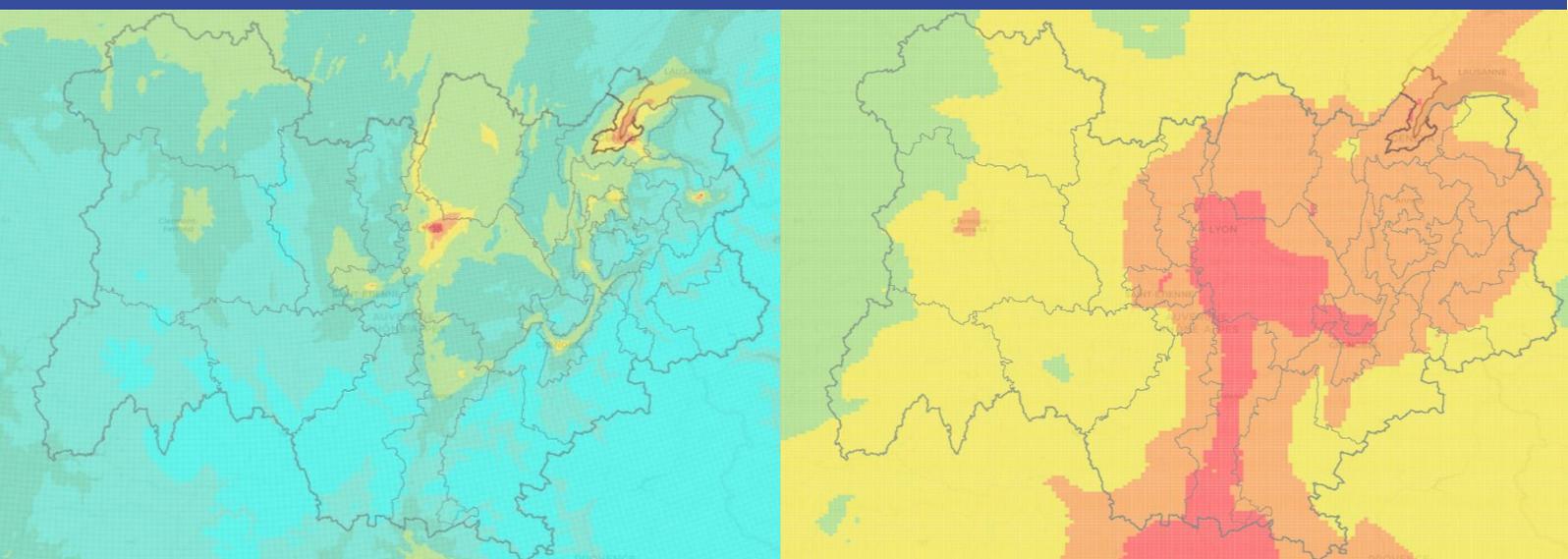


Evaluation des performances de prévision de la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes

Bilan statistique global pour l'année 2023



Auteur : Unité Prévision

Diffusion : Juin 2024

www.atmo-auvergnerrhonealpes.fr

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr



Conditions de diffusion

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.atmo-auvergnerhonealpes.fr.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : « © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2024), Evaluation des performances de prévision de la qualité de l'air en Auvergne-Rhône-Alpes. »

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes :

- par mail : contact@atmo-aura.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Synthèse

Ce rapport étudie la performance de la chaîne de prévision d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes à l'aide d'indicateurs statistiques comparant les résultats de modélisation aux observations enregistrées par le réseau de mesure permanent d'ATMO AURA. L'évaluation des performances du système de prévision est réalisée avec les résultats de la modélisation avant et après la phase d'expertise du prévisionniste. Le calcul des scores est effectué selon les recommandations du [référentiel technique national pour l'évaluation des performances des prévisions de la qualité de l'air](#).

Pour les particules PM₁₀ comme pour l'ozone, les indicateurs statistiques calculés sur l'année 2023 sont conformes aux préconisations et témoignent ainsi des bonnes performances des prévisions issues de la chaîne de modélisation d'ATMO AURA. Ce constat, valable quelle que soit l'échéance de prévision, est cohérent avec les résultats observés les années précédentes. Les performances calculées sont en effet semblables à celles de ces trois dernières années.

Ce rapport souligne notamment la **pertinence de l'utilisation de méthodes d'adaptation statistique**, dont les performances aux stations sont nettement supérieures à celles des modèles bruts, pour les particules PM₁₀ comme pour l'ozone, particulièrement aux échéances les plus proches (J et J+1). L'apport positif des méthodes d'adaptation statistique est particulièrement important pour la prévision des hautes concentrations d'ozone comme de particules PM₁₀. Les modèles bruts tendent en effet à sous-estimer ces fortes valeurs, et les modèles statistiques permettent de réduire cette sous-estimation.

Si les performances statistiques globales des prévisions adaptées statistiquement et expertisées sont similaires, l'analyse des tables de contingence sur les seuils d'informations et de recommandations démontre l'apport bénéfique de l'expertise humaine par les prévisionnistes, notamment pour les épisodes particules PM₁₀ (+3% de bonnes détections). L'augmentation du nombre de bonnes détections se fait toutefois au prix d'un nombre relativement élevé de fausses alertes.

En 2024, une mise à jour majeure de la chaîne de prévision devrait permettre d'améliorer encore les scores des modèles d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes. Un travail d'amélioration du dispositif de prévision est également conduit en interne, et vise à mieux organiser le processus de prévision de qualité de l'air. Les premières mesures qui en découlent devraient être mise en place en 2025.



Sommaire

1. Introduction.....	8
2. Présentation de la plateforme de prévision	9
2.1. Synoptique de la chaîne de prévision	9
2.2. Description des modèles	10
2.2.1. Modèles déterministes.....	10
2.2.2. Modèles statistiques.....	11
2.2.3. Expertise du prévisionniste.....	11
2.3. Taux de disponibilité des modèles.....	12
2.4. Description des mesures	12
3. Evaluation de la plateforme de prévision	15
3.1. Prévision ozone (O3).....	15
3.1.1. Scores classiques (biais, RMSE et corrélation).....	15
3.1.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité	15
3.1.1.2. Par typologie.....	19
3.1.1.3. Par échéance de prévision	20
3.1.1.4. Par gamme de concentration	20
3.1.1.5. Sur plusieurs années	22
3.1.2. Performances sur les seuils réglementaires	23
3.1.2.1. Scores aux stations.....	24
3.1.2.1.1. Séries temporelles	24
3.1.2.1.2. Eléments de la table de contingence	25
3.1.2.2. Scores en lien avec les critères réglementaires de déclenchement d'épisode de pollution	28
3.2. Prévision particules fines (PM₁₀).....	31
3.2.1. Scores classiques (Biais, RMSE, Corrélation)	31
3.2.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité	31
3.2.1.2. Par typologie.....	34
3.2.1.3. Par échéance de prévision	34
3.2.1.4. Par gamme de concentration	35
3.2.1.5. Sur plusieurs années	37
3.2.2. Performances sur les seuils réglementaires	37
3.2.2.1. Scores aux stations.....	37
3.2.2.1.1. Séries temporelles	37
3.2.2.1.2. Eléments de la table de contingence	38
3.2.2.2. Scores en lien avec les critères réglementaires de déclenchement d'un épisode de pollution	41
4. Conclusion	44



Table des figures

<i>Figure 1 : Synoptique général de la chaîne de prévision régionale d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes...</i>	10
<i>Figure 2 : Cartographie des stations par typologie 2023 Auvergne-Rhône-Alpes</i>	13
<i>Figure 3 : Ozone - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge),PREV'AIR (orange), PREV'AIR assimilé (marron) et de l'adaptation statistique (vert) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.</i>	17
<i>Figure 4: Ozone - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge),de l'adaptation statistique (vert), PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.</i>	18
<i>Figure 5 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0.</i>	19
<i>Figure 6 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1.</i>	19
<i>Figure 7 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), pour l'adaptation statistique (vert),pour PREV'AIR (orange) et pour PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023.....</i>	20
<i>Figure 8 : Ozone - Scores de RMSE et biais par classe de concentrations des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0.</i>	21
<i>Figure 9 : Ozone - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique Chimère (vert), le modèle PREV'AIR et le modèle PREVAIR'AS d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1.</i>	22
<i>Figure 10 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) entre avril et septembre depuis 2018 pour CHIMÈRE, pour son adaptation statistique pour le modèle Carine (modèle expertisé), pour le modèle PREV'AIR et pour le modèle PREV'AIR assimilé</i>	23
<i>Figure 11 : Ozone - Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J0 (en haut)) et à J+1 (en bas) sur la période avril – septembre. Modèle brut Chimère (en rouge), Chimère adapté statistiquement (Adapstat - en vert) le modèle ajusté par le prévisionniste (Carine – en bleu), Modèle PREV'AIR brut (en Vert) et PREV'AIR assimilé (en marron)</i>	25
<i>Figure 12 : Ozone - Tables de contingence sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J0 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en vert. Gauche : Tables de contingence de CHIMÈRE (1^{er} groupe), ADAPSTAT (2^e groupe), de Carine (3^e groupe), de PREV'AIR(4^e groupe) et de PREV'AIR assimilé(5^e groupe). pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. Droite : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zones AIP.</i>	26
<i>Figure 13 : Ozone - Tables de contingence sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J+1 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en vert. Gauche : contingence de CHIMÈRE (1er groupe), ADAPSTAT (2e</i>	

groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR(4e groupe) et de PREV'AIR assimilé(5e groupe). pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. Droite : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zones AIP.	27
<i>Figure 14 : Ozone - Diagramme de performance pour Chimère (rouge), Adapstat (vert) Carine (bleu), PREV'AIR (orange), PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 pour l'échéance J0 (à gauche) et celle de J+1 (à droite)</i>	28
<i>Figure 15 : Ozone - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J0.....</i>	29
<i>Figure 16 : Ozone - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J+1.....</i>	30
<i>Figure 17 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) pour l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.</i>	32
<i>Figure 18 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) pour l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.....</i>	33
<i>Figure 19 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J0.....</i>	34
<i>Figure 20 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J+1</i>	34
<i>Figure 21 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) en 2023.</i>	35
<i>Figure 22 : PM₁₀ - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J0.</i>	36
<i>Figure 23 : PM₁₀ - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J+1.....</i>	36
<i>Figure 24 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) depuis 2018 pour CHIMÈRE, pour son adaptation statistique, pour le modèle Carine (modèle expertisé), pour le modèle PREV'AIR et le modèle PREV'AIR assimilé</i>	37
<i>Figure 25 : PM₁₀ - Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J0 (en haut) et à J+1 (en bas) à différentes étapes de la chaîne de prévision : modèle brut (Chimère en rouge), modèle adapté statistiquement (Adapstat - en vert) le modèle ajusté par le prévisionniste (Carine - en bleu), le modèle PREV'AIR (en orange) et le modèle PREV'AIR assimilé (en marron).....</i>	38
<i>Figure 26 : PM₁₀ - Tables de contingence pour l'année 2023 à l'échéance J0 pour le seuil de 50 µg/m³. En haut : Tables de contingence de CHIMÈRE (1er groupe), ADAPSTAT (2e groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR(4e groupe) et de PREV'AIR assimilé(5e groupe) pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. En bas : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zone AIP.</i>	39
<i>Figure 27 : PM₁₀ - Tables de contingence calculée sur l'année 2023 à l'échéance J+1 pour le seuil de 50 µg/m³. En haut : Tables de contingence de CHIMÈRE (1er groupe), ADAPSTAT (2e groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR(4e groupe) et de PREV'AIR assimilé(5e groupe) pour la région</i>	

Auvergne-Rhône-Alpes entière. En bas : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zone AIP.....	40
Figure 28 : PM₁₀ - Diagramme de performance pour Chimère (rouge), Adapstat (vert), Carine (bleu), PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé (marron) en 2023 pour l'échéance J0 (à gauche) et celle de J+1 (à droite)	41
Figure 29 : PM₁₀ - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur toute l'année 2023 à l'échéance J0.	43
Figure 30 : PM₁₀ - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur toute l'année 2023 à l'échéance J+1.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des modèles déterministes mis à disposition des prévisionnistes par la plateforme de prévision d'ATMO Auvergne Rhône-Alpes.....	11
Tableau 2 : Description des modèles statistiques mis à disposition des prévisionnistes par la plateforme de prévision d'ATMO Auvergne Rhône-Alpes.....	11
Tableau 3 : Taux de disponibilité des prévisions en 2023	12
Tableau 4 : Répartition des stations par département et typologie	12
Tableau 5 : Détail du nombre de stations "de fond" par typologie pour l'O₃ et les PM₁₀	13
Tableau 6 : Objectifs de qualité définis pour l'O₃ s'appliquant aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1.....	16
Tableau 7 : Table de contingence	23
Tableau 8 : Valeurs des seuils utilisées pour le calcul des critères statistiques	24
Tableau 9 : Objectif de qualité définis pour les particules fines PM₁₀ s'appliquant aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1.	31

1. Introduction

Le système de prévision de qualité de l'air d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a pour objectif la mise à disposition quotidienne de cartes de concentrations pour les polluants réglementés O₃, NO₂, SO₂ et PM₁₀ pour le jour même (J0), le lendemain (J+1) et le surlendemain (J+2). Outre ces polluants actuellement réglementés, la chaîne de prévision de qualité de l'air d'Atmo AURA intègre également les particules PM_{2,5}, qui devraient très prochainement entrer dans le champ des polluants réglementés. L'ensemble est rendu disponible en ligne sur le site web d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (<https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/>).

Dans ce cadre est mis en place le dispositif de gestion des épisodes de pollution atmosphérique. Il s'agit d'un dispositif d'urgence ayant pour but de limiter l'exposition des populations à la pollution de l'air si le dépassement d'un seuil réglementaire de concentration est prévu. Il permet d'informer la population, de délivrer des recommandations sanitaires et comportementales et de mettre en place des actions de réduction des émissions sur les différentes sources concernées (trafic routier, mode de chauffage, pratiques industrielles et agricoles...). Initialement, ces dispositifs étaient conçus pour contribuer à respecter les valeurs réglementaires annuelles. Mais les attentes de l'Etat, des collectivités et du grand public vis-à-vis des missions concernant la qualité de l'air ont rapidement évolué ces dernières années. En effet, la demande sociale s'accroît et les citoyens attendent une information de plus en plus individualisée, prévisionnelle, en lien avec leur mode de vie, leurs activités. Ainsi, dans les dernières décennies, la prévision quotidienne de la qualité de l'air a dû évoluer et s'adapter à des enjeux divers ; environnementaux, économiques, politiques et sanitaires.

Il est par conséquent indispensable de disposer d'outils adaptés à une forte exigence d'expertise et à la diffusion d'une prévision quotidienne fiable et de bonne qualité. Cela nécessite une évaluation correcte et permanente des systèmes de prévision de qualité de l'air. Dans ce contexte, des nouveaux textes réglementaires sont apparus, notamment l'article 13 de l'arrêté du 19 avril 2017 abrogé par [l'article 13 de l'arrêté du 16 avril 2021](#) qui insiste sur la nécessité d'étudier la performance du système de prévision quotidienne et d'harmoniser les critères d'évaluation des prévisions de qualité de l'air à l'échelle nationale. Dans ce cadre et depuis de 2017, chaque Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) évalue son système de prévision en étudiant ses performances statistiques selon des critères préconisés par un référentiel technique national. Cette évaluation fait l'objet d'un rapport annuel adressé aux autorités au plus tard le 30 juin de l'année suivante.

Tous les ans, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes évalue ainsi sa plateforme de prévision en se référant à la méthode établie dans le cadre d'un groupe de travail national piloté par l'INERIS et portant sur la prévision de la qualité de l'air. Cette méthode est décrite explicitement dans le référentiel technique national élaboré en réponse à l'article 13 de l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant. Après avoir décrit la chaîne de prévision d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (partie 2), ce rapport rend compte des résultats de cette évaluation sur l'année 2023 pour l'ozone (partie 3.1) et les PM₁₀ (partie 3.2).

2. Présentation de la plateforme de prévision

2.1. Synoptique de la chaîne de prévision

La chaîne de prévision opérationnelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes vise à produire quotidiennement des cartes de champs de concentration sur la région. Ces données modélisées sont expertisées par un prévisionniste avant d'être diffusées au grand public sous la forme de cartes d'indice ATMO.

Pour produire les données modélisées, la chaîne de prévision se compose de plusieurs modèles imbriqués. La Figure 1 illustre le synoptique général de la chaîne de modélisation d'Atmo AURA, dont les étapes sont les suivantes :

1. Le calcul de l'évolution des champs météorologiques régionaux, qui repose sur le modèle numérique WRF (*Weather Research and Forecasting model*) développé par le NCAR (*National Center for Atmospheric Research*). Les principales données d'entrée de ce modèle sont les prévisions à l'échelle globale issues du modèle GFS (*Global Forecasting System*), la topographie et l'occupation du sol. Le calcul des grandeurs météorologiques (vent, température, humidité...) par le modèle WRF à l'échelle régionale prend en compte d'une manière implicite les effets induits par le relief.
2. La préparation du reste des données d'entrée nécessaires au modèle de chimie-transport utilisé par notre chaîne de modélisation (étape 3). Ces données sont : les émissions de polluants, les conditions aux limites du modèle et ses conditions initiales. Les émissions, c'est-à-dire la répartition maillée des flux de polluants de tous les secteurs d'activité, sont calculées avec un module développé en interne. En dehors de la région Auvergne-Rhône-Alpes, les émissions anthropogéniques sont issues des données EMEP pour l'année de référence 2010.
3. La dispersion et les transformations chimiques des polluants sont calculées avec le modèle CHIMERE. Il s'agit d'un modèle eulérien 3D de dispersion atmosphérique à méso-échelle, développé par l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace) en collaboration avec l'INERIS. CHIMERE calcule de manière **déterministe** les concentrations des espèces gazeuses et particulaires. Il permet de prévoir la pollution atmosphérique en prenant en compte l'évolution de nombreux processus physico-chimiques dans l'atmosphère.
4. Le raffinement de la résolution spatiale via un module de descente d'échelle de 3km à 1km, fondé sur une simple interpolation bilinéaire.
5. Un calcul **statistique** de prévision des concentrations aux stations de mesures permanentes de la qualité de l'air. Cette étape consiste à prévoir les concentrations en chaque site de mesure par une méthode statistique (forêts aléatoires). Ces prévisions aux stations sont utilisées dans l'étape suivante pour corriger les cartes « brutes » (cartes non corrigées issues directement du modèle déterministe CHIMERE).
6. Le couplage des concentrations calculées aux stations et de la carte de prévision brute par une **correction géostatistique** (krigeage).

Pour exécuter l'ensemble de ces processus, plusieurs scripts codés en Shell et en R permettent de manipuler et convertir les données d'entrées et post-traitées.

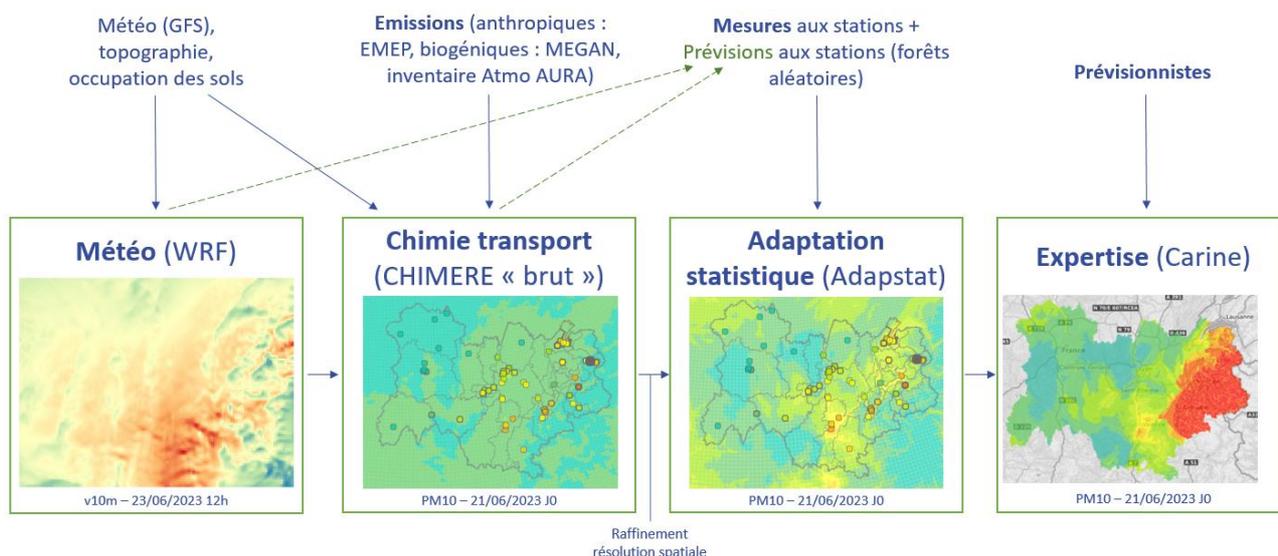


Figure 1 : Synoptique général de la chaîne de prévision régionale d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

La fiabilité de la chaîne de prévision est fortement liée à la qualité des paramètres d'entrée, notamment les caractéristiques du terme source (émissions) qui sont encore difficilement quantifiables par des mesures directes. En effet, les débits d'émissions de polluants sont en général calculés par des méthodes génériques en utilisant des facteurs d'émissions qui ont une certaine incertitude ou des cadastres d'émissions qui restent perfectibles. De plus, le système n'intègre pas d'une manière explicite la topographie dans le calcul des écoulements, les reliefs sont pris en compte uniquement pour établir les profils de vitesse de vent. Il en résulte certaines difficultés à reproduire les écoulements et les processus thermiques dans les vallées, dont la topographie est particulièrement marquée sur l'est de la région, avec les Alpes. Malgré cela, les performances de prévision restent bonnes, comme nous le verrons dans les sections suivantes.

2.2. Description des modèles

Il existe deux catégories de modèles utilisés par Atmo AURA dans sa plateforme de prévision :

- Les modèles déterministes : ils résolvent les équations physiques et chimiques qui régissent la qualité de l'air, sur la base de données météorologiques et d'émissions de polluants.
- Les modèles statistiques : ils établissent des liens statistiques plus ou moins complexes entre plusieurs variables explicatives (température, concentrations passées, vent...) pour anticiper le comportement de variables expliquées (concentrations futures). Il est fréquent que les sorties de modèles déterministes soient les entrées de modèles statistiques.

2.2.1. Modèles déterministes

Si CHIMERE est l'unique modèle de qualité de l'air déterministe dont Atmo AURA gère intégralement la mise en œuvre, des sorties semblables sont récupérées auprès de la plateforme Prévoir et alimentent également les outils mis à disposition du prévisionniste pour que celui-ci puisse affiner son expertise. Les caractéristiques de ces deux modèles sont décrites dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Description des modèles déterministes mis à disposition des prévisionnistes par la plateforme de prévision d'ATMO Auvergne Rhône-Alpes

Nom	Météorologie	Version	Résolution horizontale	Domaine de prévision	Conditions aux limites	Polluants	Echéances disponibles
PREVAIR	IFS	Chimere v2020	4 km	France	?	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂	J-1 à J+3
CHIMERE	WRF	Chimere v2014b	3 km	Région AURA	EMEP	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ , SO ₂	J-1 à J+2

2.2.2. Modèles statistiques

Les prévisions déterministes issues du modèle CHIMERE sont affinées via des méthodes statistiques regroupées au sein du module nommé « Adapstat ». Dans un premier temps, une prévision de valeurs de concentration aux stations est effectuée par la méthode des forêts aléatoires. L'apprentissage a été fait sur une période de trois ans. Les prédicteurs utilisés par les forêts aléatoires comportent notamment les mesures passées, les concentrations prévues par CHIMERE et certaines grandeurs météorologiques prévues par WRF. Dans un second temps, ces prévisions aux stations sont couplées à la carte brute issue du modèle déterministe CHIMERE via une méthode géostatistique : le krigeage. Le module Adapstat et l'adaptation statistique menée par Prévoir (nommée Prévoir AS dans ce rapport) utilisent un krigeage en dérive externe. A la différence d'Adapstat, Prévoir AS effectue sa prévision aux stations par régression multilinéaire.

Tableau 2 : Description des modèles statistiques mis à disposition des prévisionnistes par la plateforme de prévision d'ATMO Auvergne Rhône-Alpes

Nom du modèle	Méthodologie	Résolution horizontale	Domaine de prévision	Polluants prévus	Echéances disponibles
PREVAIR AS	Prévision aux stations par régression multilinéaire, puis krigeage en dérive externe.	1 km	France	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂	J-1 à J+3
ADAPSTAT	Prévision aux stations par forêts aléatoires puis krigeage en dérive externe.	1 km	Région AURA	O ₃ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ , SO ₂	J-1 à J+2

2.2.3. Expertise du prévisionniste

Chaque jour, l'ensemble de ces modèles déterministes et statistiques est mis à disposition d'un prévisionniste. Il s'agit d'une personne à même d'analyser les cartes et parfois de les corriger avant diffusion, selon le résultat de son expertise. L'outil utilisé pour corriger les cartes est nommé CARINE, c'est pourquoi on fera référence aux scores après expertise sous ce nom.

2.3. Taux de disponibilité des modèles

Le taux de disponibilité sur une année est un indicateur parmi d'autres du bon fonctionnement d'une chaîne de prévision, exprimant le nombre de jours où le modèle est disponible au cours de l'année considérée. Le Tableau 3 représente le taux de disponibilité de tous les modèles présents sur la plateforme de prévision d'ATMO Auvergne Rhône-Alpes en 2023. Les jours d'indisponibilité de Prévoir AS sont liés à des difficultés de récupération des données. Le taux de disponibilité d'Adapstat atteint quant à lui 99%, témoignant d'un fonctionnement robuste de la chaîne de prévision. Notons que le prévisionniste a la possibilité, si un modèle n'est pas disponible où s'il le juge pertinent, de choisir d'utiliser un modèle plutôt qu'un autre.

Tableau 3 : Taux de disponibilité des prévisions en 2023

Nom usuel	Nombre de jours indisponibles	Taux de disponibilité
PREVAIR	0	100%
CHIMERE	0	100%
PREVAIR AS	29	92%
ADAPSTAT	1	99%

2.4. Description des mesures

Les mesures utilisées pour évaluer les résultats de la chaîne de modélisation sont issues du réseau de stations fixes géré par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, représentant près de 90 points. Ces stations ont été classées par typologie (urbaine, rurale, périurbaine, industrielle, trafic). Les stations de typologie industrielle et trafic ont été écartées de cette analyse statistique car elles sont largement influencées par les émissions locales et de proximité, alors que le modèle est dit de « fond ». La répartition et le nombre de stations par typologie et par département sont présentés en détail dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Répartition des stations par département et typologie

	Nombre de stations	Urbaines	Périurbaines	Rurales
Région	82	44	25	13
Ain	2	1	1	0
Allier	4	3	0	1
Ardèche	1	0	0	1
Cantal	2	1	0	2
Drôme	5	3	1	1
Isère	17	8	7	2
Loire	6	4	2	0
Haute-Loire	2	1	0	1
Puy-de-Dôme	10	5	4	1
Rhône	13	7	5	1
Savoie	10	5	2	3
Haute-Savoie	10	6	3	1

La répartition spatiale des stations et le type de mesure associé sont accessibles sur la figure suivante.

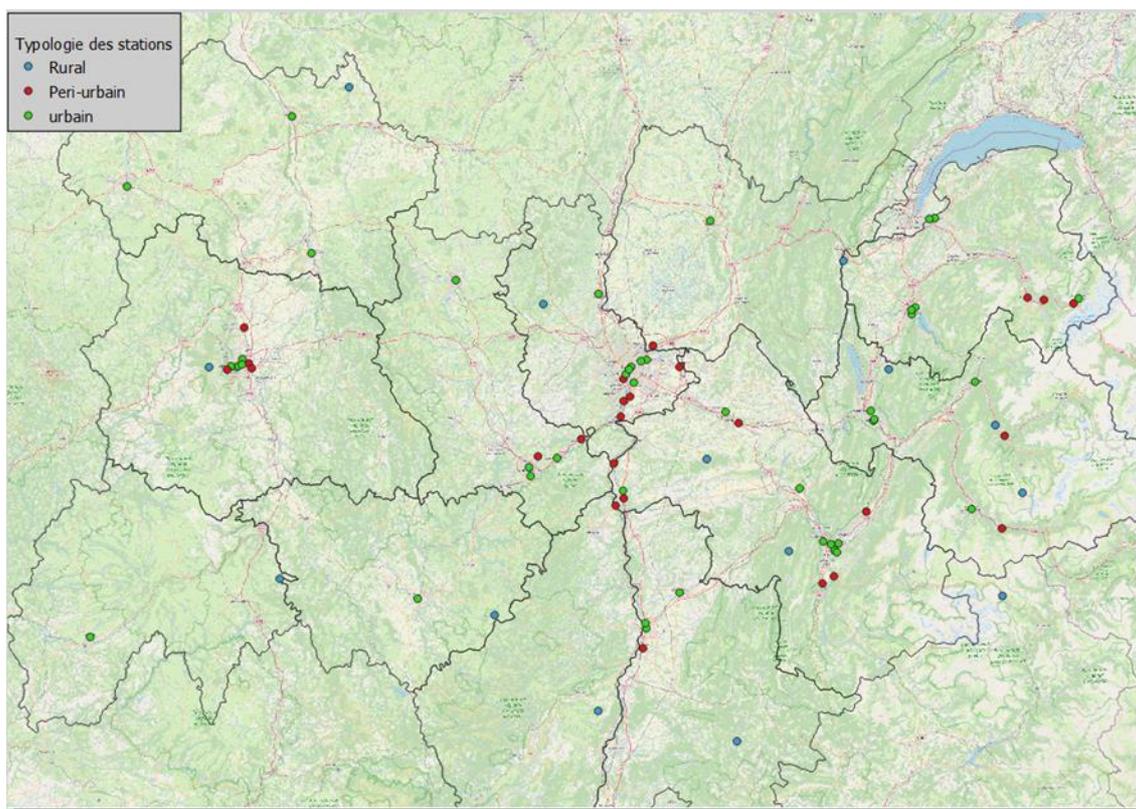


Figure 2 : Cartographie des stations par typologie 2023 Auvergne-Rhône-Alpes

Seules les stations de typologie urbaine, périurbaine et rurale sont utilisées pour calculer les paramètres statistiques. De plus, pour évaluer les résultats de modélisation, on utilise seulement les stations pour lesquelles le taux de disponibilité quotidien et annuel de chaque couple modèle-mesure est supérieur à 75% (cela est détaillé dans l'annexe 2). Pour l'année 2023, les mesures utilisées dans cette évaluation sont réparties comme suit :

	Urbaines	Périurbaines	Rurales
PM10	32	11	7
O3	32	12	12

Tableau 5 : Détail du nombre de stations "de fond" par typologie pour l'O₃ et les PM₁₀

La performance du système de prévision est évaluée en comparant les concentrations prédites C_p de particules PM₁₀ et d'ozone (O₃) aux concentrations mesurées (observées) C_m . La performance du système n'est pas évaluée pour le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂), bien que faisant partie des polluants pris en compte pour les épisodes de pollution. En effet, ces deux polluants ne font pas l'objet d'exigence dans le référentiel technique national pour la prévision de la qualité de l'air. **Il convient de rappeler que les résultats de modélisation corrigés statistiquement (modèle « Adapstat ») peuvent être ajustés manuellement par les prévisionnistes (modèle « Carine »).** Ces ajustements sont réalisés sur la base de l'expertise du prévisionniste, en s'appuyant notamment sur la comparaison modèle/mesure des jours précédents, à la fois sur les modèles de prévision de météorologie et de qualité de l'air. La convergence ou la divergence de différents modèles sont également des paramètres pris en compte. Les ajustements peuvent dans certains cas entraîner des dépassements de seuils tels que définis dans les dispositifs

de gestion des épisodes de pollution. Cette méthode permet d'assurer une cohérence entre les cartes de qualité de l'air diffusées au public et les dispositifs d'information ou d'alerte. Les déterminants pour chaque prévisionniste lors de la mise en œuvre d'un ajustement sont tracés dans un « rapport de prévision » rédigé quotidiennement par un prévisionniste. Un travail interne a permis l'harmonisation des pratiques de correction en fixant les critères et les règles d'ajustement des cartes.

3. Evaluation de la plateforme de prévision

Dans ce rapport, les scores statistiques calculés sont présentés pour les deux approches, avec et sans expertise humaine, sachant que l'ajustement des cartes n'est pas systématique. Ces scores sont calculés en utilisant le package Python « Evaltools¹ » codéveloppé par l'INERIS et Météo France. Pour évaluer la qualité globale de la simulation, différents indicateurs statistiques sont moyennés sur l'ensemble des capteurs de la région ou par zone géographique, selon les bassins d'air utilisés pour la gestion des épisodes de pollution, nommés "zones AIP" dans ce document (Annexe 1).

Afin de quantifier les résultats des prévisions, il est nécessaire d'utiliser des indicateurs statistiques permettant d'étudier les écarts entre le modèle et les mesures. La bibliographie relate de nombreux travaux ayant abordé cette question récurrente de la quantification de la performance des prévisions et ces travaux ont conduit à retenir certains paramètres statistiques parmi une multitude de paramètres existants : le biais, l'erreur relative, l'erreur quadratique moyenne, la fraction dans un facteur de 2, le coefficient de performance, le coefficient de corrélation...

Sur la base de ces travaux bibliographiques, et conformément à « l'état de l'art », trois indicateurs statistiques complémentaires ont été retenus pour évaluer la performance des prévisions :

- **Le biais moyen (Biais)** : permet d'estimer l'erreur globale du modèle en quantifiant l'écart entre les moyennes des valeurs observées et modélisées. La valeur optimale de ce critère est 0.
- **La racine carrée de l'erreur quadratique des estimations (RMSE)** : peut être assimilée à une erreur locale. La valeur optimale pour ce paramètre est également 0.
- **Le coefficient de corrélation (R)** : paramètre statistique qui permet d'évaluer la corrélation entre les variations de deux variables. La valeur du coefficient de corrélation varie entre -1 et 1. La valeur optimale correspondant à des variables parfaitement corrélées est 1.

Les statistiques sont estimées à partir de la moyenne journalière pour les particules PM₁₀ et de la valeur maximale horaire du jour pour l'ozone (O₃). Le calcul a été effectué à la fois pour les sorties brutes du modèle déterministe (Chimère), les sorties brutes adaptées statistiquement (Adapstat) et les sorties expertisées, c'est-à-dire ajustées manuellement par le prévisionniste (Carine). Les sections suivantes présentent les résultats pour l'ozone (section 3.1) puis les PM10 (section 3.2).

3.1. Prévision ozone (O3)

L'ozone est un polluant secondaire dont les concentrations sont étroitement liées à l'intensité du rayonnement solaire. Plus le rayonnement est élevé, plus valeurs observées ont de chance d'être élevées. Les concentrations en ozone montrent ainsi de grandes variations au cours de l'année, avec des valeurs plus fortes au printemps et en été que le reste de l'année. **La prévision d'ozone est ainsi critique d'avril à septembre, et c'est donc sur cette période que les scores ont été calculés.**

3.1.1. Scores classiques (biais, RMSE et corrélation)

3.1.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité

¹ <https://opensource.umr-cnrm.fr/projects/evaltools>

Puisque les modèles de dispersion atmosphérique ne peuvent pas prédire parfaitement la réalité (ou les concentrations mesurées par les capteurs), le groupe de travail national a proposé des fourchettes de valeurs associées au biais, à la RMSE et à la corrélation pour évaluer les modèles : les résultats sont considérés comme acceptables lorsque ces critères sont vérifiés. Le **Tableau 6** illustre les objectifs de qualité définis pour l’ozone. Ces valeurs doivent s’appliquer aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1.

Biais ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	RMSE ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Corrélation
$-10 < b < 10$	RMSE < 25	$c > 0,7$

Tableau 6 : Objectifs de qualité définis pour l’O₃ s’appliquant aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1.

Dans cette section, on s’intéresse à la performance de la chaîne de prévision par bassin d’air (au sens des dispositifs de gestion des épisodes de pollution). La *Figure 3* (respectivement *Figure 4*) présente les performances statistiques (RMSE, biais et corrélation) calculées pour l’échéance J0 (respectivement J+1). **Les objectifs qualité pour chaque indicateur sont largement respectés par la prévision expertisée** (Outil Carine, en bleu) **à l’échéance J0**. Les corrélations minimales et maximales observées valent respectivement 0,77 et 0,85 avec un score régional de 0,79 pour les résultats expertisés à J0, tandis que les RMSE se situent entre 11,54 et 14,20 $\mu\text{g.m}^{-3}$, pour 13,72 $\mu\text{g.m}^{-3}$ global sur la région. **Les performances des prévisions expertisées se dégradent très légèrement à J+1 mais restent au-dessus des exigences qualité quel que soit l’indicateur.**

Ces figures montrent que les résultats des prévisions non ajustées (Adapstat, en vert) sont globalement assez similaires à ceux expertisés par le prévisionniste. On remarque que l’intervention des prévisionnistes génère statistiquement une légère amélioration des prévisions d’ozone, particulièrement pour l’échéance J+1. Le calcul des scores illustre les bonnes performances du modèle ajusté statistiquement par rapport au modèle CHIMERE Brut (en rouge) pour les deux échéances de prévision et souligne ainsi l’importance de l’assimilation statistique dans la plateforme de prévision. Le modèle brut à lui seul ne permet pas d’atteindre les objectifs qualités de corrélation. On notera aussi une tendance des sorties adaptées statistiquement (Adapstat) et expertisées (Carine) à surestimer les concentrations en ozone à J0 et J+1, comme en témoignent les biais très majoritairement positifs.

Le modèle de prévision PREV’AIR brut présente une meilleure corrélation que Chimère brut, permettant d’atteindre les objectifs de qualité dans certains bassins d’air ainsi qu’au niveau régional. Cependant, il présente des limitations significatives au niveau du biais et de la RMSE, particulièrement dans le Cantal, la Haute-Loire et le Puy de Dôme pour lesquels le biais ne respecte pas les objectifs de qualité. Contrairement à CHIMERE Brut, PREV’AIR sous-estime largement les concentrations en ozone à J0 et J+1 avec des biais majoritairement négatifs. Le modèle assimilé PREV’AIR AS pour l’échéance J0 améliore significativement les performances du modèle sur tous les indicateurs, atteignant des corrélations comparables à Adapstat et Carine, mais reste moins performant pour le biais et la RMSE sur la majorité des bassins. Pour l’échéance J+1, le modèle PREV’AIR AS se dégrade plus faiblement, le rendant ainsi plus performant sur tous les indicateurs à cette échéance.

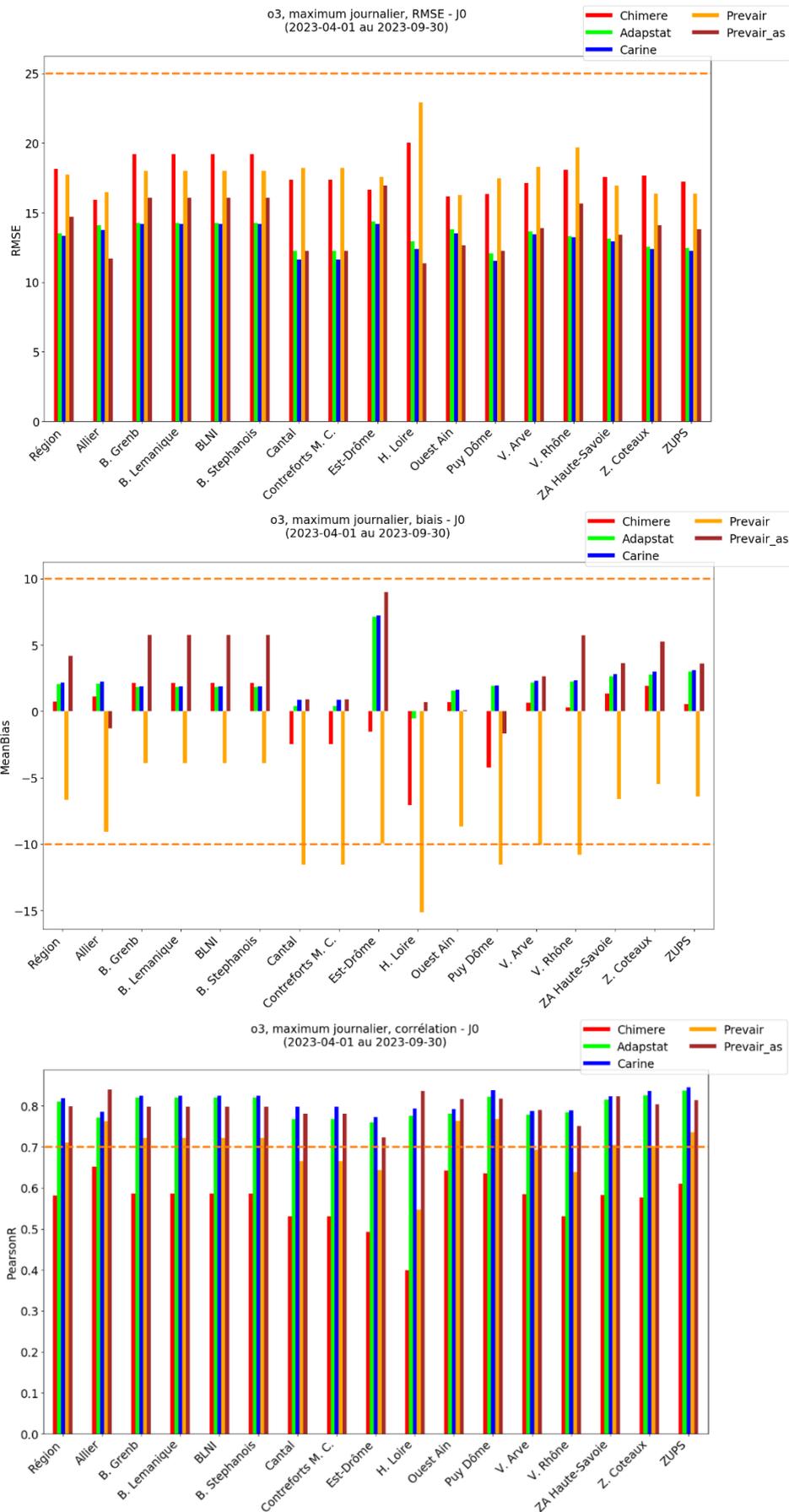


Figure 3 : Ozone - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), PREV'AIR (orange), PREV'AIR assimilé(marron) et de l'adaptation statistique (vert) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.

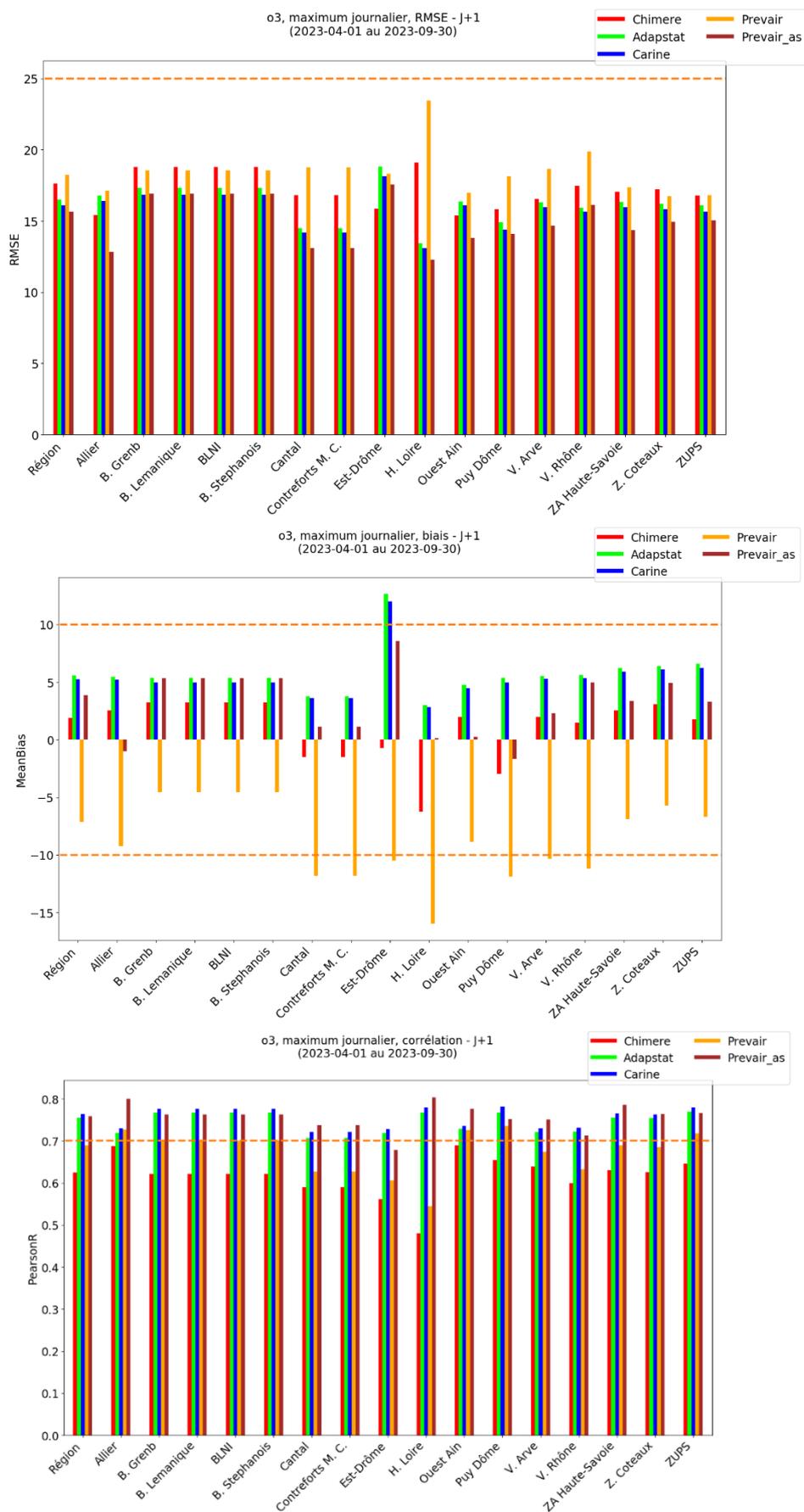


Figure 4: Ozone - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé(marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.

3.1.1.2. Par typologie

Les Figure 5 et Figure 6 illustrent les performances de la chaîne de prévision en fonction de la typologie des stations de mesures. Les performances sont comparables entre les différentes typologies avec des performances statistiques légèrement supérieures associées aux stations rurales. Cela peut s'expliquer par le fait que les stations urbaines et périurbaines sont plus sujettes à des variations de concentrations issues de sources locales dont le modèle peine à rendre compte. Globalement, les indicateurs statistiques calculés dans les Figure 5 et Figure 6 indiquent un très bon accord entre les prévisions et les mesures, les indicateurs statistiques étant conformes aux exigences qualité. Les modèles adaptés statistiquement et expertisés montrent tous les trois des biais positifs, quel que soit l'environnement d'implantation, et tendent donc à surestimer les concentrations. Le modèle PREV'AIR AS montre des performances légèrement inférieures à celles de ADAPSTAT et CARINE à J0 pour toutes les typologies mais est légèrement plus performant à J+1. Le modèle CHIMERE brut, lui, présente des biais positifs aux stations urbaines, et négatifs aux stations rurales à J0 comme à J+1 alors que le modèle PREV'AIR brut présente des biais négatifs quel que soit la typologie à J0 et J+1. Les deux modèles bruts montrent des performances similaires en termes de RMSE, mais PREV'AIR présente des biais plus élevés, bien que sa corrélation soit meilleure à J0 et J+1.

La comparaison des prévisions avant et après l'expertise humaine montre **que l'ajustement des cartes par les prévisionnistes peut améliorer légèrement les prévisions de l'ozone quelle que soit la typologie des stations.**

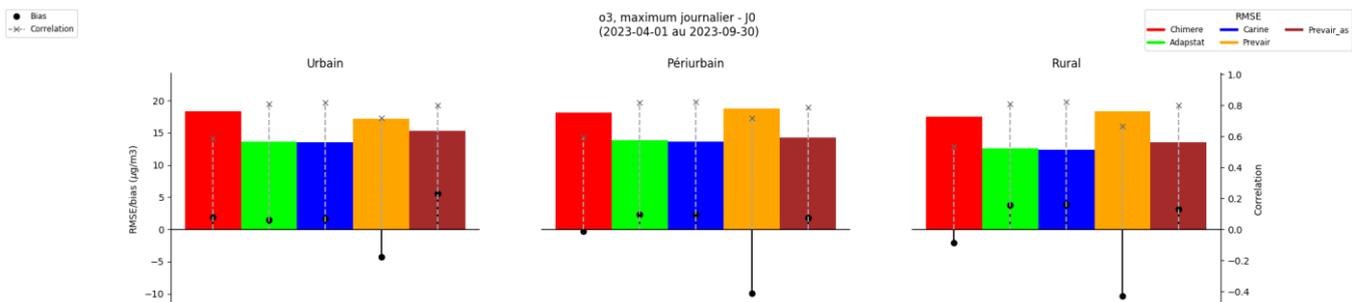


Figure 5 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0.

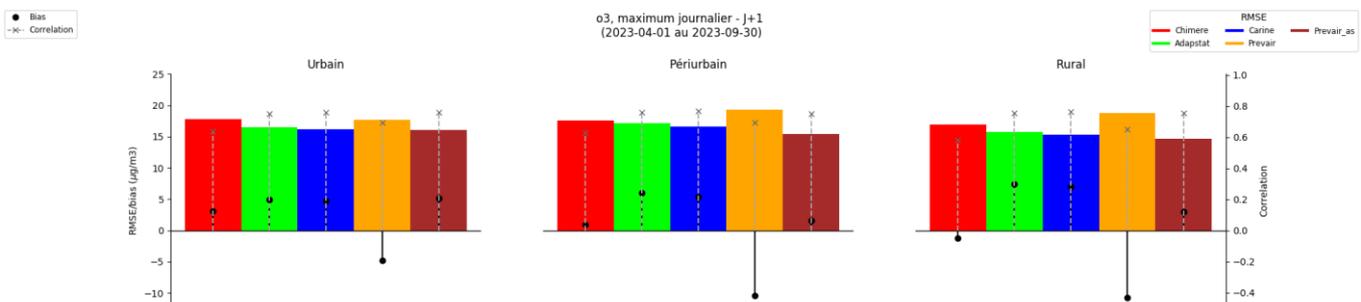


Figure 6 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1.

3.1.1.3. Par échéance de prévision

La Figure 7 présente les performances statistiques calculées pour les différentes échéances de prévision (J0, J+1 et J+2) pour la période avril à septembre 2023, pour les résultats ajustés par les prévisionnistes (CARINE, en bleu), résultats adaptés statistiquement (ADAPSTAT, en vert) les résultats CHIMERE brut (en rouge), les résultats bruts PREV'AIR (orange) et les résultats bruts PREV'AIR assimilés (marron). Cette figure montre que les résultats de prévision (adaptés et ajustés) sont naturellement plus fiables pour J0 (prévision pour le jour-même) que pour le lendemain (J+1) et le surlendemain (J+2). En effet, les biais et les RMSE sont plus faibles à J0 qu'à J+1 et J+2. Les résultats adaptés montrent des biais positifs plus élevés lorsque l'échéance est lointaine. **Ainsi, plus l'échéance est lointaine, plus les concentrations tendent à être surestimées.** Cela n'est pas vrai pour PREV'AIR AS qui, quelle que soit l'échéance, sous-estime les concentrations d'environ $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les performances du modèle déterministe CHIMERE brut, elles, sont similaires quelle que soit l'échéance. Ce diagramme montre encore une fois que les résultats avec et sans ajustement sont relativement proches, l'ajustement des cartes de prévision ayant tout de même permis d'améliorer les biais moyens à J0, J+1 et J+2 par rapport aux résultats adaptés statistiquement. Ce constat est valable également pour la RMSE, bien que l'impact soit moins marqué. Les scores aux diverses échéances respectent les objectifs de qualité fixés. Le modèle PREV'AIR montre une plus faible variabilité entre les échéances observée démontrant une dégradation moins marquée que les modèles CHIMERE brut, ADAPSTAT et la prévision expertisée (CARINE). Cette disparité dans la dégradation des prévisions altère la hiérarchie des performances, ADAPSTAT et CARINE étant plus performants à J0, tandis que le modèle PREV'AIR assimilés affiche une légère supériorité à J+1. À l'échéance J+2, tous les modèles présentent des performances comparables.

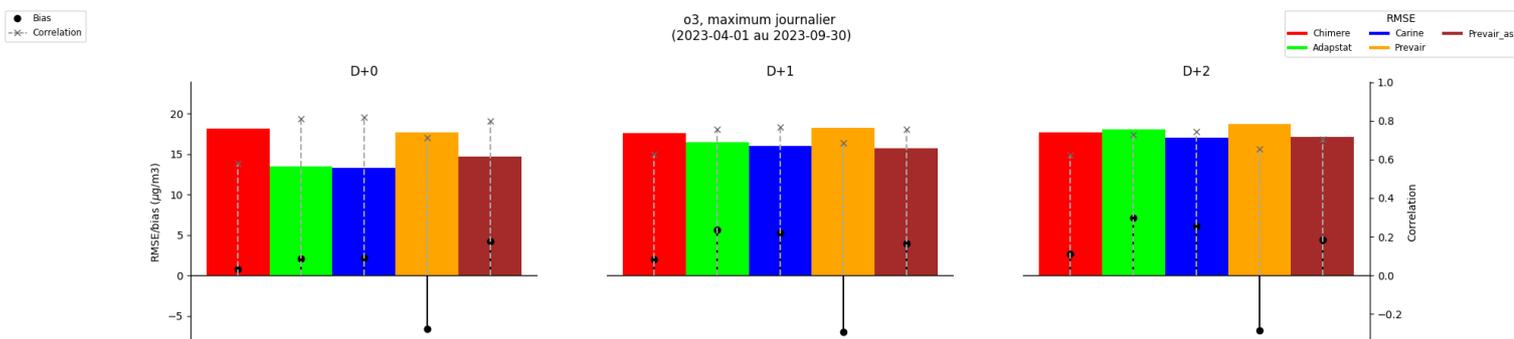


Figure 7 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), pour l'adaptation statistique (vert), pour PREV'AIR (orange) et pour PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023

3.1.1.4. Par gamme de concentration

Ici, l'analyse consiste à grouper les données journalières selon leur classe de concentration (par rapport aux observations). Pour chaque groupe, on calcule les scores moyens. Les Figure 8 et Figure 9 illustrent l'évolution des scores (RMSE et biais moyen) en fonction des classes de concentrations d'O₃ pour J0 et J+1 respectivement. Ces figures montrent que l'évolution des performances des modèles en fonction des gammes de concentrations suit une tendance similaire pour tous les modèles. Chacun sous-estime en effet les fortes concentrations d'O₃ et surestime les faibles concentrations. Ce comportement est valable à la fois pour les prévisions de l'échéance J0 et celles de J+1. Pour les modèles ajustés, on observe par exemple à J0 un biais égal à $18,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour ADAPSTAT et $18,02 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour PREV'AIR AS à des concentrations inférieures à $70 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, tandis qu'elles atteignent respectivement $20,45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et $29,87 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour des concentrations supérieures à $170 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ces chiffres sont similaires à J+1. Les cinq modèles sont ainsi plus performants pour prévoir les

concentrations qui varient entre 90 et 130 $\mu\text{g.m}^{-3}$. On notera la difficulté de CHIMERE brut et PREV'AIR brut à prévoir les concentrations supérieures à 130 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et donc anticiper les dépassements du seuil réglementaire de 180 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Les résultats adaptés statistiquement permettent heureusement de diviser par deux environ la RMSE et le biais sur ces concentrations.

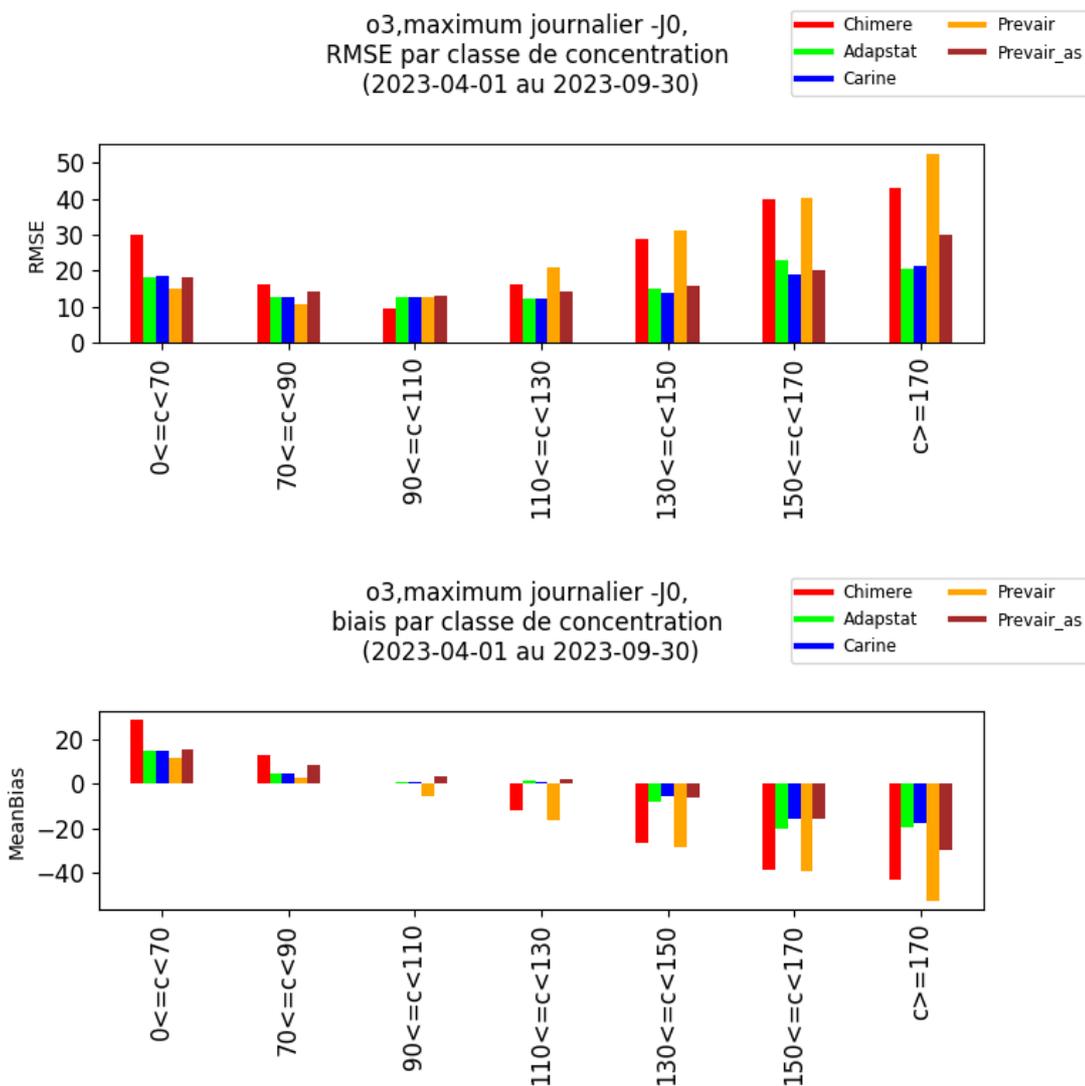


Figure 8 : Ozone - Scores de RMSE et biais par classe de concentrations des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), de PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé (marron) d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J0.

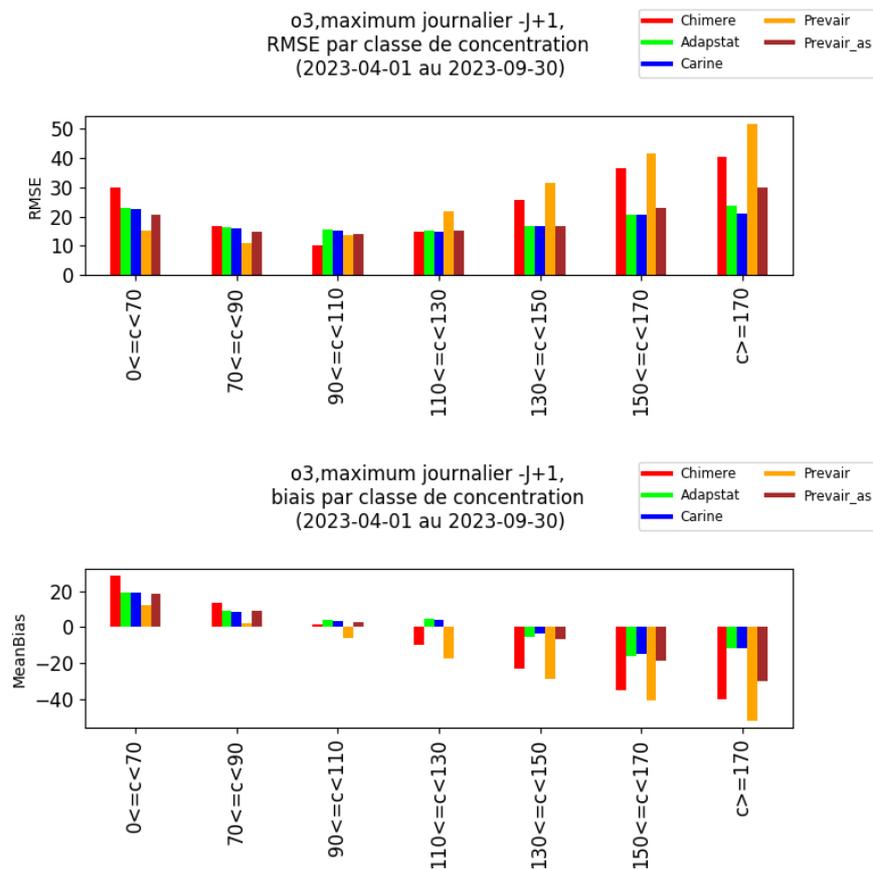


Figure 9 : Ozone - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions Carine (bleu), CHIMÈRE (rouge), de l'adaptation statistique Chimère (vert), le modèle PREV'AIR et le modèle PREV'AIR'AS d'avril à septembre 2023 sur l'échéance J+1.

3.1.1.5. Sur plusieurs années

L'objectif de cette partie est de comparer les performances 2023 par rapport aux années précédentes. La Figure 10 montre l'évolution interannuelle des scores de performances pour les cinq différents modèles. On peut notamment observer que :

- Les résultats de prévision sont satisfaisants pour les modèles ADAPSTAT et CARINE : sur les six dernières années, les objectifs de qualité sont largement respectés pour ces deux modèles,
- Les modèles bruts (PREV'AIR et CHIMERE brut) tendent à s'améliorer d'année en année en ce qui concerne les RMSE et les biais (avec une exception pour le biais CHIMERE brut en 2021),
- Les performances des modèles CHIMERE sont légèrement plus faibles en termes de corrélation en 2023 que lors des années précédentes. On constate également une légère tendance à l'amélioration pour la prévision expertisée d'ozone en termes de RMSE,
- Comme pour les trois années précédentes, les biais calculés pour les modèles adaptés et ajustés sont positifs en 2023. Cela témoigne d'une tendance à surestimer les maximums des concentrations pour l'O₃ après adaptation statistique,
- Les performances du modèle ajusté ADAPSTAT et de la prévision expertisée (CARINE) sont équivalentes à celle de l'année 2022 en termes de corrélation. On constate également une légère tendance à l'amélioration pour la prévision expertisée d'ozone en termes de RMSE.

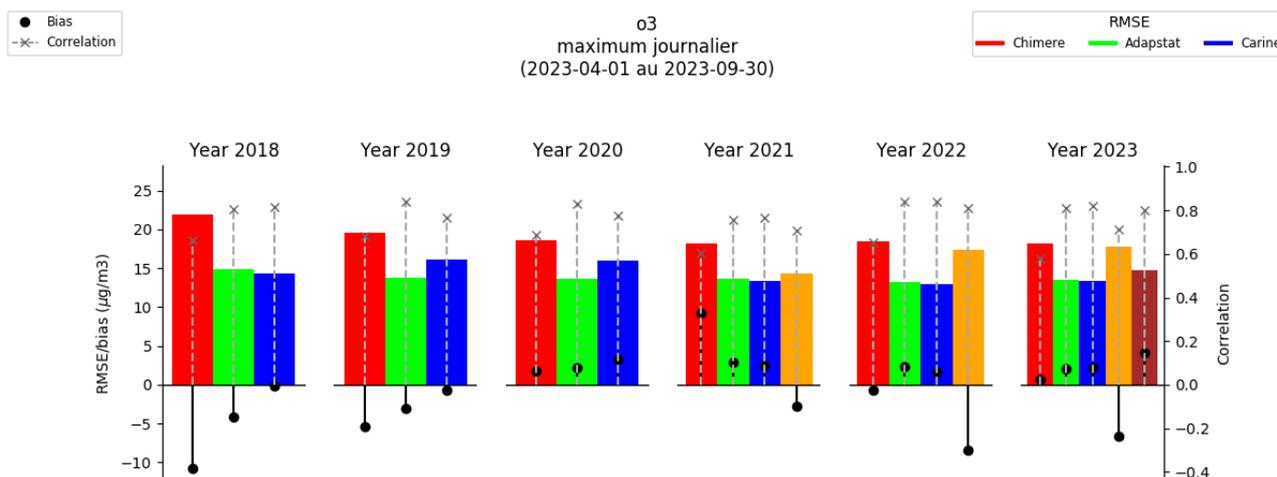


Figure 10 : Ozone - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) entre avril et septembre depuis 2018 pour CHIMERE, pour son adaptation statistique pour le modèle Carine (modèle expertisé), pour le modèle PREV'AIR et pour le modèle PREV'AIR assimilé

3.1.2. Performances sur les seuils réglementaires

Les scores présentés dans cette partie sont issus des méthodes d'évaluation de prévision par dichotomie. Celles-ci sont fondées sur une table de contingence indiquant le nombre de « oui » et de « non » prévus et mesurés (Tableau 7). Les quatre combinaisons de prévisions et d'observations permettent de calculer des probabilités conjointes et conditionnelles. Le tableau de contingence compte les éléments suivants :

- Bonne détection (ou good detection) : événement prévu et observé.
- Détection manquée (ou miss) : événement non prévu mais observé.
- Fausse détection (ou false alarm) : événement prévu mais non observé.
- Bonne non-détection (ou correct negative) : événement non prévu et non observé.

		Observation		Total
		Oui	Non	
Prévision	Oui	Bonne détection (a)	Fausse détection (b)	Prévu (a+b)
	Non	Détection manquée (c)	Bonne non-détection corrects (d)	Non prévu (c+d)
Total		Observé (a+c)	Non observé (b+d)	

Tableau 7 : Table de contingence

Cette table permet de visualiser quel type d'erreur a été commis. Une bonne prévision devrait logiquement ne contenir que des succès et des rejets corrects, autrement dit tous les dépassements et non dépassements sont validés par les mesures. Inversement, une mauvaise prévision correspond à des dépassements ou non-dépassements non validés par les mesures. Le nombre total

d'évènements prévus et observés est également étudié et est appelé distribution marginale. Une grande variété d'indicateurs statistiques sont calculés à partir des éléments de cette table de contingence.

Le comptage des occurrences se fait par rapport à un seuil prédéfini. Il s'agit ici des seuils de dépassement des valeurs réglementaires (seuils d'informations ou d'alerte). Les seuils utilisés comme critères de dépassement sont décrits ci-dessous :

Polluant	Seuil
O ₃ : maximum horaire	180 µg.m ⁻³
PM ₁₀ : moyenne journalière	50 µg.m ⁻³

Tableau 8 : Valeurs des seuils utilisées pour le calcul des critères statistiques

3.1.2.1. Scores aux stations

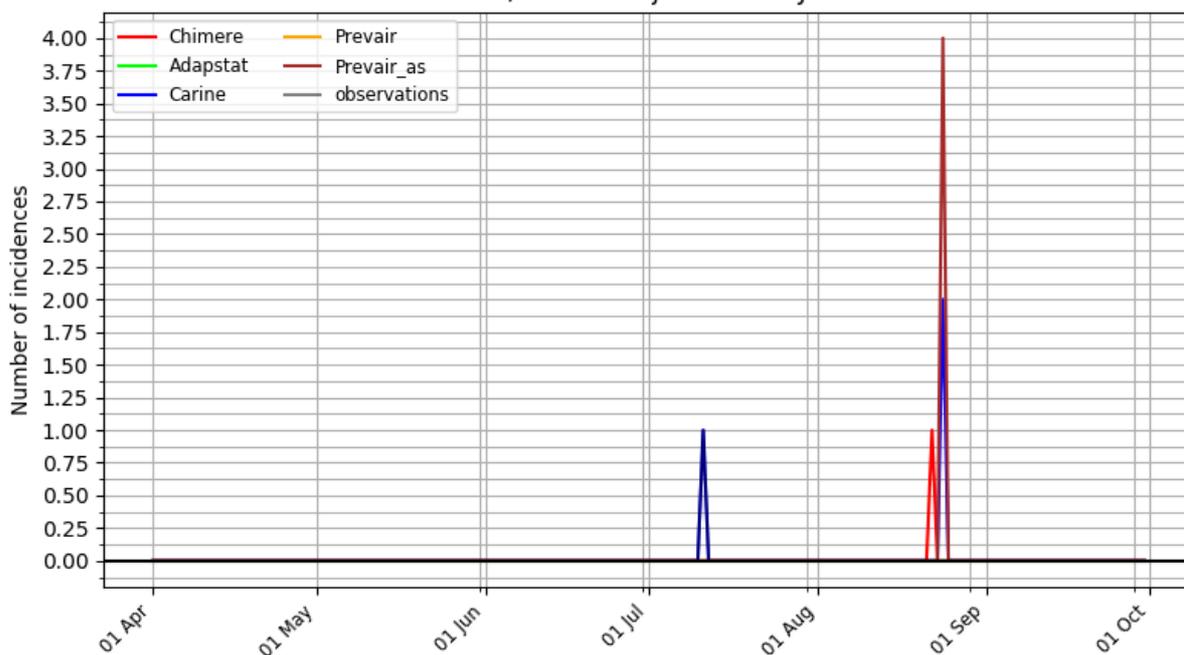
Dans cette partie est étudiée la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d'informations aux stations pour l'O₃, soit 180 µg.m⁻³. Il convient de rappeler que ces dépassements aux stations n'expliquent pas systématiquement les vigilances de pollution activées sur la région en 2023. En effet, l'épisode de pollution se caractérise par le dépassement d'un seuil d'Informations ou d'alerte dans le respect d'autres critères définis dans [l'arrêté cadre zonal N°PREF-DIA-BCI-2018-05-22-01](#)² (par exemple, nombre d'habitants ou surface concernés). La période d'avril à octobre compte 1 unique dépassement aux stations du seuil de 180 µg/m³.

3.1.2.1.1. Séries temporelles

La *Figure 11* illustre le nombre de dépassements pour chaque jour de la période étudiée du seuil d'informations et de recommandations pour le polluant O₃. Elle représente à la fois le nombre de dépassements observés (en gris) et ceux prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond. Il s'est produit un unique dépassement en 2023, toutes stations confondues, qui n'a été détecté par aucun des modèles (ce dépassement a eu lieu le 11 juillet 2023, le prévisionniste a anticipé un dépassement sur le bassin Grenoblois mais le dépassement observé a eu lieu à Annemasse). Le modèle PREV'AIR brut n'a modélisé aucun dépassement sur l'ensemble de la période. Globalement, le système de prévision sous-estime les concentrations et l'ampleur de l'épisode estival d'ozone de début juillet 2023 sur la région Auvergne-Rhône-Alpes. Cela rejoint la tendance des modèles, constatée dans la section 3.1.1.4, à sous-estimer les concentrations supérieures à 130 µg/m³. Cependant, avec seulement une échéance non détectée, il est difficile de tirer des conclusions définitives quant aux causes de non-détection. Il est à noter cependant que les concentrations modélisées sur la maille kilométrique de chaque station ne constituent pas le seul critère sur lequel s'appuient les prévisionnistes. D'autres facteurs, tels que la surface ou la population exposée, sont également pris en compte lors de la correction des cartes.

²http://www.prefectures-regions.gouv.fr/auvergne-rhone-alpes/content/download/35211/238621/file/5-7-2018_recueil-84-2018-096-recueil-des-actes-administratifs-special.pdf

Dépassement du seuil de 180 ug/m3, o3,maximum journalier - J0



Dépassement du seuil de 180 ug/m3, o3,maximum journalier - J+1

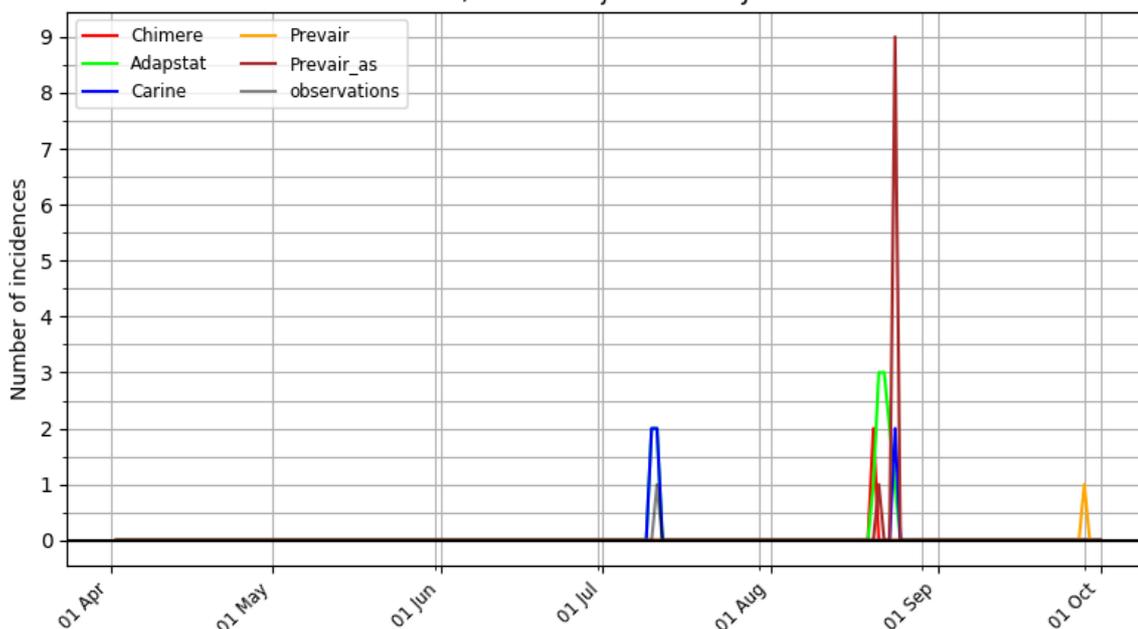


Figure 11 : Ozone - Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J0 (en haut) et à J+1 (en bas) sur la période avril – septembre. Modèle brut CHIMERE (en rouge), Chimère adapté statistiquement (Adapstat - en vert) le modèle ajusté par le prévisionniste (Carine – en bleu), Modèle PREV’AIR brut (en Vert) et PREV’AIR assimilé (en marron)

3.1.2.1.2. Eléments de la table de contingence

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Figure 13 illustrent les valeurs des tables de contingence (bonne détection, détection manquée et fausse détection) cumulées sur les stations de fond pour la région (en haut) et décliné selon les zones définies par l’arrêté inter-préfectoral (en bas). Le graphique du bas de chaque figure affiche la table de contingence pour le modèle de référence (ici CARINE pour Atmo Auvergne-Rhône-Alpes).

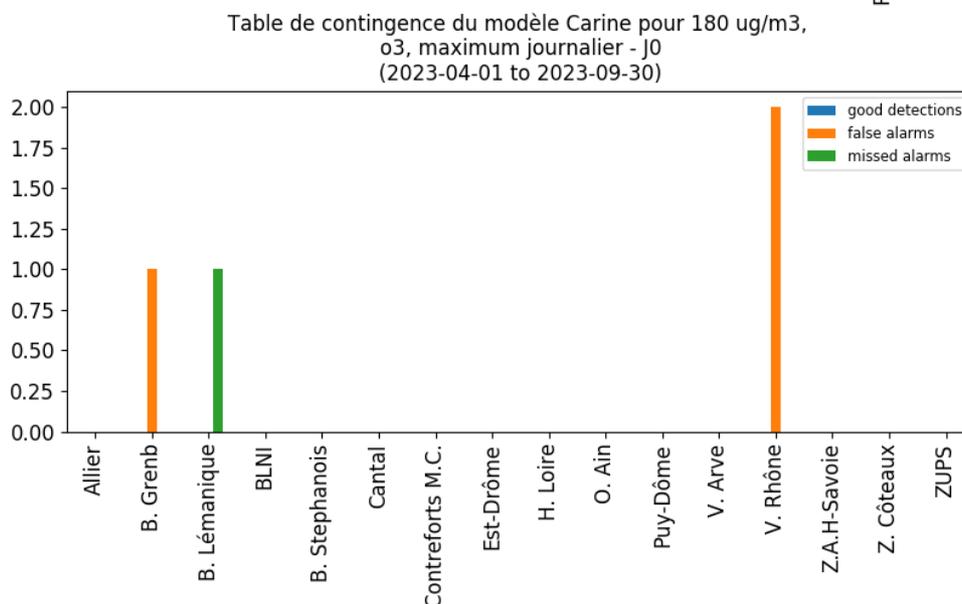
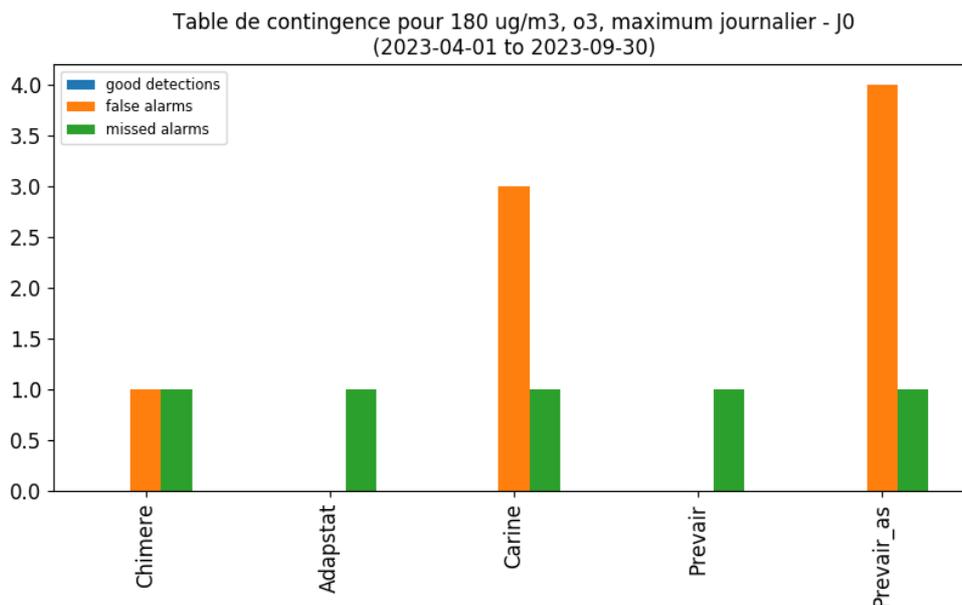


Figure 12 : Ozone - Tables de contingence sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J0 pour le seuil de 180 µg/m³. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en vert. Gauche : Tables de contingence de CHIMERE (1^{er} groupe), ADAPSTAT (2^e groupe), de Carine (3^e groupe), de PREV'AIR (4^e groupe) et de PREV'AIR assimilé (5^e groupe). pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. Droite : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zones AIP.

On voit ici également que tous les modèles n'ont pas détecté l'unique alerte de l'année 2023. L'alerte manquée s'explique notamment par la forte sous-estimation des modèles autour du seuil réglementaire de 180 µg/m³. Nous avons vu dans la section 3.1.1.4 que le modèle Adapstat a un fort biais négatif (-21,3 µg/m³) pour les concentrations supérieures à 170 µg/m³. Les «fausses détections», elles, reflètent la mise en vigilance par précaution lorsque les niveaux s'approchent des seuils d'activation, ceci afin de limiter le nombre d'évènements non prévus. On adopte une approche plus précautionneuse à l'approche des seuils réglementaires, ce qui peut conduire à une augmentation du nombre de fausses alertes, comme cela est notable à l'échéance J0. En effet, lorsque le modèle adapté statistiquement (ADAPSTAT) n'anticipe aucun dépassement, la prévision expertisée par les prévisionnistes en prévoit 4. A l'échéance J+1, un grand nombre de fausses alertes est prévu par les

modèles assimilés. Respectivement, on compte 14, 6 et 10 fausses alertes pour les modèles ADAPSTAT, la prévision expertisée (CARINE) et PREV'AIR AS.

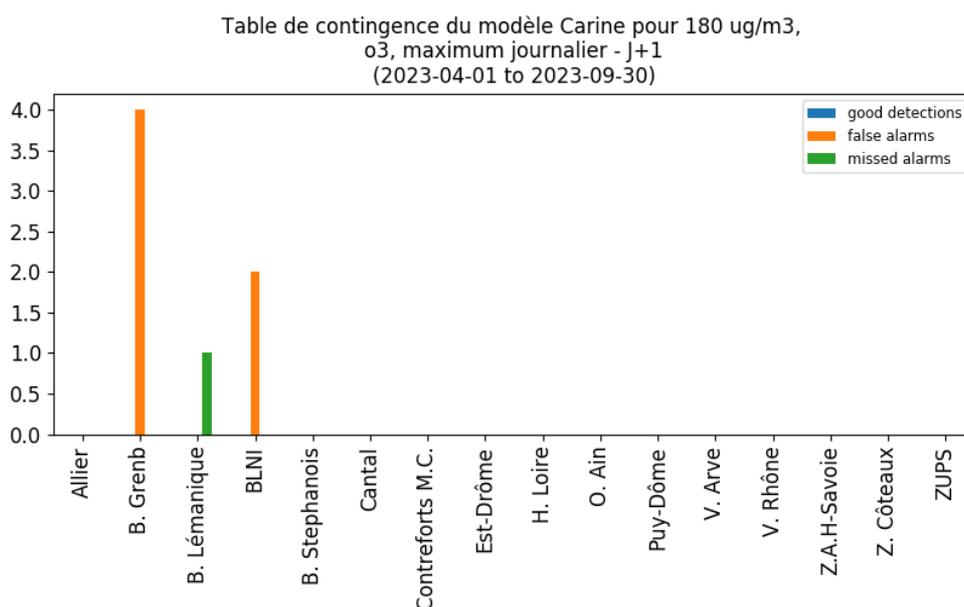
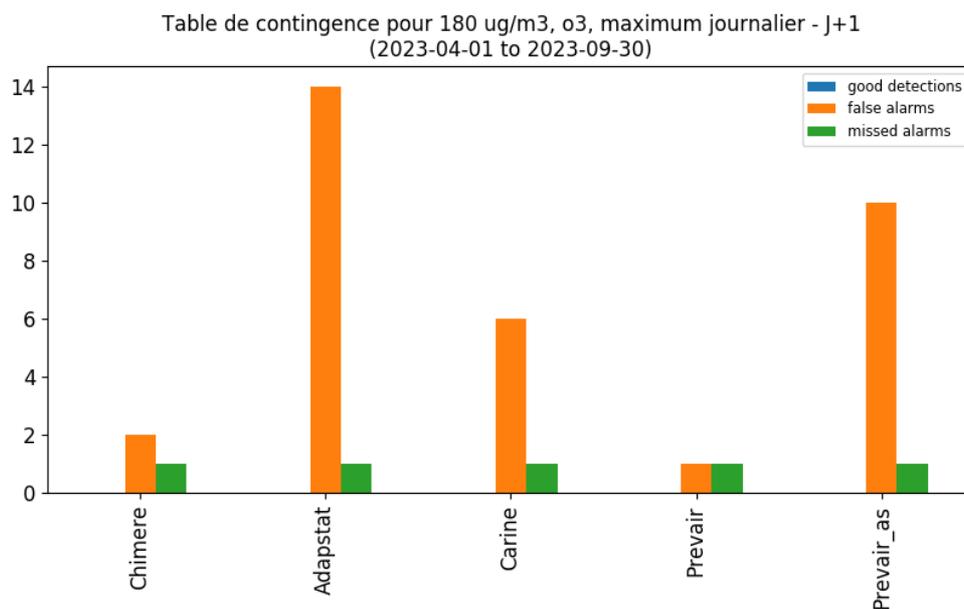


Figure 13 : Ozone - Tables de contingence sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J+1 pour le seuil de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les bonnes détections sont en bleu, les fausses détections en orange, et les détections manquées en vert. Gauche : contingence de CHIMERE (1er groupe), ADAPSTAT (2e groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR (4e groupe) et de PREV'AIR assimilé (5e groupe). pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. Droite : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zones AIP.

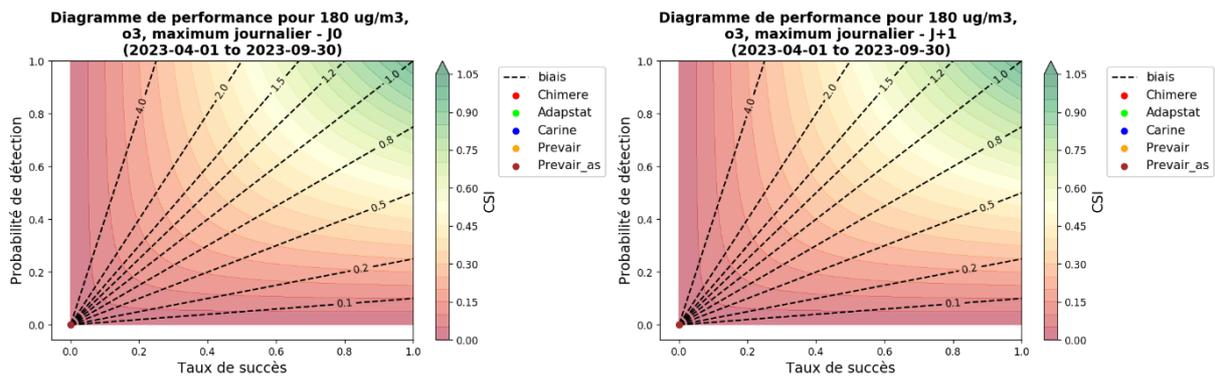


Figure 14 : Ozone - Diagramme de performance pour Chimère (rouge), Adapstat (vert) Carine (bleu), PREV’AIR (orange), PREV’AIR assimilé (marron) d’avril à septembre 2023 pour l’échéance J0 (à gauche) et celle de J+1 (à droite)

La Figure 14 a été réalisée afin de représenter une vue complète des performances des prévisions par rapport à la détection des seuils réglementaires, l’objectif du modèle étant de se situer au plus proche du coin supérieur droit). Les axes sont les suivants :

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

Cette année, le seul dépassement enregistré n’a été détecté par aucun des modèles, cela entraine un taux de détection et de succès de 0 % pour l’ensemble des modèles.

3.1.2.2. Scores en lien avec les critères réglementaires de déclenchement d’épisode de pollution

Le précédent paragraphe étudie la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d’informations aux stations. Dans ce paragraphe, l’étude porte uniquement sur les journées d’épisodes de pollution, au sens de [l’Arrêté Cadre Zonal du 12 février 2024](#). En effet, l’activation d’une vigilance de pollution n’est pas déterminée par des dépassements ponctuels des valeurs du seuil par une station de mesure mais elle se caractérise par d’autres critères définis dans l’arrêté cité précédemment. L’activation d’une vigilance de pollution dans un bassin d’air doit satisfaire d’au moins un de deux critères suivants :

- a. Critère de déclenchement associé à la superficie : au moins 25 km² du même bassin d’air sont concernés par un dépassement du seuil d’information et de recommandations ou/et du seuil d’alerte.
- b. Critère de déclenchement associé à la population :
 - Dans les bassins d’air de plus de 500 000 habitants (dans les zones Puy-de-Dôme, bassin grenoblois, bassin lyonnais nord-Isère et vallée du Rhône) : lorsqu’au moins 10% de la population du bassin d’air est concernée par un dépassement de seuils.
 - Dans les bassins d’air de moins de 500 000 habitants : lorsqu’au moins une population de 50 000 habitants au total est concernée par un dépassement de seuils.

Ici, on calcule donc les occurrences de dépassements au sens des critères d’activation d’une vigilance de pollution. Chaque jour de l’année correspond exclusivement à un des évènements suivants :

1. Pas de dépassement prévu, pas de dépassement constaté
2. Dépassement prévu et constaté.
3. Dépassement prévu et non confirmé a posteriori – Fausse alarme

4. Dépassement avéré mais non prévu

L'évaluation des performances de prévision des épisodes de pollution consiste à calculer uniquement les occurrences des éléments type (2,3 et 4) pour chaque bassin d'air.

Ces résultats sont présentés dans les tables de contingence (Figure 15 et Figure 16). Le comptage est effectué sans distinguer le type d'épisode (recommandation ou alerte). L'étude de performance est réalisée pour les prévisions pour le jour-même (J0) et les prévisions pour le lendemain (J+1). Il convient de rappeler que le calcul d'un pourcentage a une représentativité limitée lorsque le nombre de dépassements est très faible. La Figure 15 et Figure 16 montre que 3 dépassements d'O₃ ont été faussement prévus à J0, pour 1 dépassement constaté et non prévu sur la région pour l'année 2023. Notons que ces dépassements ou prévisions de dépassement ont concerné la même journée.

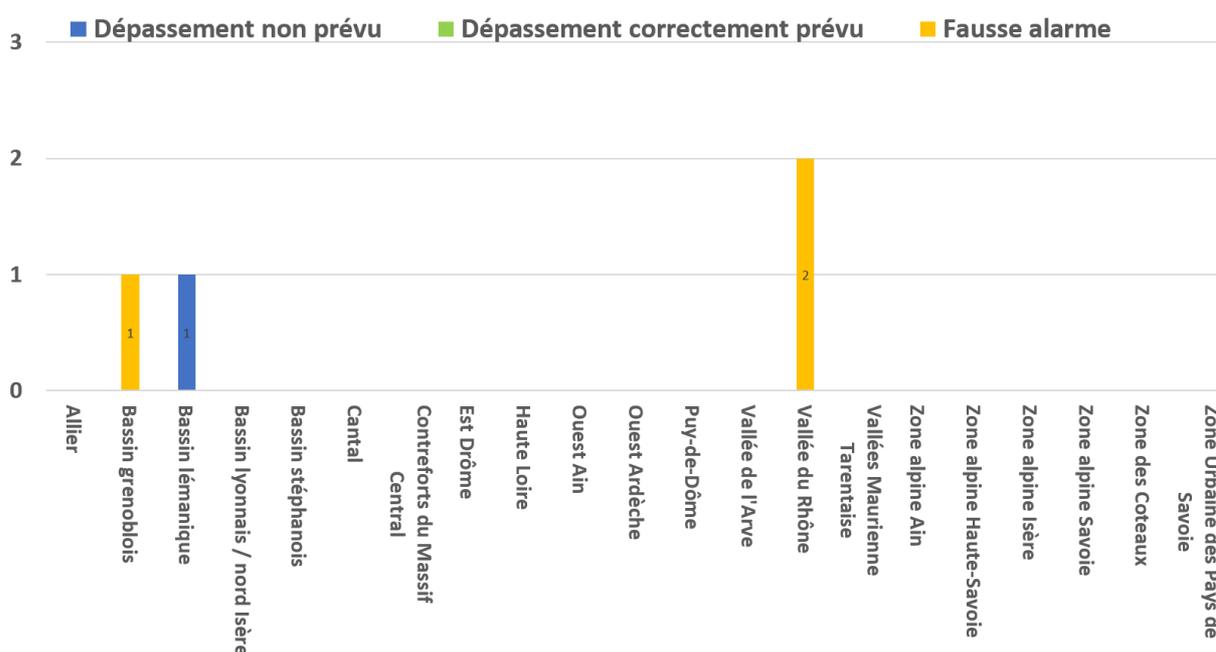


Figure 15 : Ozone - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J0.

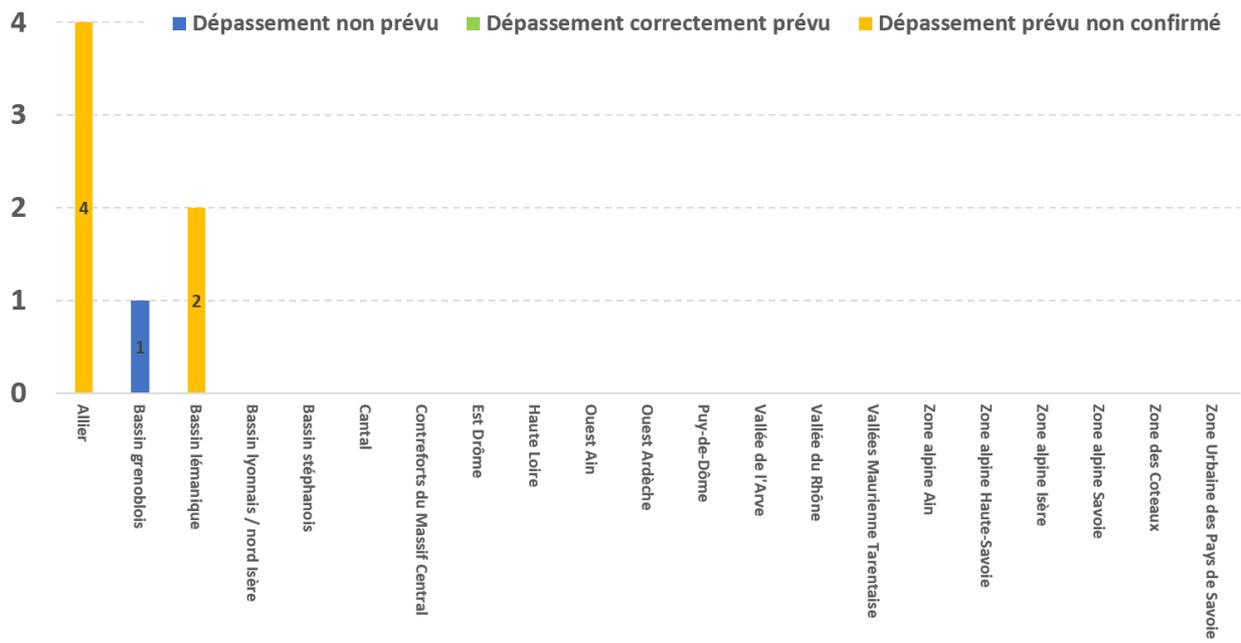


Figure 16 : Ozone - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur la période d'avril à septembre 2023 à l'échéance J+1.

3.2. Prédiction particules fines (PM₁₀)

Contrairement à l’ozone, les particules PM₁₀ sont des polluants dont la variabilité intra-annuelle est relativement faible. La période étudiée ici est donc l’année complète. Les scores sont cette fois calculés sur les moyennes journalières, alors qu’ils l’étaient sur les maxima horaires journaliers pour l’ozone.

3.2.1. Scores classiques (Biais, RMSE, Corrélation)

3.2.1.1. Par rapport aux objectifs de qualité

Le Tableau 9 illustre les objectifs de qualité définis pour les particules fines PM₁₀. Ces valeurs doivent s’appliquer aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1. Les prévisions de la qualité élaborées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes doivent satisfaire ces critères.

Biais (µg.m ⁻³)	RMSE (µg.m ⁻³)	Corrélation
-7,5 > biais > +7,5	RMSE < 15	c > 0,6

Tableau 9 : Objectif de qualité définis pour les particules fines PM₁₀ s’appliquant aux performances des prévisions en région et sur les zones AIP aux échéances J0 et J+1.

Les résultats statistiques par zone d’activation de dispositif sont présentés sur les *Figure 17* et *Figure 18*, pour les échéances J0 et J+1 respectivement. Ces figures montrent que les résultats de prévision adaptés statistiquement sont assez similaires à ceux expertisés par le prévisionniste. On remarque que l’intervention des prévisionnistes engendre globalement une légère dégradation des scores. En particulier, elle entraîne des biais faiblement supérieurs témoignant de la tendance des prévisionnistes à rehausser légèrement les concentrations prévues. On note toutefois que certaines améliorations sont apportées par l’intervention des prévisionnistes et notamment la corrélation de la majorité des zones AIP à J+1.

On observe également que les biais absolus sont toujours élevés pour les modèle déterministes CHIMERE brut (en rouge) et PREV’AIR (en orange). Contrairement aux autres modèles, les biais moyens des modèles bruts sont largement négatifs pour les PM₁₀. Cela signifie que les prévisions brutes sous-estiment la moyenne journalière des concentrations pour toutes les échéances de prévision.

Les résultats de la chaîne de prévision sont satisfaisants sur l’ensemble des zones AIP. Les *Figure 17* et *Figure 18* montrent que **les objectifs de qualité sont respectés par les modèles adaptés et ajustés pour les deux échéances J0 et J+1**, sauf pour l’Est Drôme et la Haute-Loire où les objectifs de qualité ne sont pas respectés pour la corrélation à l’échéance J+1. Mentionnons le fait que l’Est Drôme est un bassin situé au bord de la région Auvergne-Rhône-Alpes et qu’il ne contient qu’une seule station de type rural. Le modèle PREVAIR brut semble plus performant que CHIMERE brut à toutes les échéances et pour tous les indicateurs, cependant le modèle ADAPSTAT et la prévision expertisée (CARINE) affichent une performance supérieure à PREV’AIR AS, indépendamment de l’indicateur ou de la zone API considérée, avec une prédominance notamment à l’échéance J0.

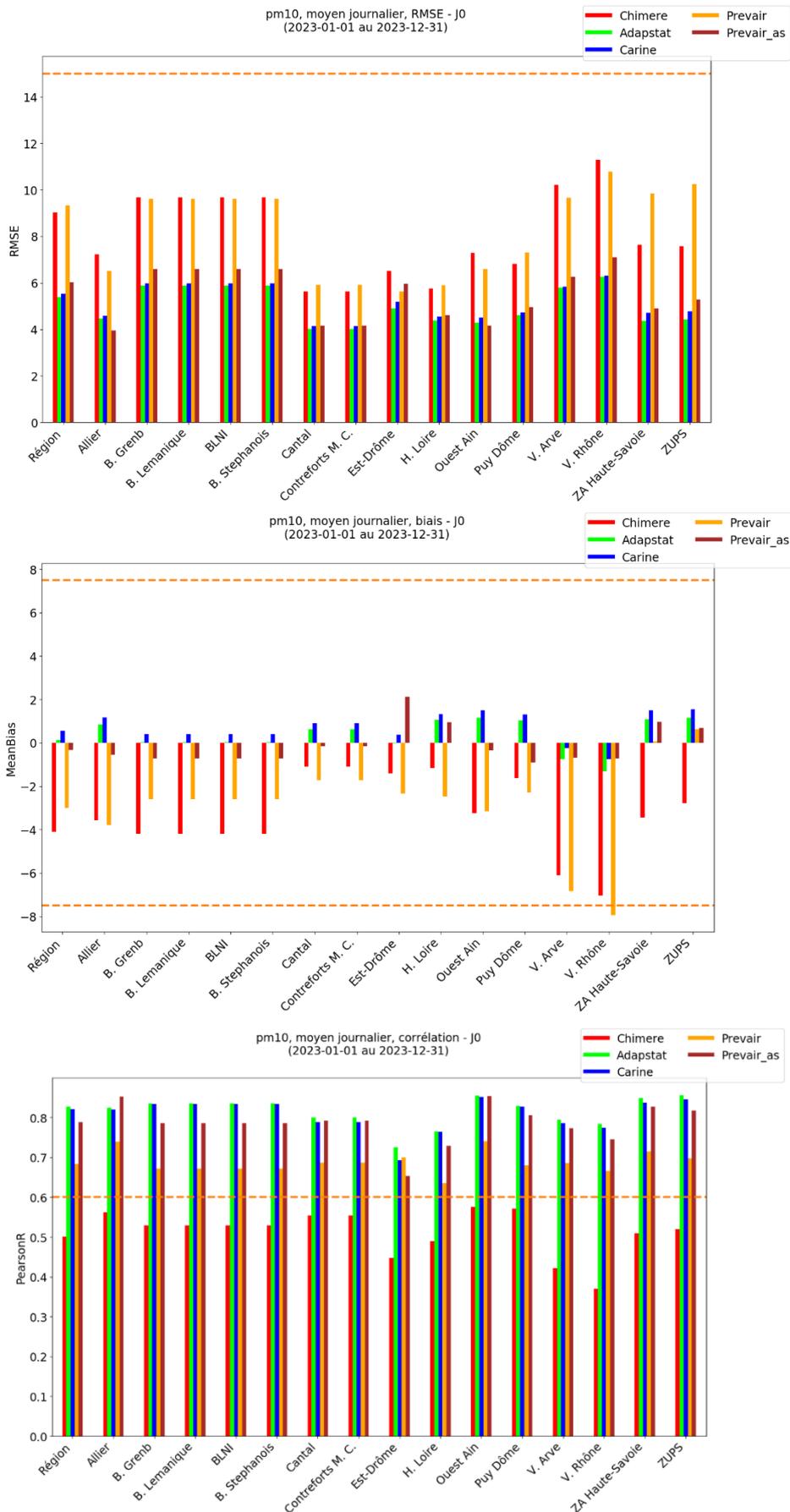


Figure 17 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) pour l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.

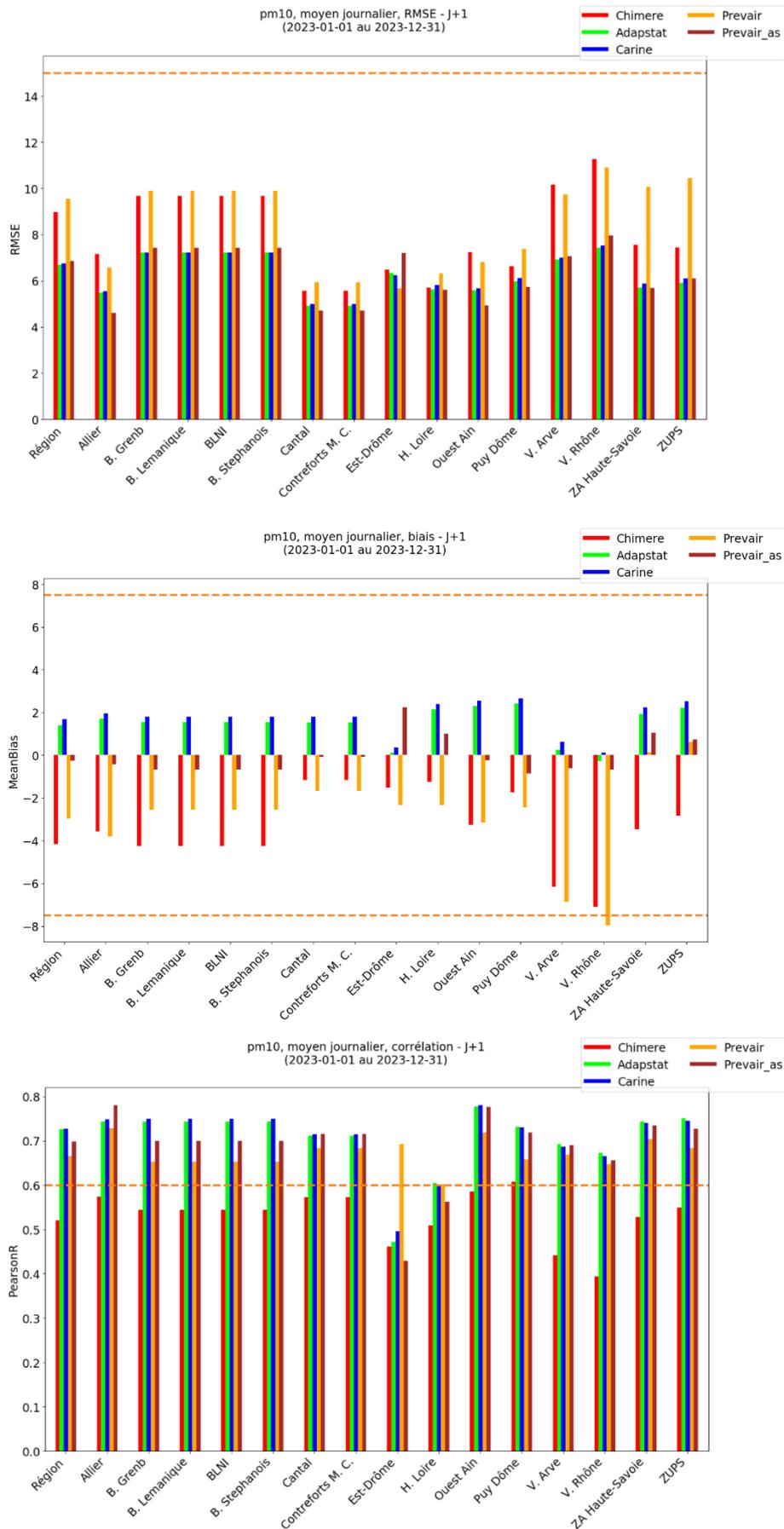


Figure 18 : PM₁₀ - Scores de RMSE, biais et corrélation par zone AIP des Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) pour l'échéance J0. La ligne en pointillé orange indique l'objectif de qualité.

3.2.1.2. Par typologie

Les Figure 19 et Figure 20 illustrent les performances de la chaîne de prévision en fonction de la typologie des stations de mesures. Comme pour l’ozone, les meilleures performances statistiques sont globalement associées aux stations rurales, dont la RMSE et le biais sont plus faibles que pour les stations urbaines et périurbaines. Les bonnes performances observées sur les sites ruraux sont liées à l’aptitude de la chaîne de modélisation à reproduire les faibles concentrations. Globalement, les indicateurs statistiques calculés dans les Figure 19 et Figure 20 indiquent un très bon accord entre les prévisions et les mesures. En effet, les indicateurs statistiques des prévisions ne dépassent pas la fourchette des valeurs considérées comme acceptables pour toutes les typologies étudiées. Les modèles bruts PREV’AIR et CHIMERE présentent des performances similaires, PREV’AIR brut se révélant toutefois légèrement meilleur en milieu périurbain et rural.

La comparaison des prévisions avant et après l’expertise humaine montre encore une fois un résultat très similaire pour les particules PM₁₀. On constate néanmoins que l’ajustement des cartes par les prévisionnistes dégrade légèrement les prévisions à J0 et à J+1 quelle que soit la typologie des stations et l’échéance.

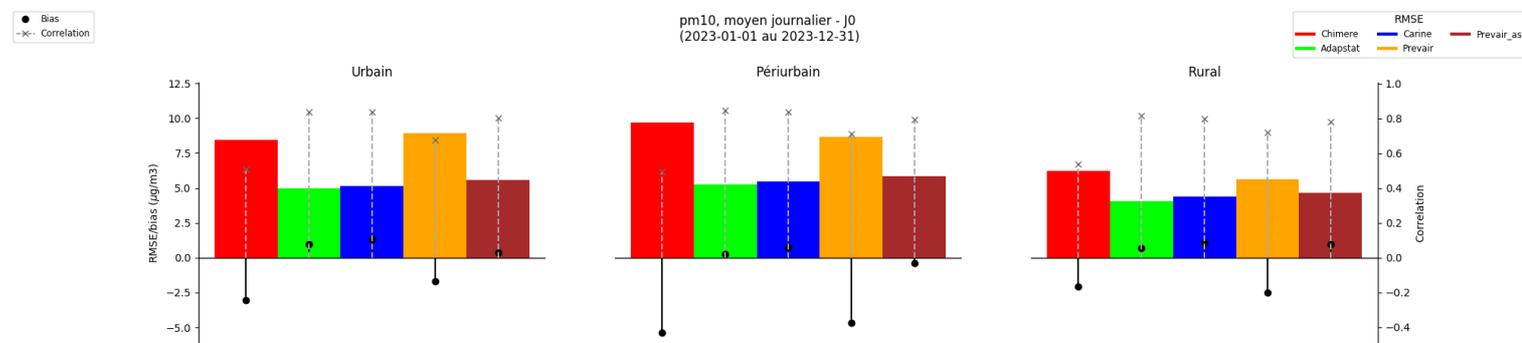


Figure 19 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l’adaptation statistique (vert), des prévisions PREV’AIR (orange) et de PREV’AIR assimilé (marron) sur l’échéance J0

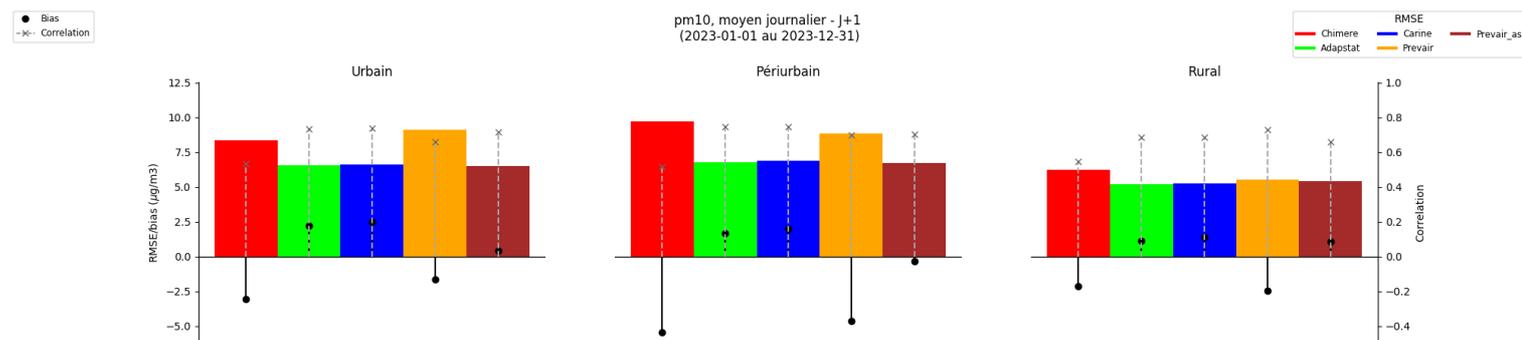


Figure 20 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction de la typologie de station (urbaines, périurbaines, rurales) des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l’adaptation statistique (vert), des prévisions PREV’AIR (orange) et de PREV’AIR assimilé (marron) sur l’échéance J+1

3.2.1.3. Par échéance de prévision

La Figure 21 représente les performances statistiques calculées pour les différentes échéances de prévision (J0, J+1 et J+2) pour l’année 2023. Cette figure montre que les résultats de prévision adaptés et ajustés sont plus fiables pour J0 (prévision pour le jour-même) que pour le lendemain (J+1) et le surlendemain (J+2). En effet, les corrélations sont plus élevées, les biais et les RMSE sont plus faibles à J0 qu’aux autres échéances. On observe toujours une forte propension des modèles

bruts CHIMERE et PREV’AIR à sous-estimer les concentrations (biais négatif) quelle que soit l’échéance.

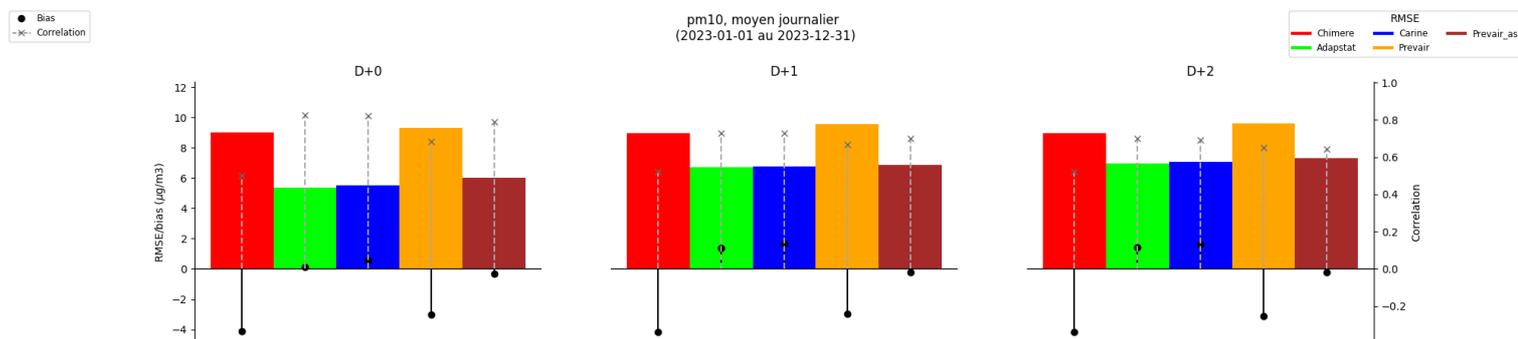


Figure 21 : PM₁₀ - Synthèse des scores de RMSE, biais et corrélation en fonction du jour de prévision pour prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV’AIR (orange) et de PREV’AIR assimilé (marron) en 2023.

3.2.1.4. Par gamme de concentration

Ici, de la même manière que dans la section 3.1.1.4, on groupe les données journalières selon leur classe de concentration (par rapport aux observations). Pour chaque groupe, on calcule les scores moyens sur les stations de fond. Les Figure 22 et Figure 23 illustrent l’évolution des scores (RMSE et biais moyen) en fonction des classes de concentrations des particules PM₁₀. Elles montrent que l’évolution des performances des modèles en fonction des gammes de concentrations est quasi-identique pour tous les modèles : chacun voit ses performances se dégrader lorsque la concentration en particule augmente. Ce comportement est valable à la fois pour les prévisions de l’échéance J0 et celles de J+1. Les biais élevés observés pour les gammes des concentrations supérieures à 50 µg.m⁻³ traduisent une difficulté de la chaîne de prévision à bien reproduire les plus fortes concentrations de particules PM₁₀.

Ces figures mettent à nouveau en évidence la capacité de l’adaptation statistique à améliorer les résultats bruts de prévision pour les particules PM₁₀. En effet, les modèles bruts CHIMERE et PREV’AIR sous-estiment largement les concentrations de particules PM₁₀, le modèle PREV’AIR présentant toutefois une dérive moins importante dans les hautes concentrations. Ces figures montrent également que les résultats expertisés sont meilleurs que les résultats non expertisés dans les hautes concentrations. Cela prend une importance toute particulière lorsque l’on s’approche du seuil d’information et de recommandation et souligne l’importance d’une expertise humaine lorsque l’on s’approche de ces valeurs de concentrations.

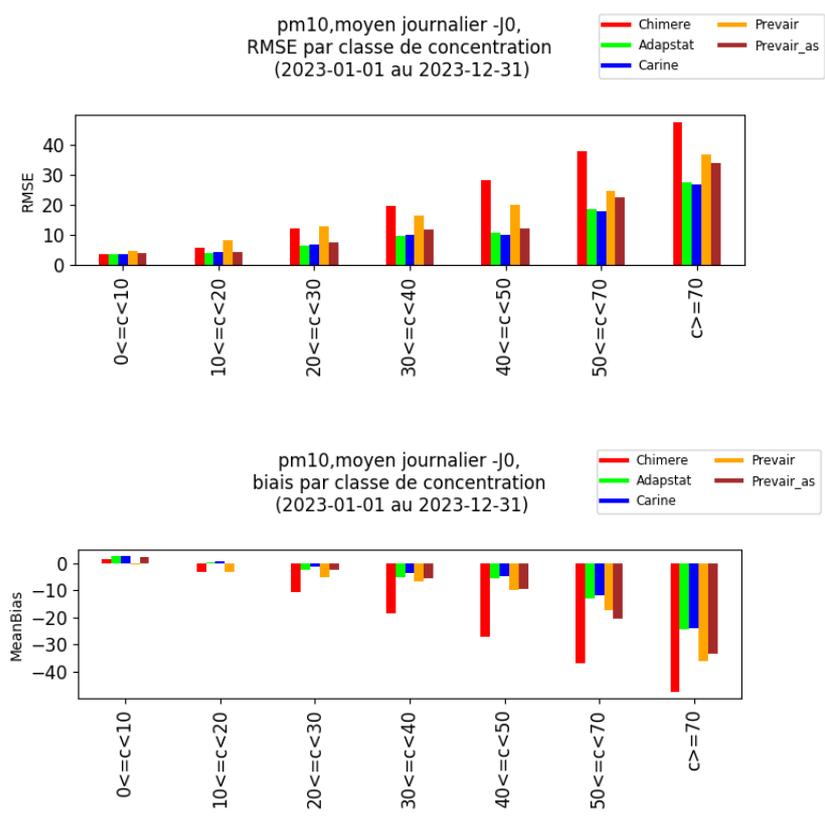


Figure 22 : PM₁₀ - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des prévisions Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J0.

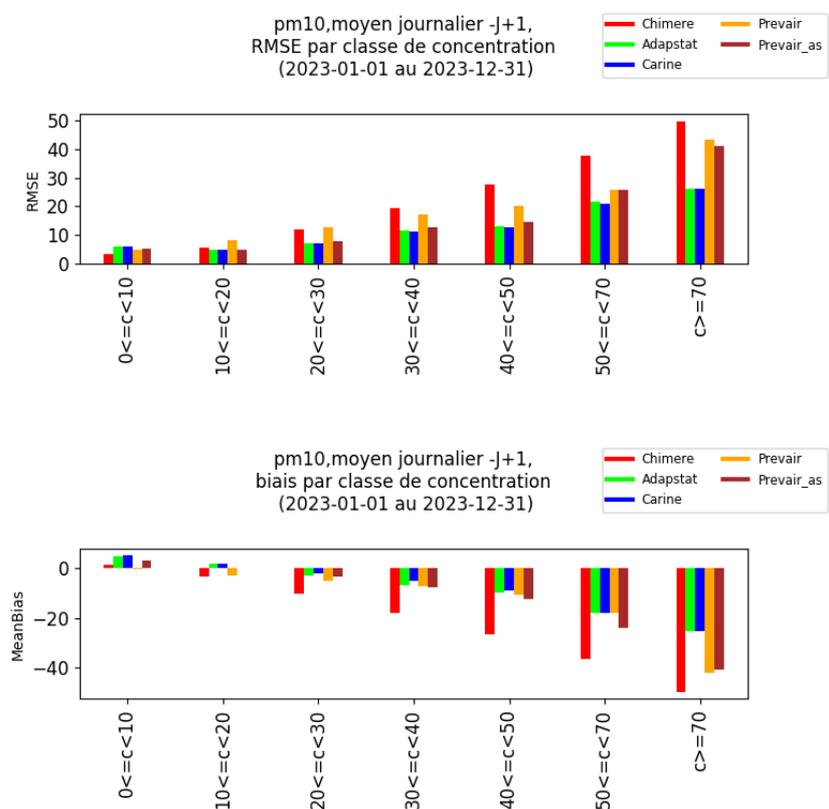


Figure 23 : PM₁₀ - Scores de RMSE et biais par classe de concentration des Carine (bleu), CHIMERE (rouge), de l'adaptation statistique (vert), des prévisions PREV'AIR (orange) et de PREV'AIR assimilé (marron) sur l'échéance J+1.

3.2.1.5. Sur plusieurs années

L'objectif de cette partie est de comparer les performances 2023 à celles des années précédentes. La *Figure 24* présente l'évolution interannuelle des scores de performances pour les différents modèles. Les indicateurs statistiques présentés dans ce graphique montrent que les prévisions avant et après l'expertise humaine ont globalement la même performance statistique, les résultats adaptés statistiquement étant toutefois légèrement meilleurs que les résultats ajustés, en 2023. La *Figure 24* montre que les modèles bruts génèrent des biais négatifs beaucoup plus élevés que les modèles adaptés ou ajustés. Le biais moyen négatif observé sur les sorties CHIMERE brut sur les six dernières années est corrigé par l'adaptation statistique et l'expertise des prévisionnistes. Également, au cours des trois dernières années, PREV'AIR brut présente un biais moins marqué que CHIMERE brut. Dans l'ensemble, l'année 2023 présente des résultats analogues à ceux des années précédentes. 2023 est la première année où l'on inclut le modèle PREV'AIR AS dans la comparaison, et celui-ci affiche des performances légèrement inférieures aux résultats des modèles CHIMERE ajustés et expertisés.

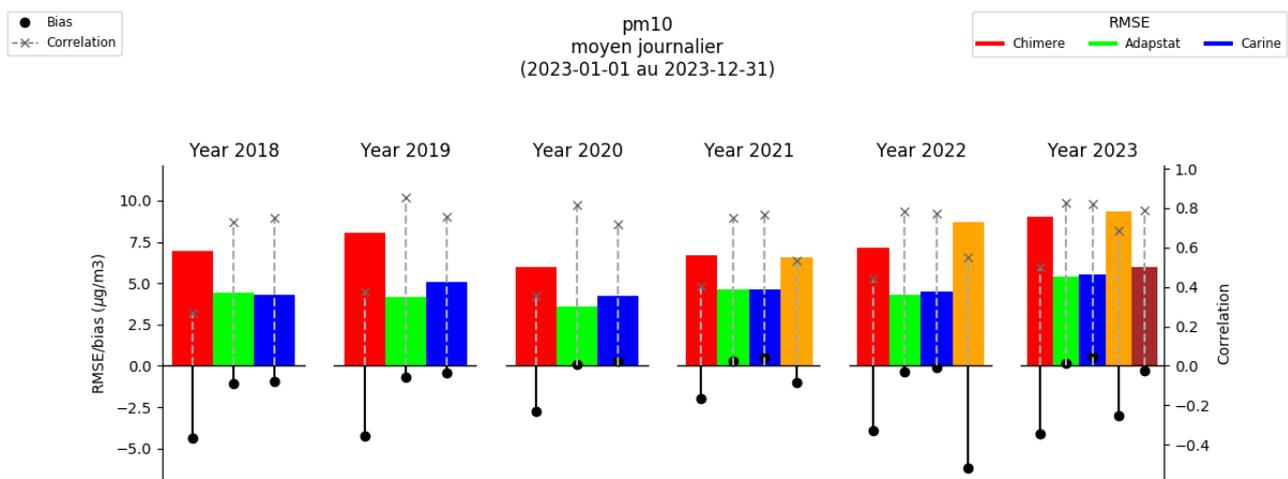


Figure 24 : PM10 - Synthèse des scores de RMSE (barres colorées), biais moyen (points noirs) et corrélation (pointillés gris) depuis 2018 pour CHIMÈRE, pour son adaptation statistique, pour le modèle Carine (modèle expertisé), pour le modèle PREV'AIR et le modèle PREV'AIR assimilé

3.2.2. Performances sur les seuils réglementaires

3.2.2.1. Scores aux stations

Dans cette partie est étudiée la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d'information aux stations pour les particules PM₁₀. Il convient de rappeler que ces dépassements aux stations n'expliquent pas systématiquement les vigilances de pollution activées sur la région en 2023. En effet, l'épisode de pollution se caractérise par le dépassement d'un seuil de recommandation ou d'alerte avec le respect d'autres critères définis dans [l'Arrêté Cadre Zonal du 12 février 2024](#)³.

3.2.2.1.1. Séries temporelles

La *Figure 25* illustre le nombre de dépassements journaliers du seuil d'information et de recommandation pour les particules PM₁₀ sur l'année 2023. Elle représente à la fois le nombre de dépassements observés (en gris) et ceux prévus (en couleur) cumulés sur toutes les stations de fond pour chaque journée de la période considérée. En 2023, 180 dépassements ont été observés, toutes

³http://www.prefectures-regions.gouv.fr/auvergne-rhone-alpes/content/download/35211/238621/file/5-7-2018_recueil-84-2018-096-recueil-des-actes-administratifs-special.pdf

stations confondues, répartis sur 46 jours. Ce graphe montre que ADAPSTAT et CARINE ont réussi à détecter et anticiper efficacement l'occurrence des épisodes de pollution, particulièrement en début d'année. Cependant, quelques dépassements ponctuels n'ont pas été prévus par les différents modèles de prévision. Il s'agit majoritairement des épisodes de pollution mixte ou des épisodes occasionnés par les retombées de poussières désertiques. En fin d'année, les modèles ont anticipé plusieurs dépassements n'ayant pas eu lieu. Les modèles PREV'AIR ont de bons résultats également malgré des difficultés à détecter les occurrences très ponctuelles.

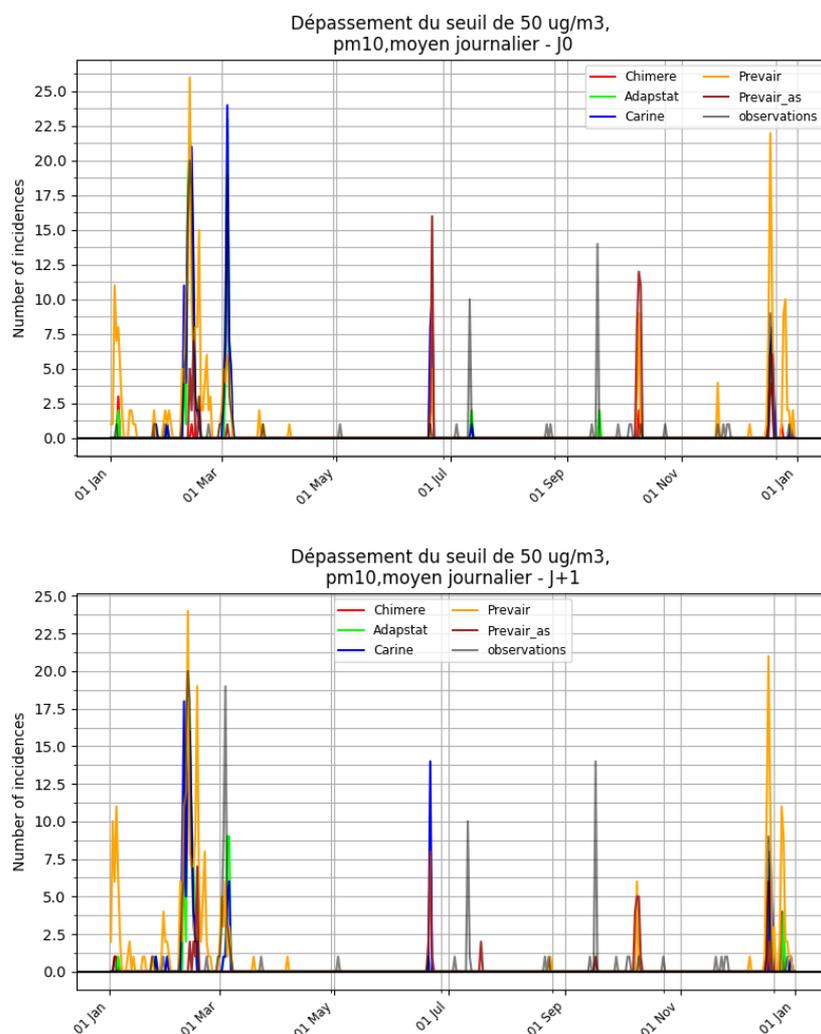


Figure 25 : PM₁₀ - Superposition des dépassements enregistrés et prévus à J0 (en haut) et à J+1 (en bas) à différentes étapes de la chaîne de prévision : modèle brut (CHIMERE en rouge), modèle adapté statistiquement (Adapstat - en vert) le modèle ajusté par le prévisionniste (Carine – en bleu), le modèle PREV'AIR (en orange) et le modèle PREV'AIR assimilé (en marron)

3.2.2.1.2. Éléments de la table de contingence

Les Figure 26 et Figure 27 illustrent les valeurs des tables de contingence (bonne détection, détection manquée et fausse détection) cumulées sur les stations de fond pour la région à gauche et déclinées par zone AIP disposant d'un arrêté mesure d'urgence. Le graphique du bas de chaque figure affiche la table de contingence pour le modèle de référence (ici CARINE pour ATMO Auvergne-Rhône-Alpes). Sur ces figures, on affiche uniquement les zones AIP où des mesures ont été réalisées.

La comparaison entre les résultats adaptés statistiquement et ajustés par le prévisionniste montre que l'expertise humaine améliore le taux de détection du seuil d'information à J0. On constate en effet à J0 86 bonnes détections par ADAPSTAT, contre 93 par les prévisions expertisées (CARINE). À J+1, ADAPSTAT montre 51 bonnes détections pour contre 49 pour les prévisions expertisées

(CARINE). De plus, le nombre de dépassements manqués est légèrement plus faible lorsque les cartes sont expertisées par le prévisionniste, notamment à J0 : 87 dépassements manqués par CARINE à J0 contre 94 pour ADAPSTAT. Le nombre relativement élevé de fausses alarmes pour CARINE sur certaines zones reflète la mise en vigilance par précaution lorsque les niveaux s'approchent des seuils d'activation, ceci afin de limiter le nombre d'évènements non prévus.

Les sorties PREV'AIR présentent davantage de bonnes détections avec le modèle brut qu'avec le modèle adapté statistiquement, au prix de nombreuses « fausses alarmes » du modèle PREV'AIR brut (environ 250).

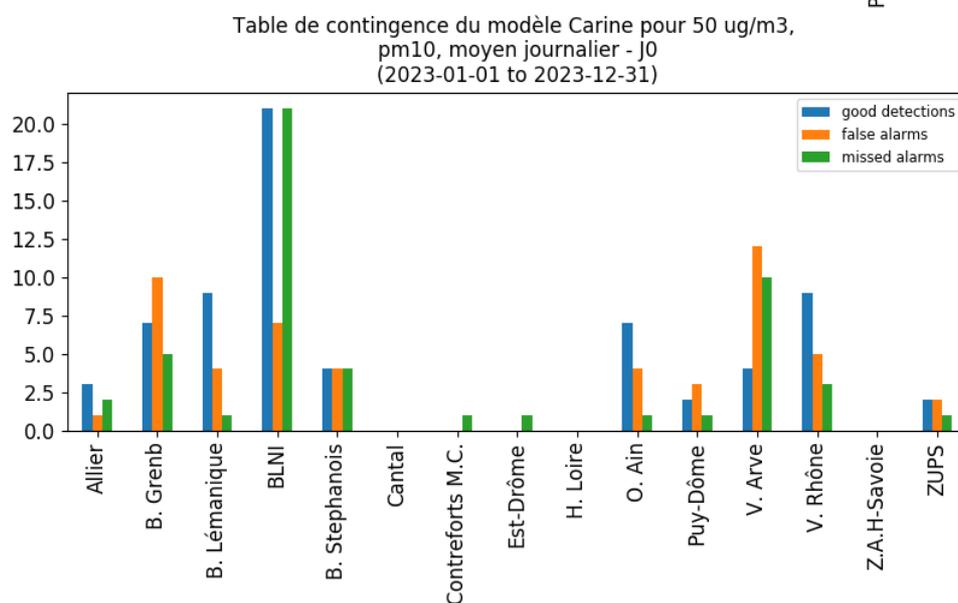
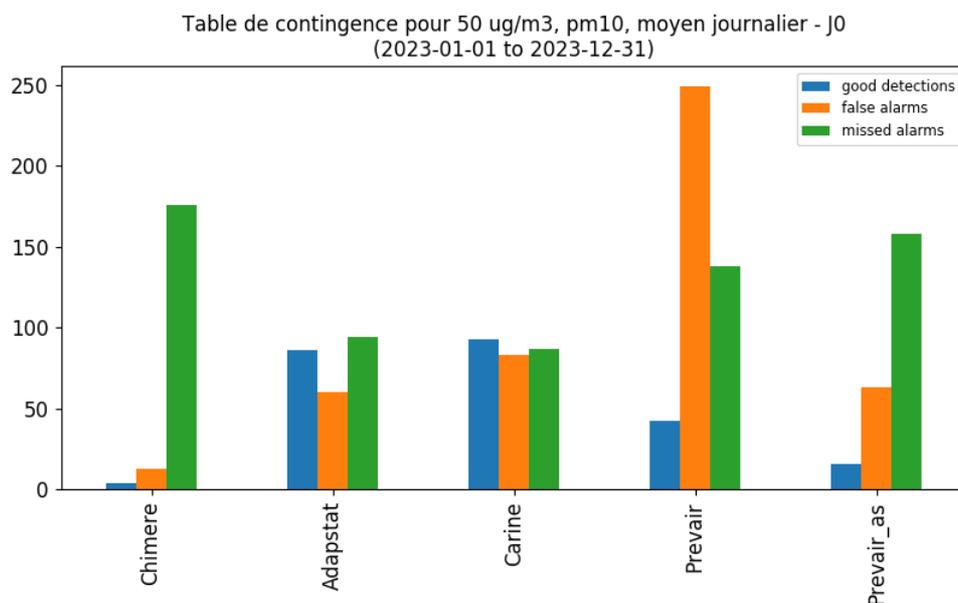


Figure 26 : PM₁₀ - Tables de contingence pour l'année 2023 à l'échéance J0 pour le seuil de 50 µg/m³. En haut : Tables de contingence de CHIMERE (1er groupe), ADAPSTAT (2e groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR (4e groupe) et de PREV'AIR assimilé (5e groupe) pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. En bas : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zone AIP.

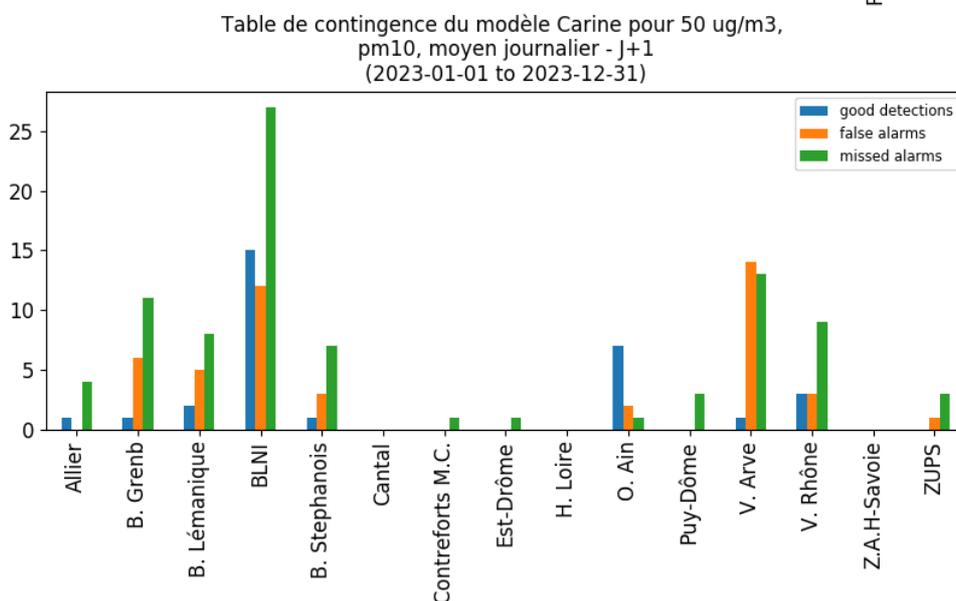
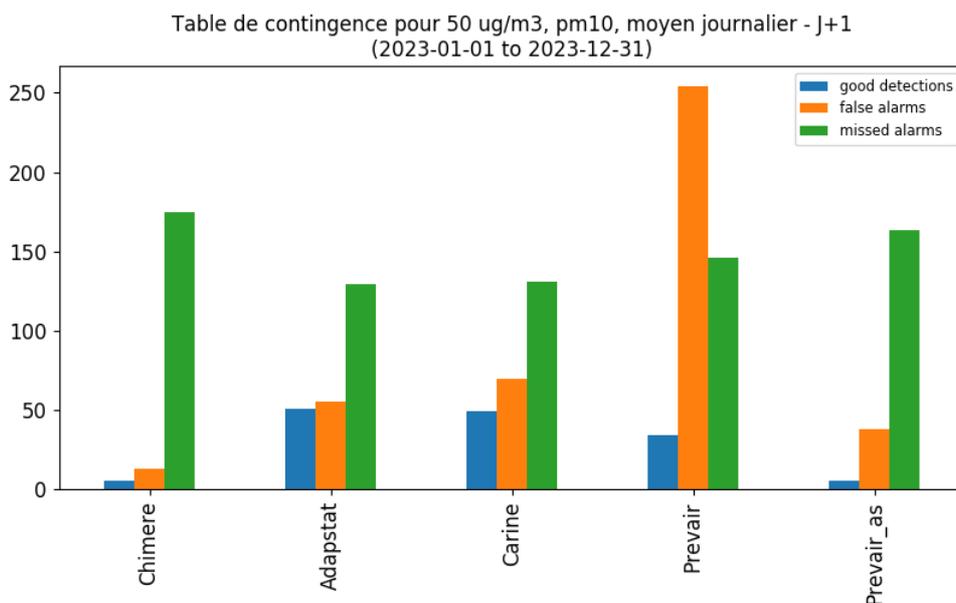


Figure 27 : PM₁₀ - Tables de contingence calculée sur l'année 2023 à l'échéance J+1 pour le seuil de 50 µg/m³. En haut : Tables de contingence de CHIMERE (1er groupe), ADAPSTAT (2e groupe), de Carine (3e groupe), de PREV'AIR (4e groupe) et de PREV'AIR assimilé (5e groupe) pour la région Auvergne-Rhône-Alpes entière. En bas : Table de contingence de l'adaptation statistique déclinée par zone AIP.

La Figure 28 représente une vue complète des performances des prévisions par rapport à la détection des seuils réglementaires (l'objectif est de se situer au plus proche du coin supérieur droit) :

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

Cette figure montre que les performances pour la détection des dépassements de seuil sont très proches pour les prévisions ADAPSTAT et CARINE. À J0, l'intervention du prévisionniste augmente le taux de détection d'environ 7%, mais elle détériore d'autant le taux de succès. Quant à l'échéance J+1, l'impact de cette intervention ne parvient pas à améliorer le taux de détection rendant le modèle adapté statistiquement et ajusté équivalent sur la performance de détections, mais il détériore encore le taux de succès d'environ 7%. Cela s'explique comme décrit dans la description des Figure 25

26 et Figure 27 par la stratégie de vigilance préventive lorsque les niveaux de pollution s'approchent des seuils de dépassements, dans le but de réduire le nombre d'événements imprévus. Les modèles PREV'AIR affichent une performance nettement inférieure, avec un taux de détection à J0 et J+1 inférieur à 20% et un taux de succès inférieur à 30%.

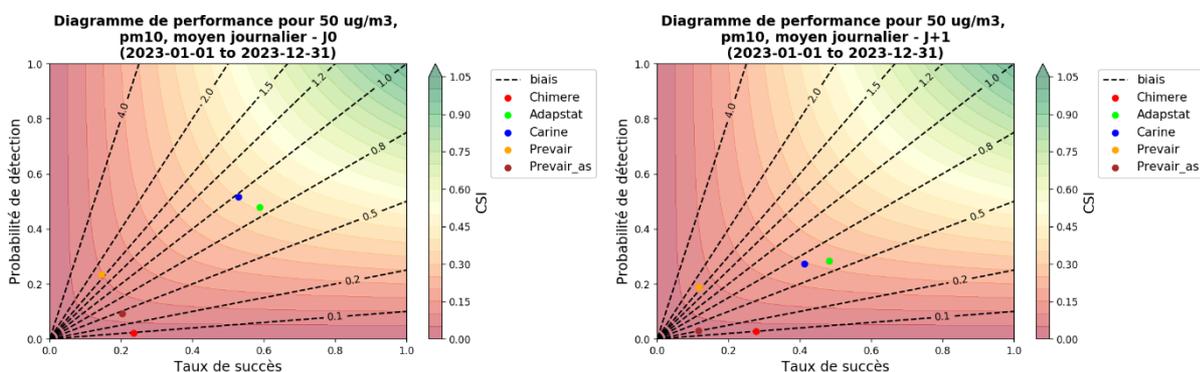


Figure 28 : PM_{10} - Diagramme de performance pour CHIMERE (rouge), Adapstat (vert), Carine (bleu), PREV'AIR (orange) et PREV'AIR assimilé (marron) en 2023 pour l'échéance J0 (à gauche) et celle de J+1 (à droite)

3.2.2.2. Scores en lien avec les critères réglementaires de déclenchement d'un épisode de pollution

Le précédent paragraphe étudie la capacité de la chaîne de prévision à reproduire les dépassements du seuil d'information aux stations. Dans ce paragraphe, l'étude porte uniquement sur les journées d'épisodes de pollution, au sens de [l'Arrêté Cadre Zonal du 12 février 2024](#). En effet, l'activation d'une vigilance de pollution n'est pas déterminée par des dépassements ponctuels des valeurs du seuil dans une station de mesure mais elle se caractérise par d'autres critères définis dans l'arrêté cité précédemment.

Dans ce paragraphe, l'évaluation de performance de notre système de prévision consiste à calculer les occurrences de dépassements au sens des critères d'activation d'une vigilance de pollution. Chaque jour de l'année correspond exclusivement à un des événements suivants :

1. Pas de dépassement prévu, pas de dépassement constaté.
2. Dépassement prévu et constaté.
3. Dépassement prévu et non confirmé a posteriori – Fausse alarme.
4. Dépassement avéré mais non prévu.

L'évaluation des performances de prévision des épisodes de pollution consiste à calculer uniquement les occurrences des éléments type (2,3 et 4) pour chaque bassin d'air.

Ces résultats sont présentés dans les tables de contingence (

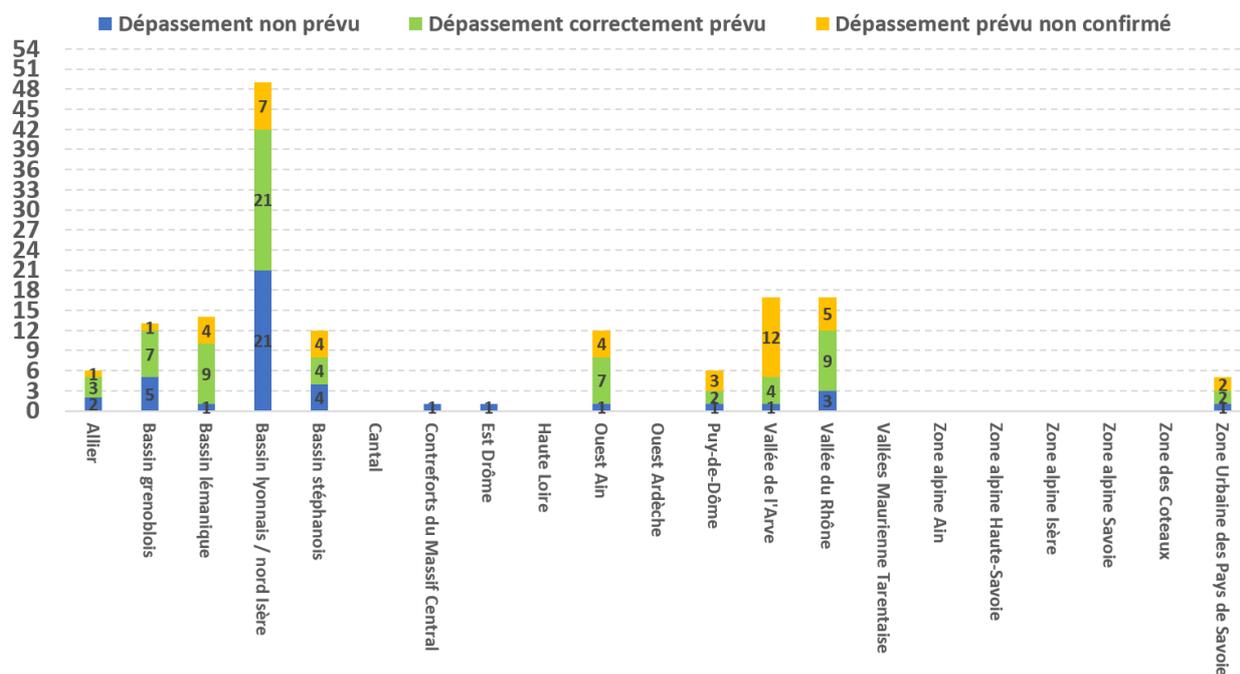


Figure 29 et Figure 30). Le comptage est effectué sans distinguer le type de dépassement de seuil (de recommandation ou d'alerte). L'étude de performance est réalisée pour les prévisions du jour-même (J0) et les prévisions de lendemain (J+1). La Figure 30 illustre un nombre de dépassements beaucoup plus élevés pour les particules par rapport à celui de l'ozone (

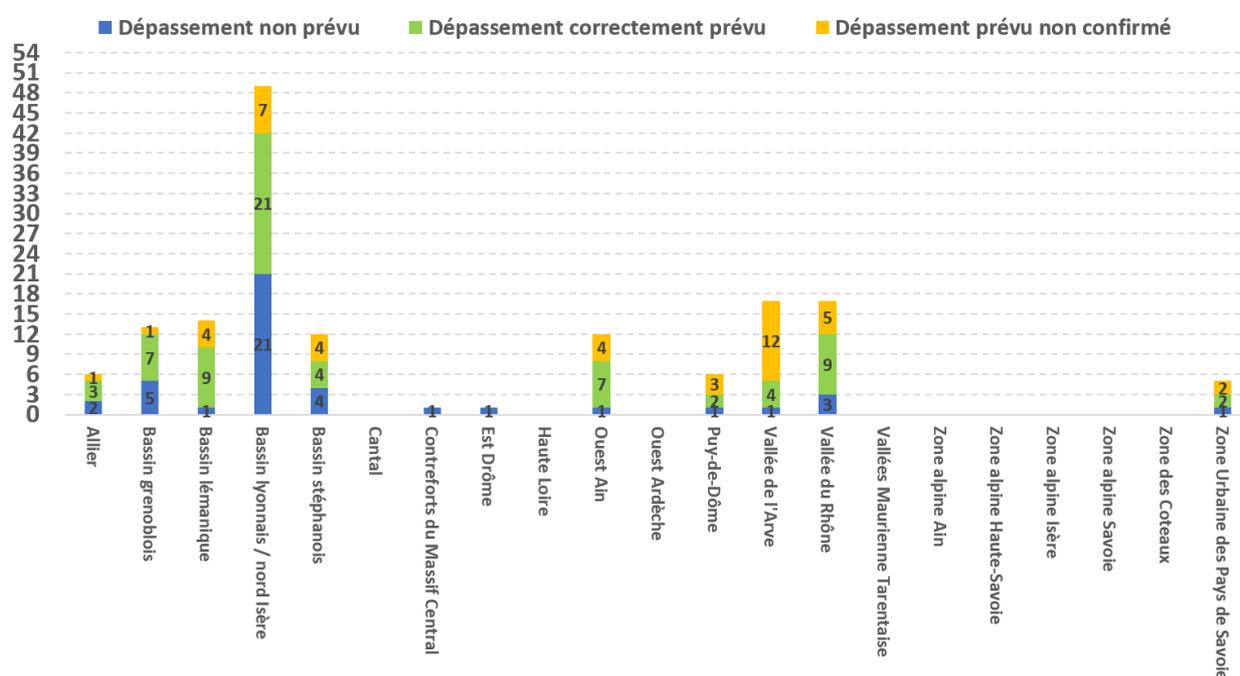


Figure 29 et Figure 30). **Le système de prévision réalise une majorité de bonnes détections de dépassements pour les particules PM10.** Le nombre élevé de « fausses alarmes » reflète la mise en vigilance par précaution lorsque les niveaux s'approchent des seuils d'activation, ceci afin de limiter le nombre d'évènements non prévus. Les fausses alarmes se situent régulièrement en début et fin d'épisode (difficulté à cerner les bornes des épisodes). Cependant, les niveaux atteints lors de ces journées sont souvent proches du seuil d'activation.

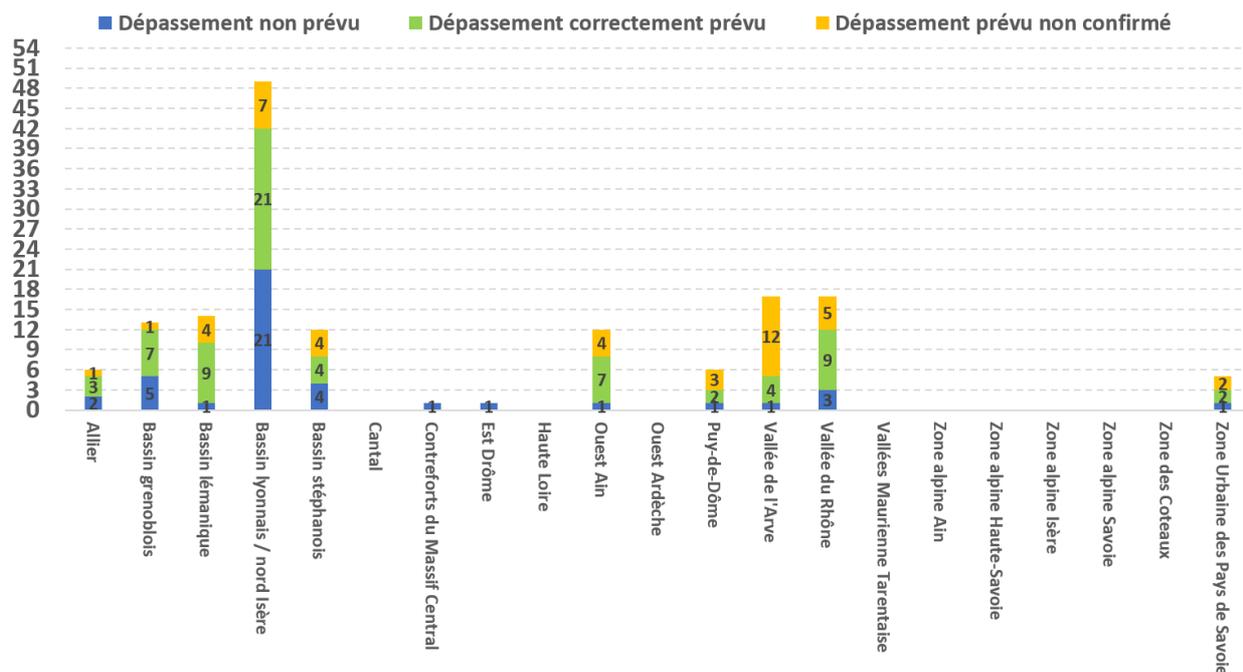


Figure 29 : PM10 - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur toute l'année 2023 à l'échéance J0.

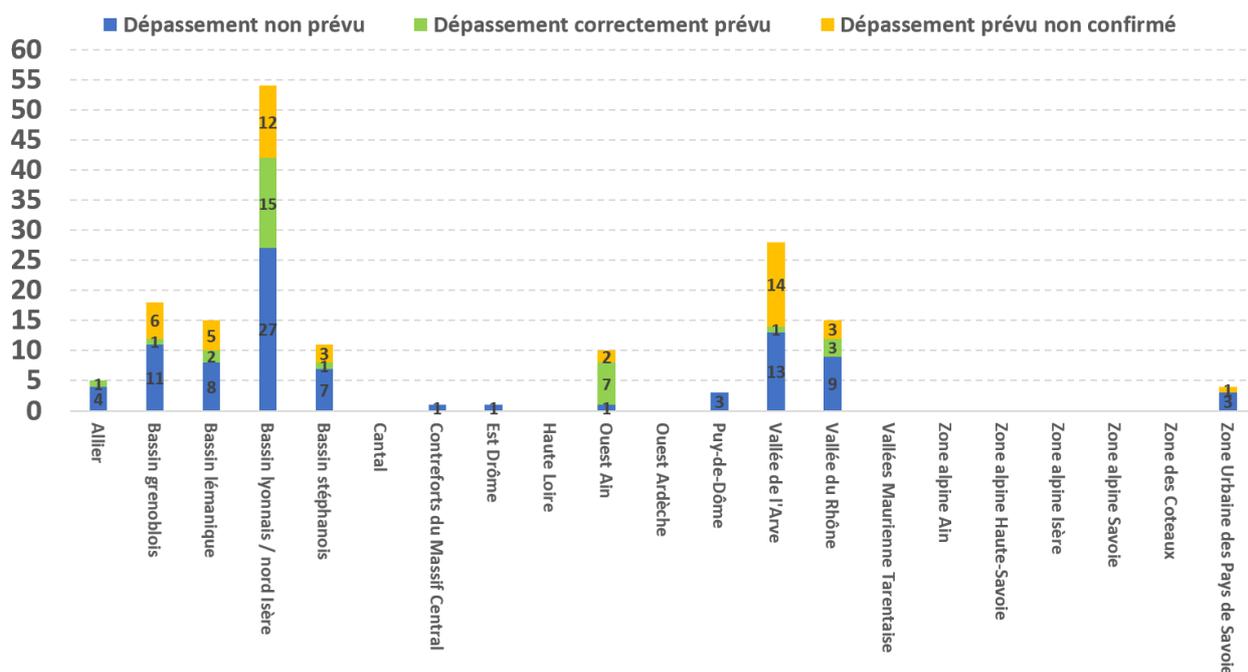


Figure 30 : PM10 - Table de contingence des critères AMU (critères surfaciques et de population confondus) sur toute l'année 2023 à l'échéance J+1.

4. Conclusion

Dans ce rapport a été étudiée la performance à différentes étapes du système de prévision de la qualité de l'air d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes : résultats fournis par le modèle brut, résultats adaptés statistiquement et résultats expertisés par les prévisionnistes. Les performances des modèles fournis par la plateforme PREV'AIR ont été inclus dans la comparaison.

Les indicateurs statistiques calculés et présentés dans ce rapport montrent que **les résultats adaptés statistiquement et expertisés, issus du système de prévision d'ATMO AURA, respectent les objectifs de références proposés par le référentiel technique national pour les concentrations en particules PM₁₀ et en ozone**. Ce constat, valable quelle que soit l'échéance de prévision, est cohérent avec les résultats observés les années précédentes. Les performances calculées pour l'année 2023 sont en effet semblables à celles de ces trois dernières années.

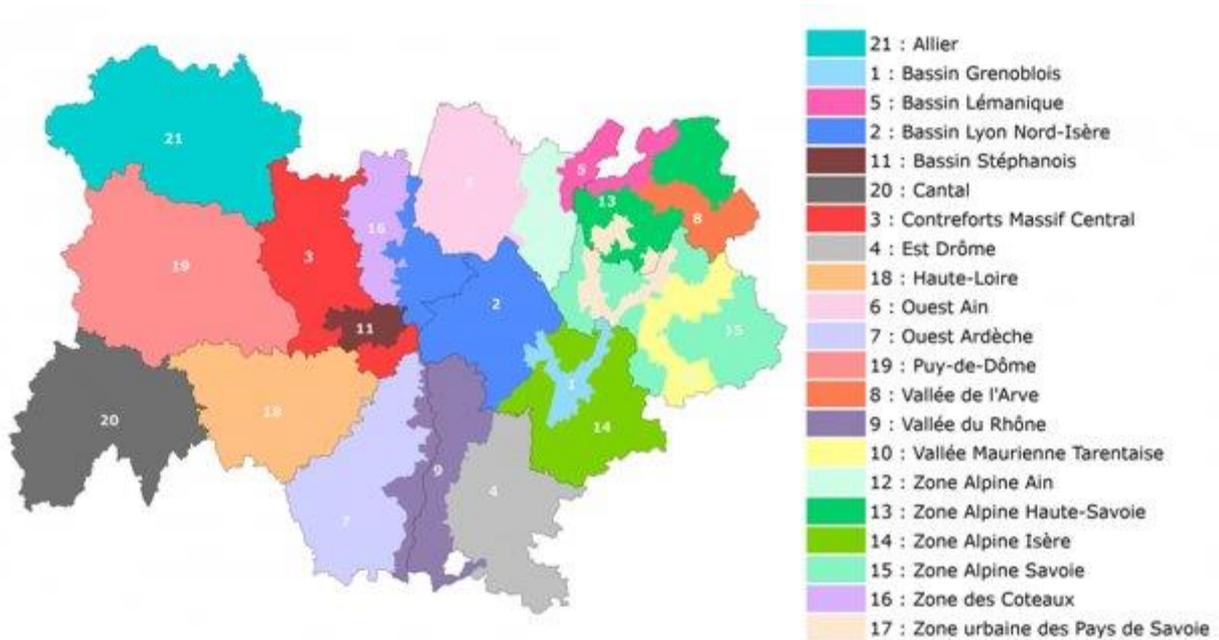
Ce rapport souligne également la **pertinence de l'utilisation de méthodes d'adaptations statistiques**, dont les performances aux stations sont nettement supérieures à celles des modèles bruts pour les particules PM₁₀ comme pour l'ozone, particulièrement aux échéances proches (J et J+1). Ceci est particulièrement marqué pour la prévision des hautes concentrations de pollution. Les modèles bruts tendent en effet à sous-estimer ces fortes valeurs, et les modèles statistiques permettent de réduire cette sous-estimation.

Si les performances statistiques globales des prévisions adaptées statistiquement et expertisées sont similaires, l'analyse des tables de contingence sur les seuils d'informations et de recommandations démontre **l'apport bénéfique de l'expertise humaine par les prévisionnistes, notamment pour les épisodes de particules PM₁₀** (+3% de bonnes détections). L'augmentation du nombre de bonnes détections se fait toutefois au prix d'un nombre relativement élevé de fausses alertes. Seul un dépassement du seuil de 180 µg/m³ pour l'ozone ayant eu lieu en 2023, il est difficile de tirer des enseignements robustes pour ce polluant.

En 2024, une mise à jour majeure de la chaîne de prévision devrait permettre d'améliorer encore les scores des modèles d'ATMO Auvergne-Rhône-Alpes. Un travail d'amélioration du dispositif de prévision est également conduit en interne, et vise à mieux organiser le processus de prévision de qualité de l'air. Les premières mesures qui en découleront devraient être mise en place en 2025.

Annexe 1

La région est découpée en 21 zones, les critères sont vérifiés quotidiennement dans chaque zone.



Annexe 2

Les scores utilisés dans ce rapport sont définis de la façon suivante (*extrait du Référentiel Technique National*) :

Taux de disponibilité des données fixé à 75%. Cela signifie qu'il faut que sur la période d'évaluation, 75% des couples journaliers (ou horaires) mesures-concentrations prévues soient disponibles pour qu'une station soit prise en compte dans le calcul des scores. L'ensemble des scores est calculé aux stations puis fait l'objet d'une moyenne selon les critères de la représentation (par zones géographiques, par typologies, par année, ...)

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

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

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

Si le biais est établi pour le maximum journalier, alors le maximum journalier des 2 valeurs doit être pris, s'il s'agit d'un biais pour la moyenne journalière, alors la moyenne journalière des 2 valeurs doit être prise.

Valeurs exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

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

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

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

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

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