



Performances Prev'Air en 2017 et 2018

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

PERFORMANCES PREV'AIR EN 2017 ET 2018

MELEUX Frederik - UNG ANTHONY
28/07/2020

Nom de la Direction en charge du rapport : DRC

Rédaction : MELEUX FREDERIK ; UNG ANTHONY

Vérification : COLETTE AUGUSTIN

Approbation : ROUIL LAURENCE

Date d’approbation : 28/07/2020



LE LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de l'IMT Lille Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère chargé de l'Environnement. Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.

TABLE DES MATIERES

RESUME	7
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....	8
1. INTRODUCTION	9
2. PERFORMANCE DE CHIMERE SUR 2017-2018.....	11
2.1 Ozone - surestimation du maximum journalier et correction	11
2.2 PM ₁₀ – sous-estimation de la moyenne journalière	15
3. EVALUATION DE L'ADAPTATION STATISTIQUE.....	17
3.1 Ozone, sous-estimation du maximum journalier.....	18
3.2 PM ₁₀ : légère surestimation de la moyenne journalière.....	23
3.3 Evolution de l'Adaptation Statistique depuis 2015.....	25
3.4 Travaux d'améliorations de l'AS.....	28
4. EVALUATION DE PREV'AIR DROM	30
5. UTILISATEURS DE PREV'AIR.....	33
6. ELABORATION DE CARTOGRAPHIES D'INDICATEURS.....	34
7. CONCLUSIONS	35

RESUME

Ce rapport synthétise l'ensemble des actions menées dans le cadre de la plateforme Prev'Air (www.PrevAir.org) pour répondre aux besoins des AASQA (associations agréées de surveillance de la qualité de l'air). Cela concerne les développements visant aussi bien à étendre les capacités du système de prévision qu'à rendre ses performances plus élevées. La première partie du rapport fournit une estimation du comportement général des outils via des indicateurs statistiques classiques permettant de comparer les résultats de modélisation aux observations validées de la base de données nationale alimentée par les AASQA.

Une attention particulière est portée à l'évaluation des performances de Prev'Air concernant la détection des épisodes de pollution. Cet exercice a pour objectif de répondre à un souci de transparence sur les aptitudes des modèles à prévoir et à estimer la qualité de l'air. Ce rapport traite de l'ozone pour les étés 2017 et 2018 et des particules pour les années 2017 (à partir d'avril) et 2018 en France métropolitaine.

A noter que cette évaluation porte sur des calculs nouvelle génération mis en place sur Prev'Air depuis avril 2017 incluant la haute résolution. En effet, lors de la migration du système sur une nouvelle plateforme de calcul haute performance (à Météo France), de nombreuses modifications ont été opérées sur le système, dont un changement de version de CHIMERE et la mise à jour des post-traitements (incluant les procédures d'adaptation statistique).

L'évaluation des épisodes est effectuée dans un premier temps sur les prévisions brutes de Prev'Air et montre une discontinuité avec les années passées pouvant s'expliquer par les changements de version des outils. Ensuite, elle est réalisée sur les calculs de l'adaptation statistique, processus correctif reposant sur les prévisions brutes et mis en place pour accroître la performance des prévisions. Les gains résident dans la capacité du modèle statistique à corriger le biais sur les concentrations lors des épisodes.

Ce rapport intègre pour la première fois des évaluations pour les régions et départements d'outre-mer car un système de prévision de la qualité de l'air dédié à ces zones (appelé Prev'Air DROM) est entré en production au premier trimestre 2018 avec une configuration très proche de celle de la prévision de Prev'Air en métropole. Le système Prev'Air DROM comporte un grand domaine sur l'Atlantique Ouest et trois petits domaines pour inclure la Guyane, Martinique et Guadeloupe. L'évaluation porte essentiellement sur les PM₁₀ car les DROMs sont fréquemment exposés à l'arrivée de poussières désertiques de grosse taille transportées à travers l'océan Atlantique à partir du Sahara.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Le consortium Prev’Air (Ineris, Météo-France, CNRS et LCSQA) remercie l’ensemble des personnes qui chaque jour nous permettent d’améliorer le système, que ce soient les développeurs des modèles CHIMERE et MOCAGE, les utilisateurs membres des AASQA, membres du LCSQA, et de tous les organismes qui utilisent régulièrement ou occasionnellement les produits Prev’Air dans leurs travaux.

Prev’Air remercie Météo France pour le développement et la mise à disposition de l’outil d’évaluation statistique Evaltools.

Prev’Air remercie également ECMWF et les services COPERNICUS pour la fourniture de données alimentant le système.

1. INTRODUCTION

Quotidiennement, Prev'Air (en production depuis 2003) fournit des prévisions de qualité de l'air établies à l'aide de modèles de Chimie Transport, pour la veille (D-1) et le jour même (D0) et les 3 jours à suivre (D1, D2 et D3).

A partir de ces éléments, et des observations disponibles en temps quasi réel, des calculs additionnels de post-traitement statistique viennent améliorer la cartographie en incluant les mesures. A l'échéance (D-1), le processus est une « Analyse ». Pour les échéances D0 à D3, le processus est dit « d'Adaptation Statistique ». Ces deux processus viennent améliorer la qualité des sorties brutes de modèle pour établir les produits de référence de Prev'Air publiés sur le site web www.PrevAir.org. Ces produits sont utilisés comme meilleure représentation de la répartition de la pollution en surface et sont dédiés à la prévision des dépassements des seuils réglementaires de qualité de l'air. Ils servent à l'équipe Prev'Air pour réaliser ses missions parmi lesquelles l'expertise des niveaux de concentrations des polluants afin d'alerter et communiquer en cas de survenue d'un épisode de pollution.

Ce rapport traite de l'évaluation des performances du système Prev'Air et répond à notre souci de transparence sur l'aptitude des modèles à estimer et prévoir la qualité de l'air. Cette analyse est menée chaque année sur les produits fournis en temps réel par le système.

Depuis avril 2017 le système Prev'Air évolue dans un nouvel environnement de calcul haute performance. Il s'agit du supercalculateur opérationnel de Météo France. Ainsi, PREv'air a dû intégrer plusieurs évolutions apportées successivement au système de prévision. La première évolution porte sur la configuration du système : les prévisions sont désormais fournies à haute résolution, cad 0.1×0.1 degrés en Europe (domaine MACC1e) et 0.03125×0.0625 degrés ce qui correspond à environ 4 kilomètres sur la France métropolitaine (domaine FRA4k). Ce passage s'est accompagné entre autres d'une mise à jour de la version du modèle CHIMERE de la version v2014 à une version v2016 améliorée et du cadastre des émissions. La deuxième évolution porte sur le post-traitement qui permet de corriger les erreurs de prédiction d'un modèle déterministe en y injectant de la mesure : l'adaptation statistique et l'interpolation par krigeage. L'adaptation statistique a été mise à jour en ajoutant une nouvelle variable : la moyenne des concentrations des 4h premières heures de la journée. L'apprentissage a été effectué sur les simulations hautes résolutions disponibles pour l'année 2014. La méthode d'interpolation utilisée est désormais du co-krigeage pour les particules afin de calculer une cartographie des particules $PM_{2.5}$ complétant la cartographie PM_{10} .

Enfin une dernière évolution majeure du système a concerné la mise en place de Prev'Air DROM, entrée en production fin janvier 2018 avec une configuration très proche de celle de la prévision de Prev'Air en métropole. Ce système calcule une prévision sur un grand domaine Atlantique-ouest couvrant la Guadeloupe, la Martinique et la Guyane et deux plus petits domaines centrés sur la Guadeloupe et la Martinique.

Ce rapport comporte trois sections. La première section est dédiée à l'analyse des performances des résultats de modèles bruts CHIMERE et MOCAGE. Elle est focalisée sur l'ozone pour les étés 2017 et 2018 et sur les particules pour l'hiver 2017 et l'ensemble de l'année 2018 et en France métropolitaine. La deuxième section estime la capacité des modèles à détecter un épisode de pollution sur la base des prévisions de CHIMERE sur la France corrigées statistiquement. Et la dernière section présente les performances du système Prev'Air DROM. Cette évaluation porte essentiellement sur les PM₁₀, les DROMs étant soumis essentiellement à une pollution particulière d'origine désertique en provenance du Sahara.

La définition retenue de la performance d'un modèle dans ce rapport est celle utilisée couramment par l'équipe Prev'Air, basée sur des comparaisons mesures-modèles et des représentations cartographiques des concentrations surfaciques des polluants lors d'épisode. Elle est estimée à partir d'indicateurs classiques de scores (biais, erreur quadratique moyenne, corrélation par rapport aux mesures aux stations), de cartes de pollution, et de tableaux de contingence. Ces informations sont déclinées au niveau régional et par typologie de station.

2. PERFORMANCE DE CHIMERE SUR 2017-2018

2.1 Ozone - surestimation du maximum journalier et correction

Pour l'ozone, l'évaluation est volontairement focalisée sur la période estivale de mai à septembre. La période hivernale est exclue de l'évaluation car la répétition de faibles concentrations en hiver peut fausser les scores relativement à la période d'intérêt (quand les concentrations sont les plus élevées). L'été, le rayonnement solaire, les températures élevées (souvent au-dessus de 30°C) sur une partie du pays, ainsi que les vents faibles, favorisent la formation d'ozone à partir des émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils.

L'année 2017 a connu un unique (et court) épisode de pollution en ozone d'ampleur nationale, entre le 19 et 22 juin. Les régions touchées par l'épisode furent les Hauts-de-France, l'Île-de-France, le Grand-Est et la région Auvergne Rhône Alpes en fin d'épisode. L'année 2018 a connu deux épisodes rapprochés, celui du 23-27 juillet et du 02-07 août. Le premier épisode a touché les Hauts-de-France, l'Île-de-France, la Normandie et la Provence-Alpes-Côte-D'azur. Le second épisode a d'abord touché les régions du Centre-Val-de-Loire, l'Île-de-France et le Hauts-de-France avant de se déplacer sur les régions Grand-Est, Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes.

Le calcul des scores est réalisé avec les données de mesure validées de la base de données nationale GEOD'AIR, sur un panel de 291 stations de fond disponibles réparties en 55 stations rurales, 88 stations périurbaines et 148 stations urbaines.

Pour l'analyse des épisodes d'ozone, l'indicateur réglementaire considéré est le seuil d'information de 180 $\mu\text{g}/\text{mg}^3$ en moyenne horaire. Les Figure 1a, Figure 1b et Figure 1c détaillent par région en France métropolitaine les scores (biais, RMSE et corrélation) pour CHIMERE (en rouge) et MOCAGE (en violet) en 2017. Les Figure 2a, Figure 2b et Figure 2c proposent les mêmes indicateurs pour 2018. Sur toutes ces figures, la première barre à gauche correspond à un score cumulé sur toutes les stations (291 stations).

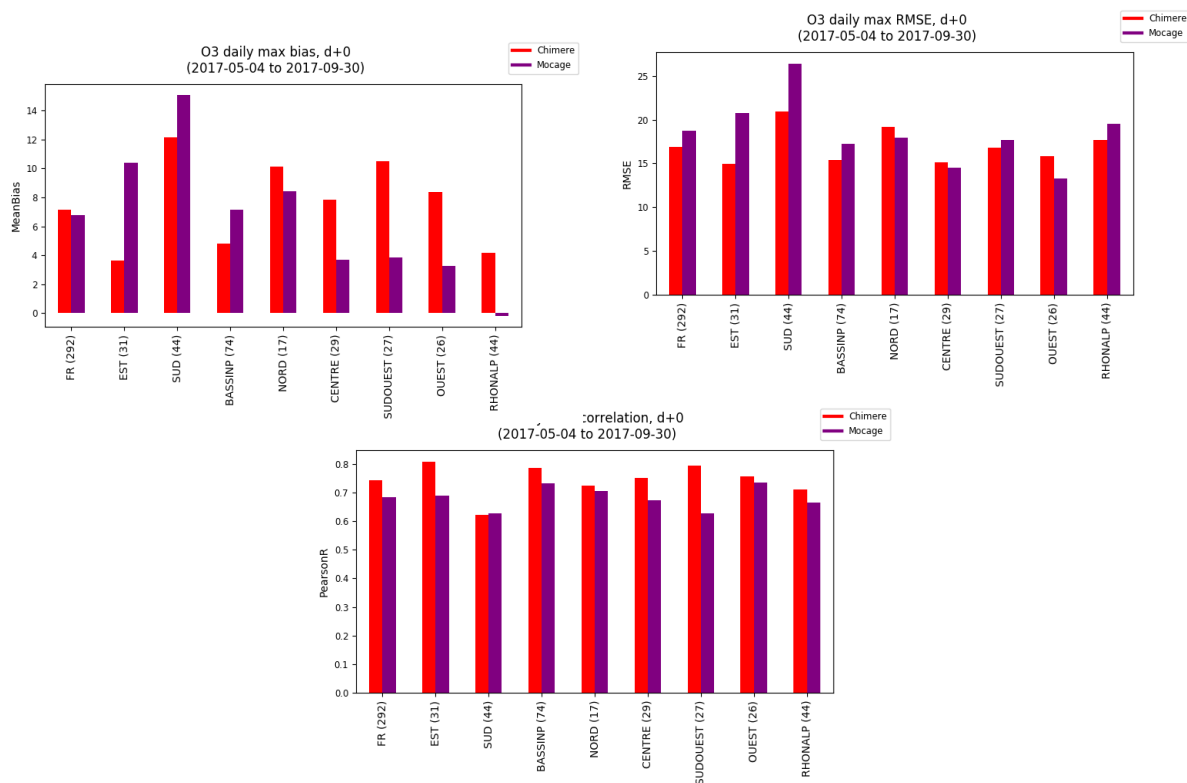


Figure 1 : O3 (maximum journalier) - scores (biais, RMS et corrélation) sur les prévisions CHIMERE (rouge) et MOCAGE (violet) de mai à septembre 2017 sur l'échéance D0

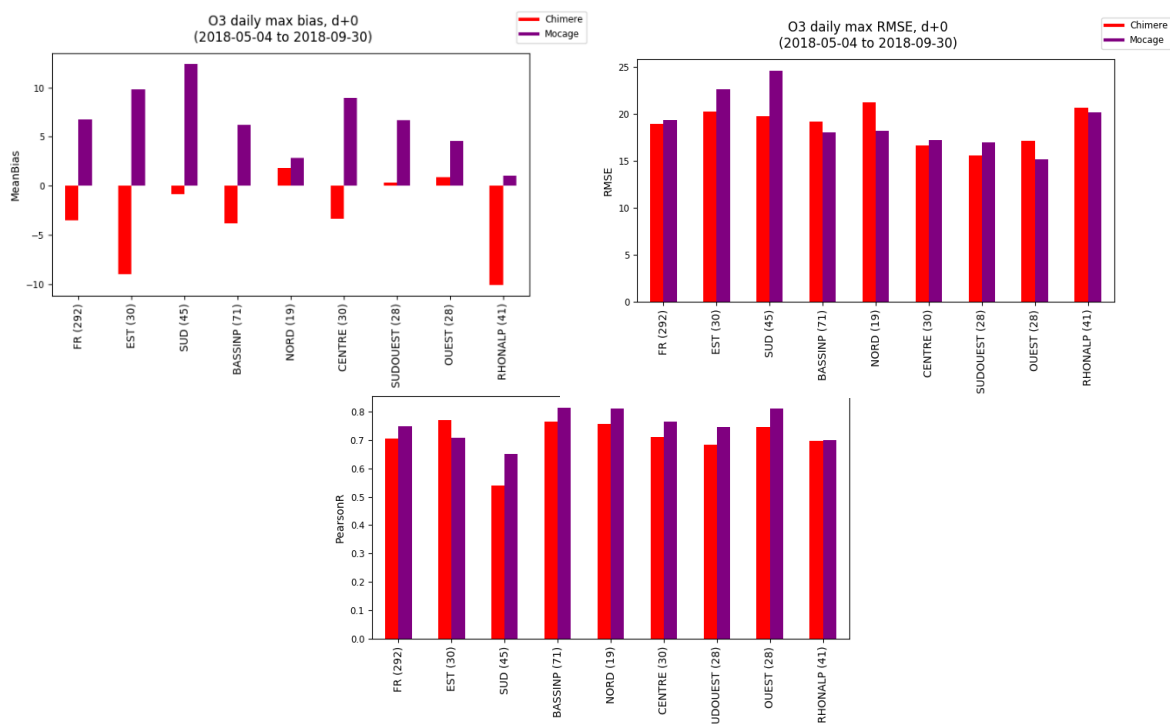


Figure 2 : O3 (maximum journalier) - scores (biais, RMS et corrélation) pour les prévisions CHIMERE (en rouge) et MOCAGE (violet) de mai 2018 à septembre 2018 sur l'échéance J0

Les principaux résultats relevés sont :

- Un biais positif moyen sur toutes les stations de $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (le 1^e histogramme sur la gauche de chaque figure correspondant à la moyenne des scores sur toutes les stations) pour CHIMERE en 2017 en cohérence avec les résultats des années antérieures,
- Un biais négatif de l'ordre de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour CHIMERE en 2018, donc très différent de celui de 2017,
- Un biais positif de l'ordre de $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour MOCAGE en 2018, plutôt conforme avec les performances de 2017,
- Une erreur quadratique (RMSE) moyenne en 2017 de l'ordre de $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour CHIMERE puis $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2018 et $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour MOCAGE en 2018 sur le maximum journalier stable par rapport à 2017,
- Une corrélation entre 0.7 et 0.8 pour les deux modèles,
- Des scores très fortement variables d'une région à l'autre.

La différence de scores entre CHIMERE en 2017 et 2018 notamment sur le biais s'explique par une correction d'un problème sur la dispersion verticale du module d'advection (option iadv, relative au schéma d'advection verticale qui était jusqu'alors Van-Leer remplacée le 19 juin 2018 par le schéma upwind dans la production opérationnelle de PREV'AIR) sur CHIMERE. L'option du schéma d'advection Van-Leer conduisait à phénomène d'accumulation des espèces chimiques dans la tropopause, et il a été décidé de temporairement basculer sur upwind le temps de résoudre le problème et d'envisager remettre l'option Van-Leer lors d'une prochaine mise à jour de CHIMERE dans PREV'AIR. Les représentations cartographiques du biais sont proposées Figure 3. La Figure 3 gauche illustre que la surestimation du maximum journalier est globale sur toute la France pour l'été 2017. La correction de l'advection implémentée en 2018 (en juin) a pour conséquence de corriger le biais positif de CHIMERE. Elle est notable sur les données CHIMERE de l'été 2018 sur toutes les régions (Figure 3, droite) et entraîne un fort biais négatif sur une zone importante du territoire et notamment en Auvergne-Rhône-Alpes, Grand-Est et Provence-Alpes-Côte-D'azur. Les corrélation et RMSE sont moins affectées par cette correction.

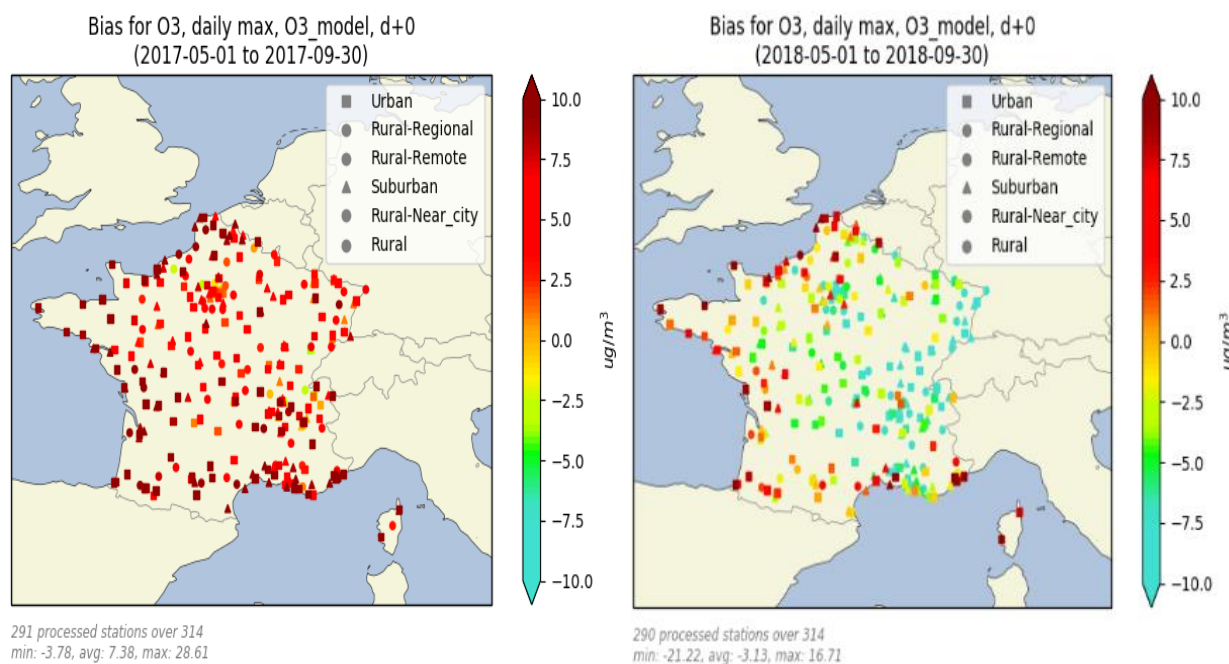


Figure 3 : O3 (maximum journalier) – Cartographie des biais aux stations par typologie sur les prévisions CHIMERE sur la période mai à septembre 2017 (figure gauche) et mai à septembre 2018 (figure droite)

La correction du biais a donc induit une discontinuité sur les performances de CHIMERE. Les régions de l'Est de la métropole et Rhône-Alpes qui présentaient une surestimation de l'ordre de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le biais du maximum journalier en 2017 se retrouvent en sous-estimation de l'ordre de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La dégradation de la RMSE reste cependant limitée en passant de $17.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le cumul journalier du nombre de dépassements journaliers du seuil d'information sur l'ozone est disponible en Figure 4 sur l'été 2017 et 2018 pour CHIMERE et en Figure 5 pour MOCAGE.

Ces scores montrent que CHIMERE est en forte sous-estimation du nombre de ces dépassements cumulés, alors que MOCAGE est en forte surestimation de ces dépassements cumulés. Il est important de noter que ces scores sont cumulés quotidiennement et sur toutes les stations et ne sont pas représentatifs pour un unique épisode de pollution.

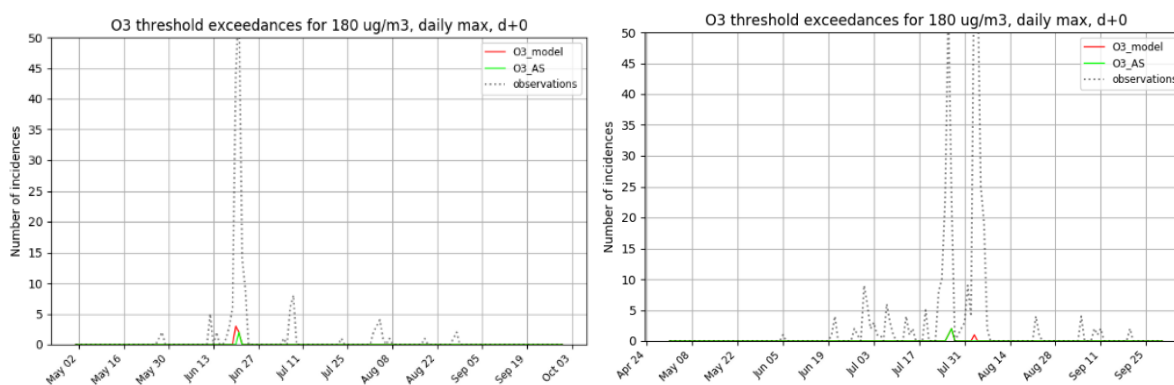


Figure 4 : Ozone (maximum journalier) - Cumul sur la France et par journée du nombre de dépassements journaliers du seuil d'information à l'ozone ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier) pour CHIMERE (rouge) en 2017 (gauche) et 2018 (droite) et observés (pointillés noirs)

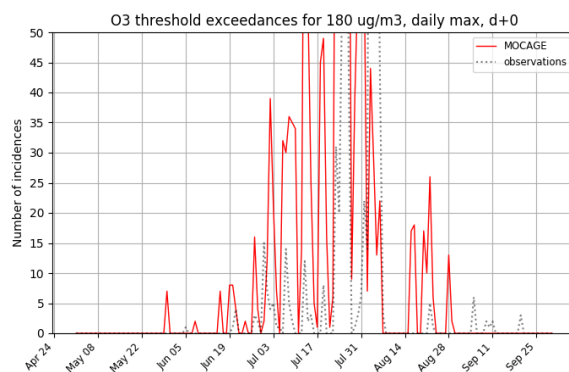


Figure 5 : Ozone (**maximum journalier**) – Cumul sur la France et par une journée du nombre de dépassements journaliers du seuil d'information sur l'ozone (180 µg/m³ en maximum journalier) pour MOCAGE (rouge) sur l'échéance J0 et observés (pointillés noirs) en 2018.

2.2 PM₁₀ - sous-estimation de la moyenne journalière

L'évaluation des PM₁₀ est réalisée sur la période couvrant mai 2017 à décembre 2018. Elle est effectuée à l'aide de 224 stations de fond, dont 27 stations rurales, 43 stations périurbaines, et 154 urbaines. Sur la période, rares ont été les situations météorologiques propices à des épisodes de pollution aux particules, et les événements marquants ont été faiblement persistants, oscillant en général entre 2 et 3 jours.

Deux épisodes de courte durée ont été constatés :

- Le 21-22 février 2018 sur les régions Grand-Est, Hauts-de-France et Nouvelle-Aquitaine,
- 15-16 mai 2018 sur la région Hauts-de-France et Grand Est.

L'indicateur réglementaire est ici le seuil d'information de 50 µg/m³ en moyenne journalière. Les scores de la Figure 6 illustrent les performances de CHIMERE sur l'indicateur de la moyenne journalière :

- Un biais négatif global de 5 µg/m³ qui traduit une sous-estimation du niveau de concentration en particules, stable par rapport aux années passées ;
- La RMSE se situe proche de 10 µg/m³, ce qui est également en adéquation avec les années passées ;
- Une corrélation de l'ordre de 0.4 qui traduit la difficulté pour CHIMERE de correctement reproduire les fluctuations de concentrations notamment dans le sud de la France. Elle est moins bonne dans la configuration de CHIMERE installée en 2017 qu'auparavant (elle figurait entre 0,5 et 0,6 en 2015 et 2016).

Les performances de MOCAGE sont assez proches de celles de CHIMERE et dans la continuité des améliorations opérées ces dernières années.

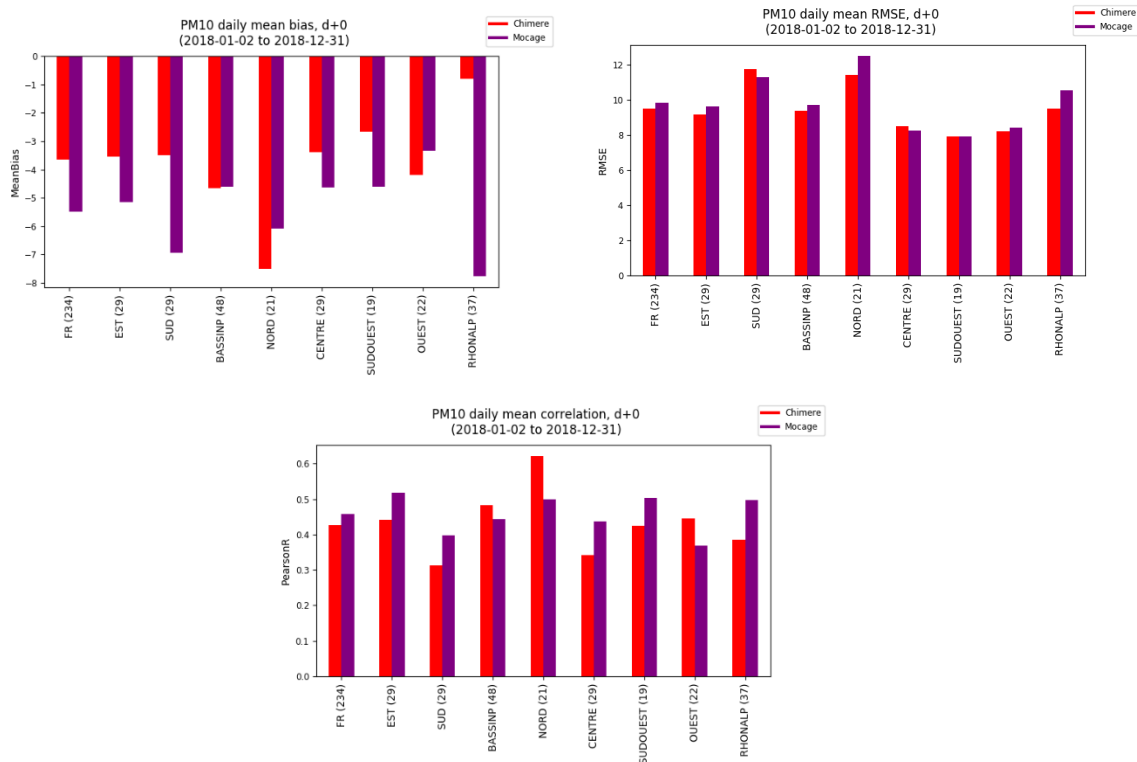


Figure 6 : PM₁₀ - scores (biais, RMS et corrélation) pour les prévisions CHIMERE et MOCAGE sur l'année 2018 pour l'échéance JO

La Figure 7 représente le cumul journalier du nombre de dépassements sur la France du seuil d'information des PM₁₀ pour CHIMERE (figure droite) et les observations pour l'année 2018 (figure gauche). Très peu d'épisodes ont été constatés, les dépassements étant la plupart du temps limité tant en termes d'extension géographique que de persistance, ce qui rend difficile leur détection par le modèle. Le modèle a surtout identifié des dépassements sur le sud du pays qui n'ont pas été relevés par les observations, ce qui constitue des fausses alertes principalement liées à un problème de conversion en taille de particules des données de conditions aux limites. Ce problème a fait l'objet d'une correction de bug en juin 2018.

Une grande partie des dépassements enregistrés étaient dues à une contribution importante du nitrate d'ammonium dans les particules. Les incertitudes liées aux émissions agricoles notamment par rapport aux profils d'émission expliquent les performances au mois de février et certainement mai. Les difficultés ont été fréquentes sur les dépassements de la région Nord, pouvant être dues à une sous-estimation des contributions transfrontalières et aussi des émissions locales (agricoles, maritimes, industrielles et du trafic routier).

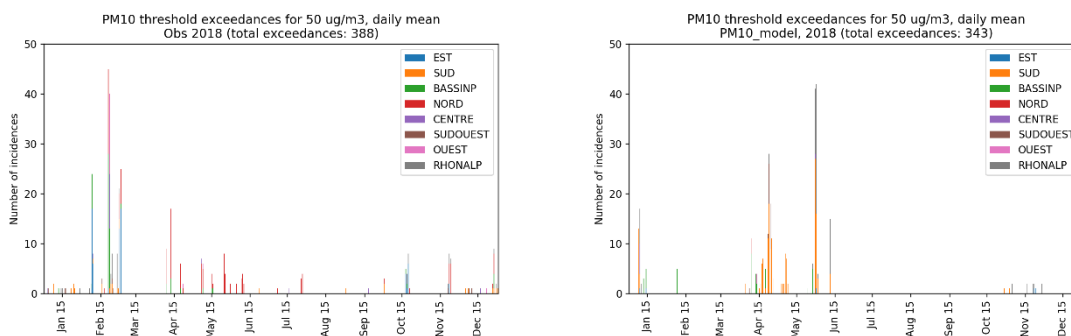


Figure 7 : PM₁₀ - Cumul sur une journée du nombre de dépassements journaliers du seuil d'information (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière) pour observations (gauche) et CHIMERE sur l'échéance JO (droite).

3. EVALUATION DE L'ADAPTATION STATISTIQUE

L'adaptation statistique est un processus qui consiste à prévoir une concentration aux stations de mesure qui est ensuite spatialisée à l'aide du modèle déterministe (CHIMERE). Ce croisement de l'information spatiale contenue dans un champ de concentration surfacique CHIMERE avec des données statistiques issues de la mesure permet de concilier le monde de la modélisation avec celui de la mesure.

L'adaptation statistique est une méthodologie en deux étapes. La première étape utilise les connaissances des épisodes passés de pollution (mesure et modèle) et des champs de météorologie afin d'établir une estimation statistique aux N stations du niveau de concentration à l'échéance D0. Elle est étendue par la suite à l'échéance D1, puis D2 et D3. Afin de limiter le nombre de calcul, seuls les indicateurs du maximum journalier et de la moyenne journalière sont considérés jusqu'à présent. La méthodologie utilise la régression multilinéaire afin d'estimer une concentration à l'aide de facteurs, communément appelés « variables explicatives ». Les variables explicatives identifiées lors du projet CITEAIR2 et à travers des travaux menés avec d'autres partenaires (AIRAQ, Univ. Nantes, IMT) sont :

- La température prévue à 2m en Kelvin,
- La hauteur prévue de la couche limite en m ou en log,
- L'humidité relative prévue,
- La vitesse de vent horizontal en m/s prévue,
- Les concentrations prévues par CHIMERE et observées de la veille pour les différents polluants considérés,
- La concentration moyenne de la veille mesurée à la station pour les différents polluants considérés,
- La moyenne des concentrations mesurées sur les six premières heures de la journée pour le polluant considéré,
- Le jour d'estimation (lundi à dimanche),

Dans la deuxième étape, à partir de ces N estimations aux stations, une spatialisation est opérée par krigeage avec le modèle CHIMERE en dérive externe. La grille d'entrée de krigeage est celle du modèle CHIMERE, la grille FRA4k avec une résolution de 4km environ sur la France. La grille de sortie est FRA2k à une résolution de 2km environ, une grille de résolution intermédiaire afin d'atteindre la résolution de 1km nécessaire pour Prev'Air Urgence et le calcul des expositions des populations à la pollution atmosphérique ainsi que des surfaces en dépassements des seuils réglementaires. La méthodologie de spatialisation mis en œuvre depuis plusieurs années est un krigeage pour l'ozone avec CHIMERE en dérive externe. Elle est tributaire du nombre de stations et rend impossible la cartographie des particules en raison d'un nombre insuffisant de stations de mesure PM2.5 en France métropolitaine. Pour les particules, un co-krigeage des PM10 et PM2.5 avec CHIMERE toujours en dérive externe est mise en œuvre afin d'assurer une cartographie conjointe de ces deux polluants.

3.1 Ozone, sous-estimation du maximum journalier

Nous rappelons ici que l'adaptation statistique a pour objectif la correction du modèle CHIMERE en se basant sur une période d'apprentissage pour établir des modèles statistiques station par station. A la mise en place de Prev'Air sur le nouveau cluster de calcul en avril 2017, la période d'apprentissage utilisée était l'année 2014. En analysant les Figure 8a, Figure 8b, Figure 8c, nous observons que l'adaptation statistique (graphique en barre en vert) diminue significativement le biais et la RMSE et améliore la corrélation pour les maximum journaliers d'ozone sur toutes les régions lors de l'été 2017 (mai à septembre).

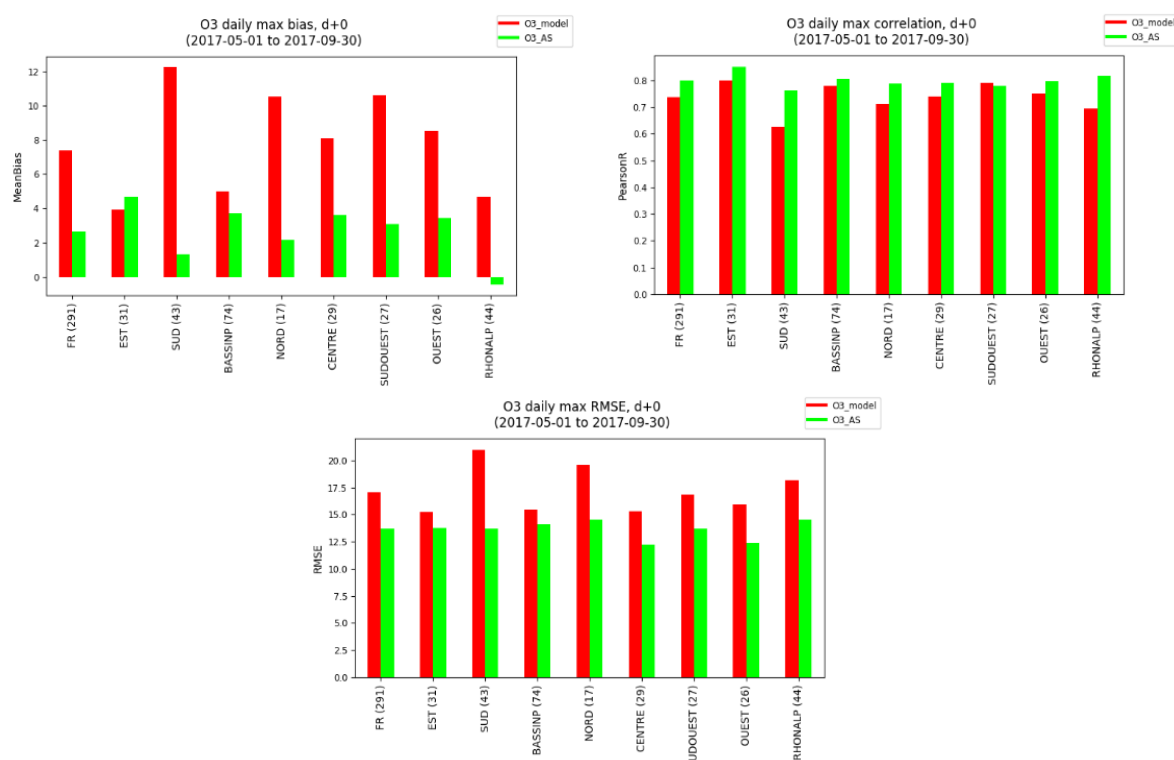


Figure 8 : O3 - scores (biais, RMS et corrélation) pour les prévisions CHIMERE de mai 2017 à septembre 2017 sur l'échance J0

L'épisode survenu du 19 au 22 juin 2017 a atteint un maximum d'intensité le 21 juin 2017 en termes de niveau de concentration et de couverture spatiale. La Figure 9 permet de faire une comparaison des différentes cartographies pour la journée du 21 juin 2017 : carte de la prévision brute de CHIMERE, la prévision brute de MOCAGE, l'adaptation statistique de CHIMERE et l'analyse de CHIMERE (figure de gauche à droite et de haut en bas). L'analyse résulte d'une fusion entre les sorties CHIMERE et les observations et représente la cartographie cible de l'épisode. Sur cette journée, nous relevons plusieurs problèmes :

- Les cartes correspondant aux calculs avec CHIMERE « brut » et CHIMERE « avec adaptation statistique » sont relativement similaires. Des dépassements étaient prévus en Ile de France et en Lorraine. La zone où les concentrations sont supérieures à $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est toutefois plus étendue pour les résultats avec adaptation statistique que sans.
- La variabilité spatiale du champ de concentration CHIMERE est bien cohérente avec l'analyse et les observations (même si les niveaux sont sous-estimés).

- La prévision proposée par MOCAGE est sensiblement différente, les dépassements étant uniquement prévus en Lorraine.
- CHIMERE a bien prévu un dépassement du seuil d'information (couleur rouge) mais uniquement localisé dans le bassin parisien alors que l'épisode était bien étendu sur plusieurs régions (carte analyse). Cela explique le faible score sur les cumuls de dépassement (Figure 4 gauche).
- L'adaptation statistique a ré-évalué à la hausse les concentrations modérées partout en France métropolitaine à l'exception du sud de la France où elle a diminué les concentrations (avec raison). Cependant elle n'a pas réussi à totalement redresser la sous-estimation de cet épisode en ayant un impact limité sur les zones où les concentrations étaient les plus élevées (excédant le seuil d'information). Le fait que l'adaptation statistique redresse bien les concentrations modérées et moins les concentrations élevées est attribué à une période de calibration (année 2014) trop courte avec peu de valeurs élevées.
- Les pastilles rouges sur la carte d'analyse (en Normandie et Rhône-Alpes notamment) correspondant aux observations montrent que la méthode d'interpolation par krigeage n'a pas pu redresser les concentrations autour de certaines stations en dépassement. Deux raisons peuvent expliquer ce biais : soit l'écart par rapport à CHIMERE est trop important, soit le voisinage d'interpolation ne permet pas la correction parce que le dépassement est trop localisé. Cette explication paraît la plus plausible au vu de la distribution des valeurs observées.

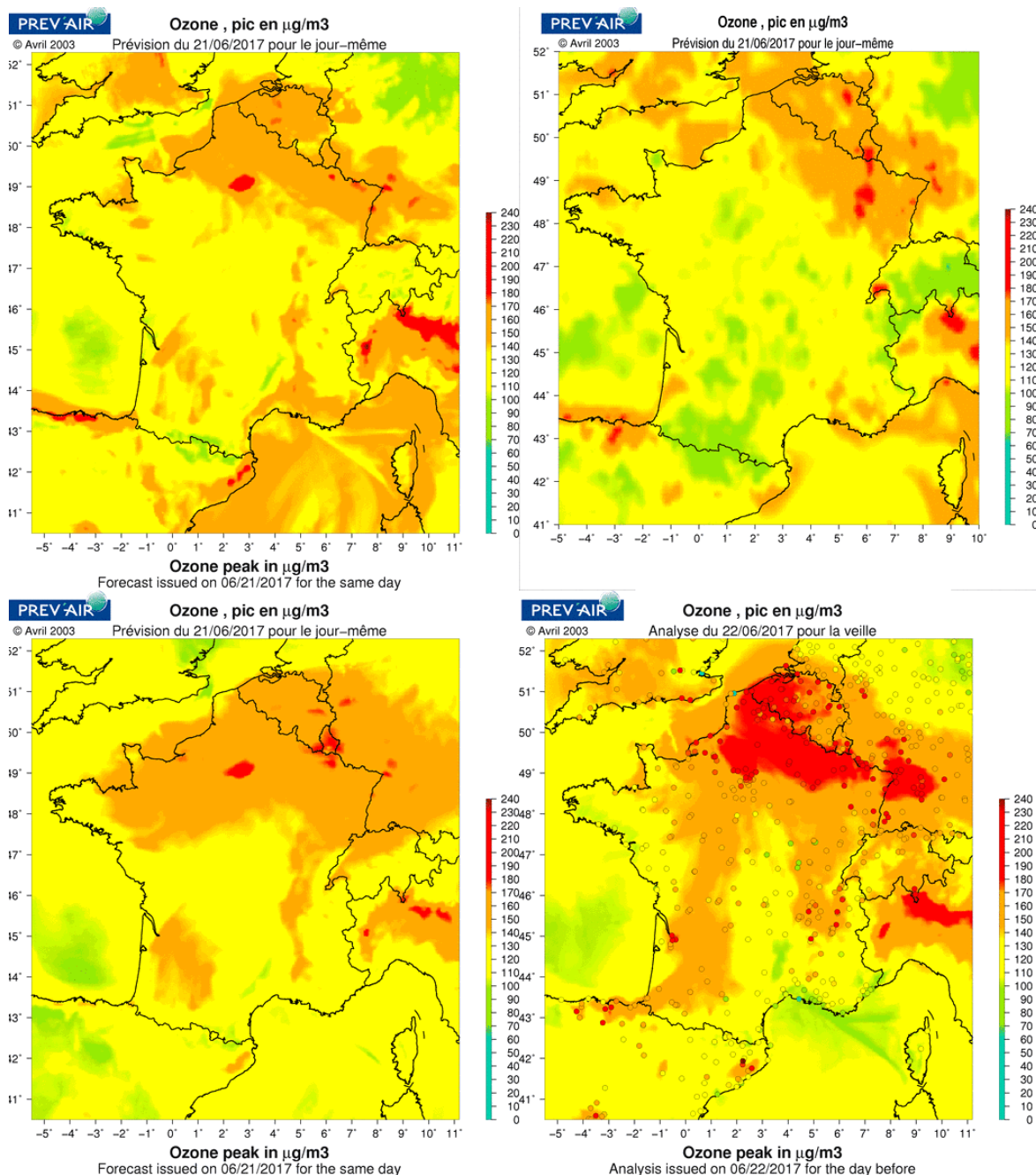


Figure 9 : O_3 (maximum journalier) – Cartes des prévisions établies par CHIMERE (en haut à gauche), par MOCAGE (en haut à droite), par CHIMERE avec adaptation statistique (en bas à gauche) et des cartes des concentrations par l'analyse de CHIMERE (en bas à droite) pour la journée du 21 juin 2017. Les pastilles colorées sur la carte analysée correspondent aux observations.

Sur l'année 2018, les mêmes modèles d'adaptation statistique ont été utilisés (même période d'apprentissage 2014) sur un modèle CHIMERE qui avait été corrigé en Juin d'une erreur sur module d'advection (voir 2.1). L'analyse des résultats des Figure 10a, Figure 10b, Figure 10c (graphique en barre en vert) montre que l'adaptation statistique améliore significativement les scores de RMSE et de corrélation du modèle CHIMERE sur l'ensemble du territoire. Le biais est également meilleur avec l'adaptation statistique sur de nombreuses régions à l'exception de la zone sud pour laquelle le biais devient assez négatif par rapport à la prévision brute. Sur les autres régions les biais sont réduits grâce à l'adaptation statistique. Et pour toutes les régions, l'amélioration de la corrélation est

substantielle, de telle sorte que la RMSE est systématiquement et substantiellement améliorée.

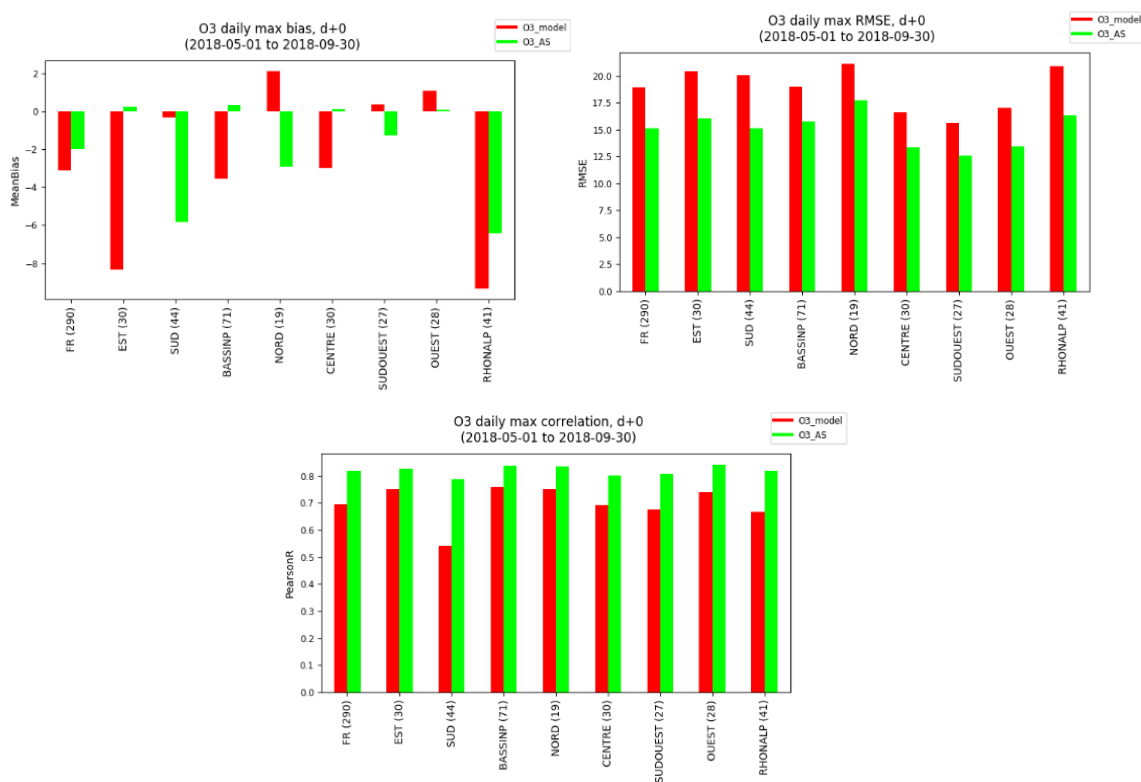


Figure 10 : O3 - scores (biais, RMS et corrélation) pour les prévisions CHIMERE de mai 2018 à septembre 2018 sur l'échéance D0

A titre d'illustration, l'analyse des cartographies de l'épisode du 26 juillet 2018 (Figure 11) confirment les mêmes types de résultats qu'en 2017. CHIMERE a sous-estimé l'épisode de pollution d'ozone mais présente, avec l'adaptation statistique, des structures de champs de concentrations cohérentes avec l'analyse et les stations de mesure. L'adaptation statistique peine cependant à redresser totalement les niveaux de concentration de l'épisode, le biais négatif étant toujours important, notamment dans les zones les plus concernées (PACA et couloir rhodanien).

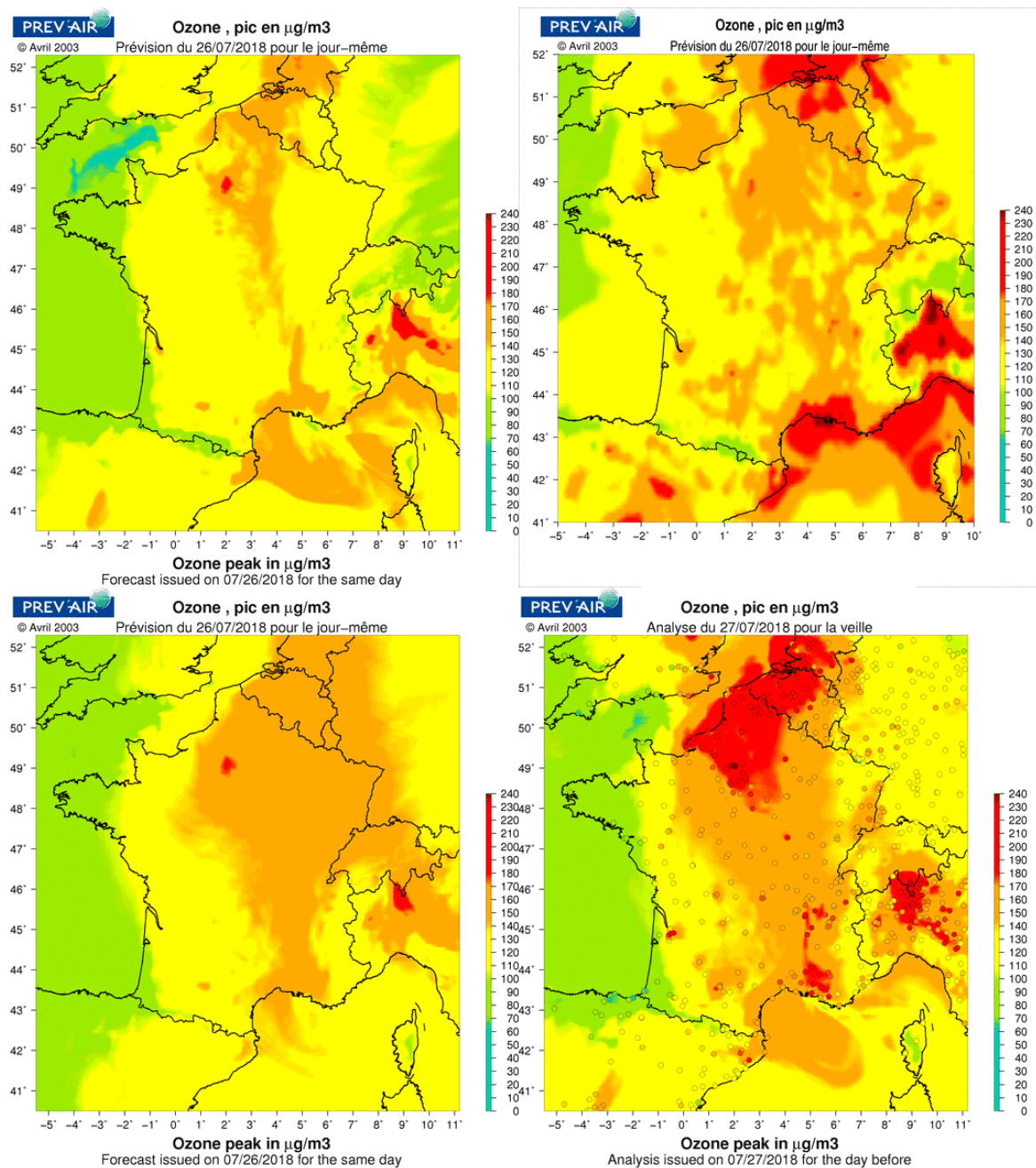


Figure 11 : O₃ – Carte des prévisions JO établie par CHIMERE (en haut à gauche), par MOCAGE (en haut à droite), par CHIMERE avec adaptation statistique (en bas à gauche), et des cartes des concentrations par l'analyse de CHIMERE (en bas à droite) pour la journée du 26 juillet 2018. Les pastilles colorées sur la carte analysée correspondent aux observations.

3.2 PM₁₀ : légère surestimation de la moyenne journalière

Alors que les modèles bruts sous-estiment globalement les épisodes de PM₁₀ de 4 µg/m³ en moyenne en 2018, les résultats de l'adaptation statistique (histogrammes verts Figure 12) montrent que celle-ci présente un biais moyen positif sur la France de 1 µg/m³ seulement, une RMSE également plus faible à 5 µg/m³ et une corrélation proche de 0,8 nettement meilleure que les prévisions brutes.

En conséquence, la correction statistique améliore très significativement la prévision des niveaux de particules et donc la détection des épisodes de faible durée (Figure 11).

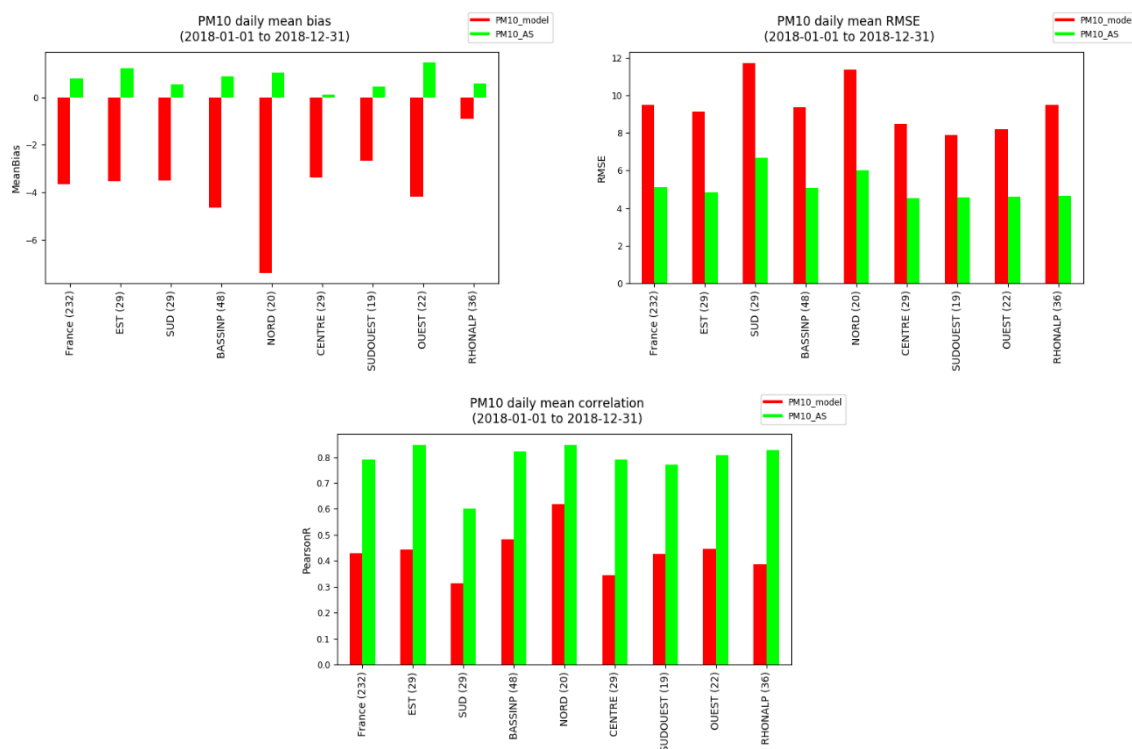


Figure 12 : PM₁₀ - scores (biais, RMS et corrélation) sur les prévisions CHIMERE et avec et sans adaptation statistique sur l'année 2018 pour l'échéance J0

Les Figure 13 et Figure 14 illustrent les cartographies des différents épisodes avec des cartes de prévision issues de CHIMERE, et de CHIMERE avec adaptation statistique, de l'analyse CHIMERE et de la prévision de MOCAGE (figures de gauche à droite). Quatre dates sont proposées pour lesquelles les prévisions brutes issues des modèles CHIMERE et MOCAGE ont clairement failli dans la détection de l'épisode.

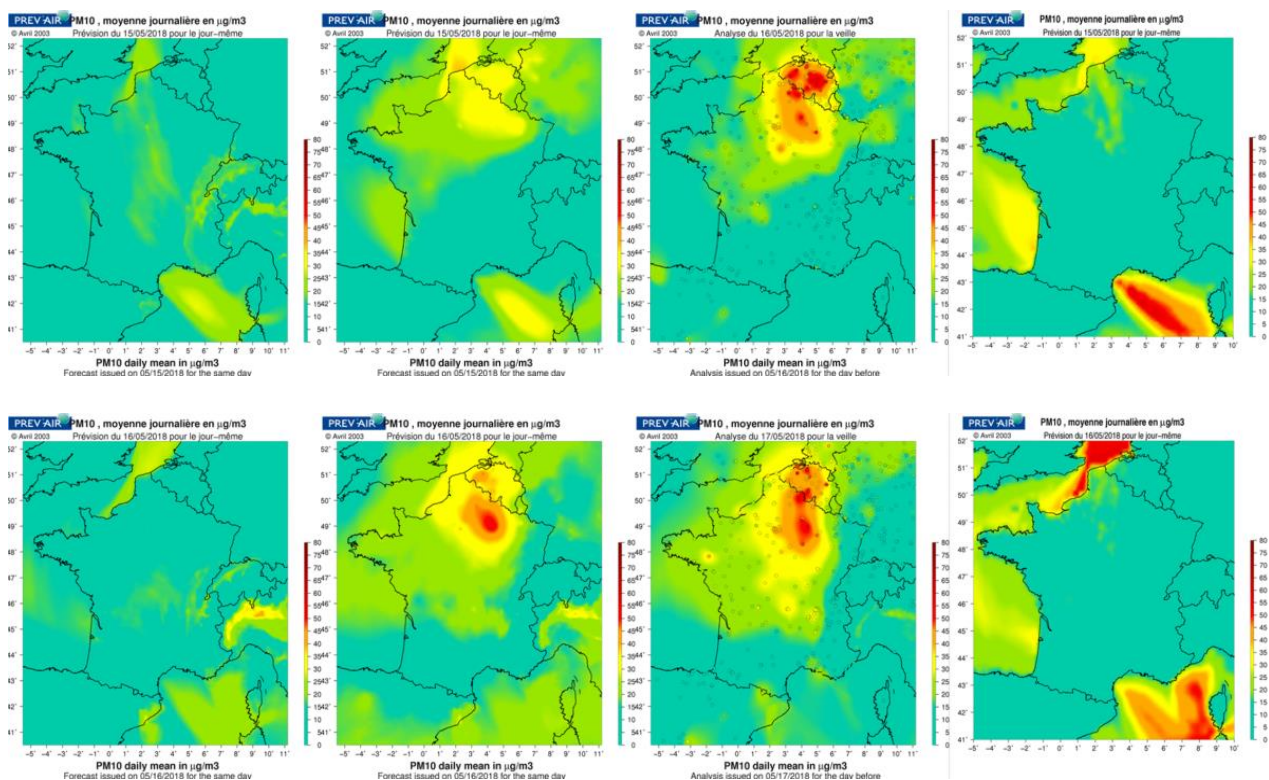


Figure 13 : PM₁₀ – Carte des prévisions (de gauche à droite) CHIMERE, CHIMERE avec adaptation statistique, l'analyse CHIMERE et de prévision MOCAGE pour la journée 21 février 2018 (haut) et 22 février 2018 (bas)

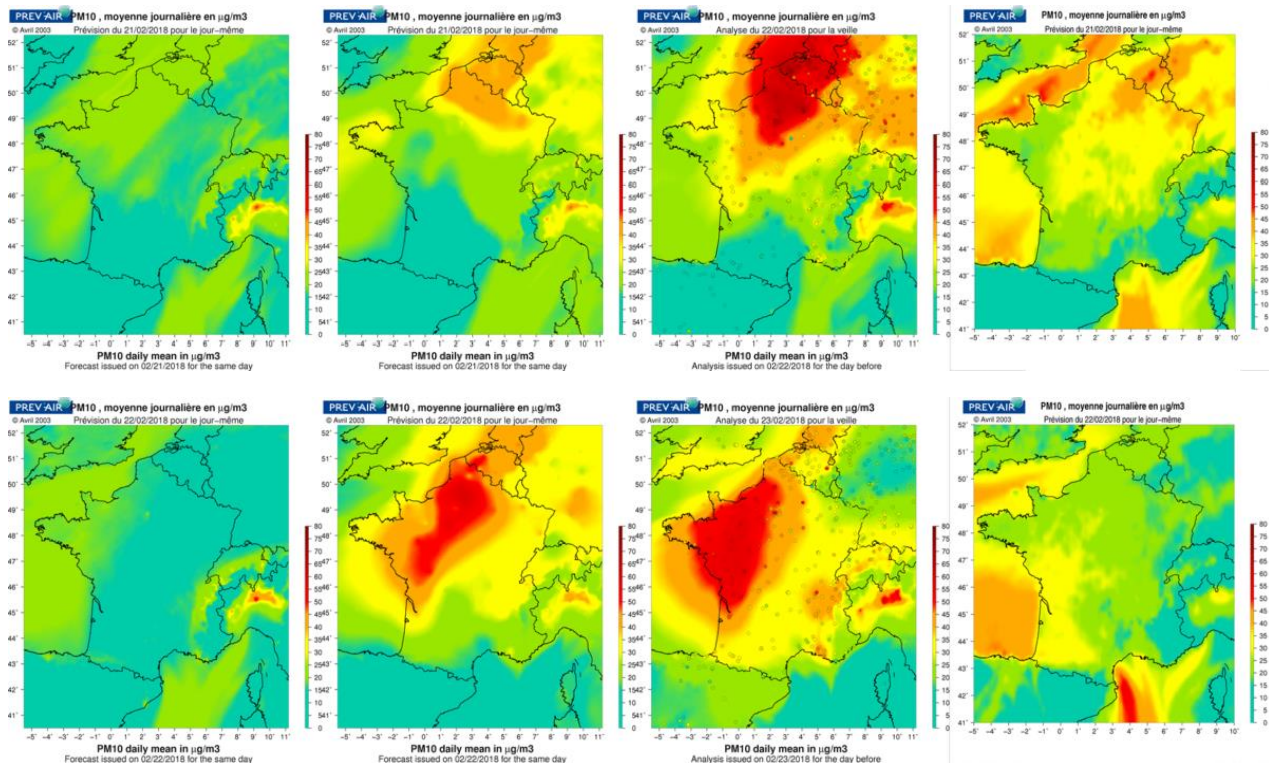


Figure 14 : PM₁₀ – Carte des prévisions (de gauche à droite) CHIMERE, CHIMERE avec adaptation statistique, l'analyse CHIMERE et de prévision MOCAGE pour la journée 15 mai 2018 (haut) et 16 mai 2018 (bas)

Les principales conclusions :

- Concernant l'épisode du 21 et 22 février, la prévision avec AS améliore significativement la prévision des concentrations en moyenne journalière, de telle sorte que l'identification des zones affectées par des concentrations plus élevées est bien prévue malgré une forte sous-estimation des concentrations (surtout sur la première journée de l'épisode). Il convient de noter le caractère très localisé des plus fortes concentrations.
- Sur l'épisode du 15 et 16 mai 2018, l'adaptation statistique permet de rehausser les concentrations de PM₁₀, mais pas suffisamment, que ce soit au regard des niveaux de concentration ou de leur étendue spatiale. Dans ce cas, l'épisode est plutôt caractérisé par des sources régionales.

3.3 Evolution de l'Adaptation Statistique depuis 2015

Les figures présentées dans cette sous-partie ont vocation à documenter l'évolution des performances de l'adaptation statistique entre les années 2015 et 2018, aussi bien pour l'ozone que pour les PM₁₀.

Malgré les différences induites par la variabilité des concentrations observées suivant les années, la Figure 15 montre que depuis 2015 l'adaptation statistique parvient à améliorer la concordance entre les données issues du modèle et celles des observations pour l'ozone.

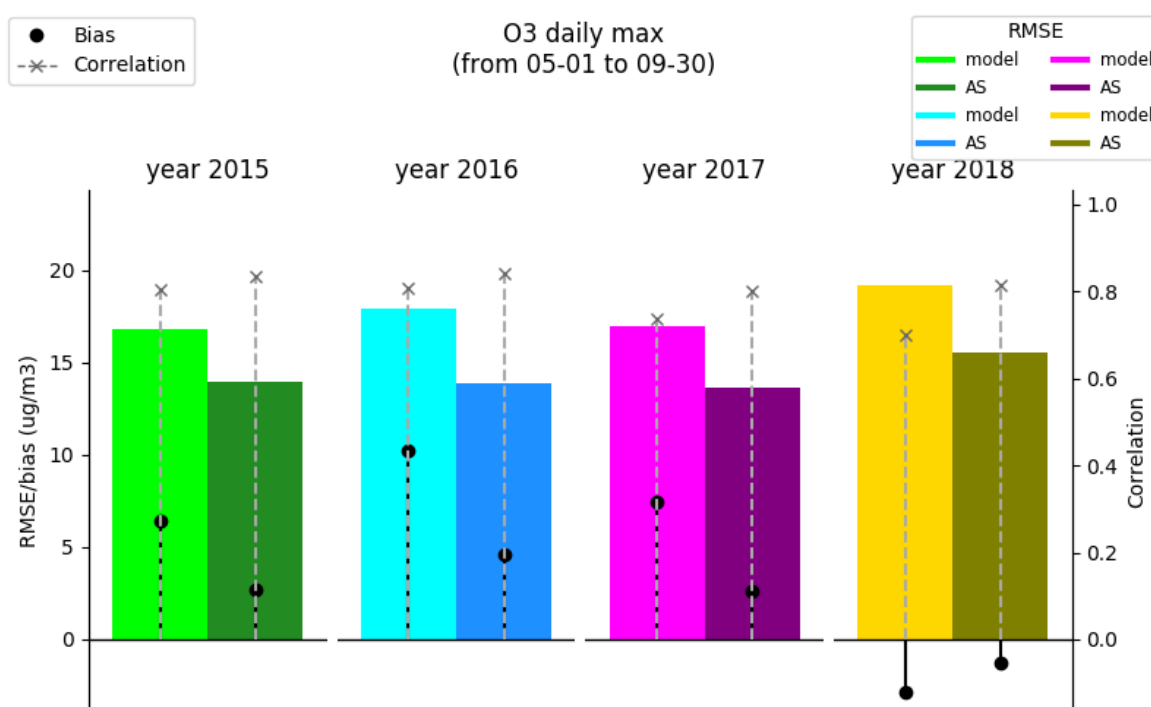


Figure 15 : O₃ - Graphe synthétique des scores de RMSE (barres de l'histogramme), biais moyen (traits noirs) et corrélation (pointillés gris), comparaison entre le modèle Chimere et l'adaptation statistique (AS) pour l'ozone (maximum journalier) entre les années 2015 à 2018 sur la période estivale

Si les performances sont assez stables sur ces 5 années, il convient de noter que l'année 2018 a cependant un comportement singulier avec une tendance à la sous-estimation (biais négatif) des concentrations d'ozone, caractéristique qui va être assez pénalisante pour la détection des dépassements de seuils réglementaires. Ce que confirme la Figure 16, avec des bonnes détections (barres bleues) très faibles depuis 2017. La seule compensation positive étant qu'aucune fausse alerte n'est également constatée sur ces 2 dernières années pour les mêmes raisons. Si on note un biais négatif à partir de 2018, l'amplitude absolue de ce biais est moindre que le biais positif précédemment constaté. Cette évolution a pour origine un apprentissage de l'AS opéré sur des sorties brutes de CHIMERE différentes des sorties opérationnelles qui intègrent une modification du schéma d'advection verticale. Cette différence explique le biais négatif sur les concentrations élevées d'ozone obtenue en 2019 accentué par rapport aux années antérieures, ce qui a rendu plus difficile les détections des dépassements de seuil et motivé des travaux de mise à jour de l'AS décrit dans le chapitre 3.4. Néanmoins, l'adaptation statistique garde une corrélation satisfaisante, de telle sorte que la RMSE n'a que modérément augmenté en 2018 par rapport aux précédentes années à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, augmentation aussi due aux niveaux de concentrations d'ozone rencontrés plus importants que lors des années précédentes.

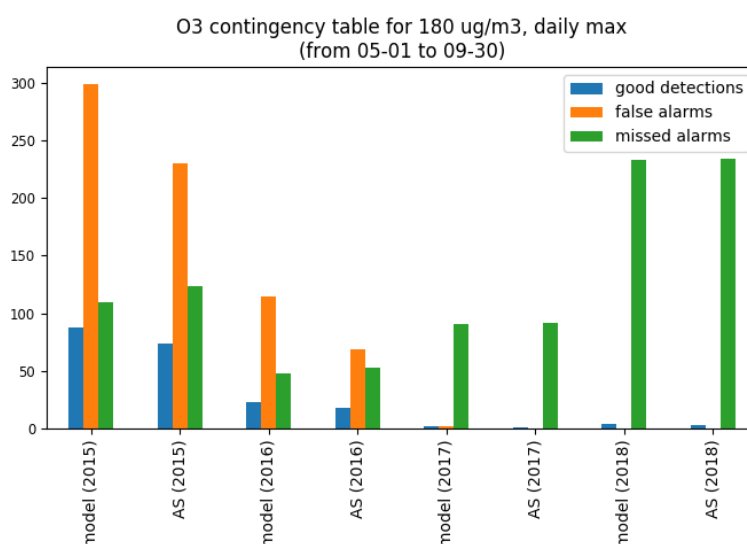


Figure 16 : O3 (maximum journalier) – Tables de contingence du modèle Chimere et de son adaptation statistique pour un seuil de dépassement de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ozone en maximum journalier

Concernant les performances PM_{10} , illustrées sur la Figure 17, elles sont également plutôt stables. Un point de vigilance néanmoins sur la corrélation de Chimere en 2018 entre 0,4 et 0,5 en net retrait par rapport aux scores obtenus les années précédentes. Malgré cela, l'adaptation statistique répond bien avec des performances égales voire légèrement supérieures (RMSE en baisse) aux années antérieures.

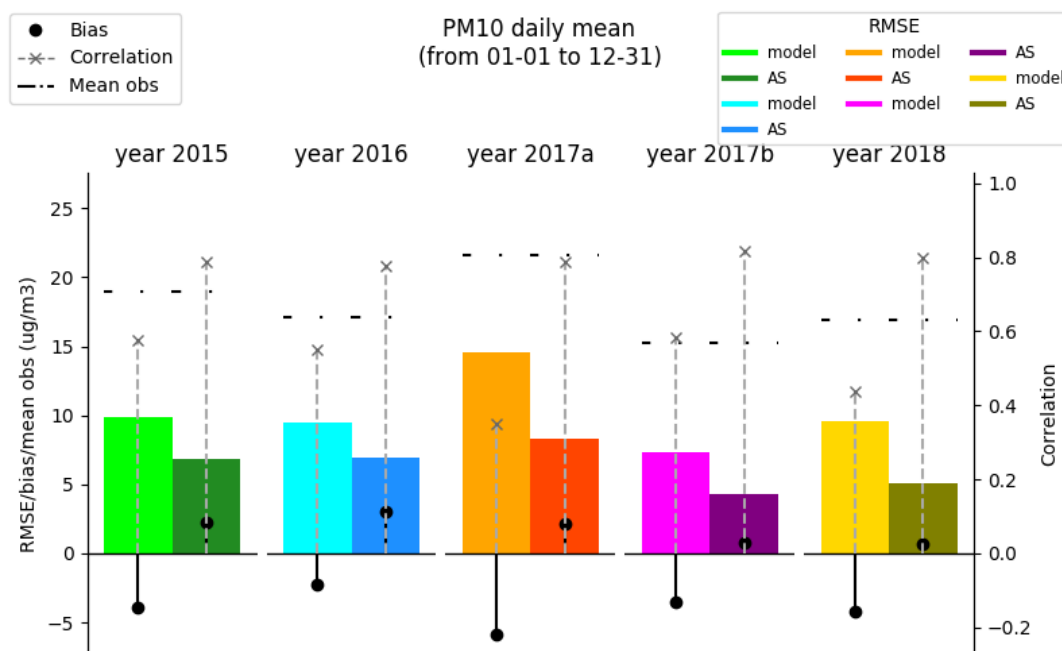


Figure 17 : PM₁₀ - Graphe synthétique des scores de RMSE (barres de l'histogramme), biais moyen (traits noirs) et corrélation (pointillés gris), comparaison entre le modèle Chimere et l'adaptation statistique (AS) pour les PM₁₀ (moyenne journalière) entre les années 2015 à 2018. L'année 2017 a été scindée en 2017a (du 01-01 au 30-04) et 2017b (du 01-05 au 31-12) du fait d'un changement de configuration de Chimere de la version 2008 à la version 2016 en cours d'année.

Pour les PM₁₀, l'adaptation statistique accroît les détections des dépassements des seuils réglementaires (Figure 18). En 2018, l'absence d'épisode important se traduit par peu de dépassements enregistrés (environ 200), ce qui explique en partie les performances en baisse des bonnes prévisions de dépassement du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière.

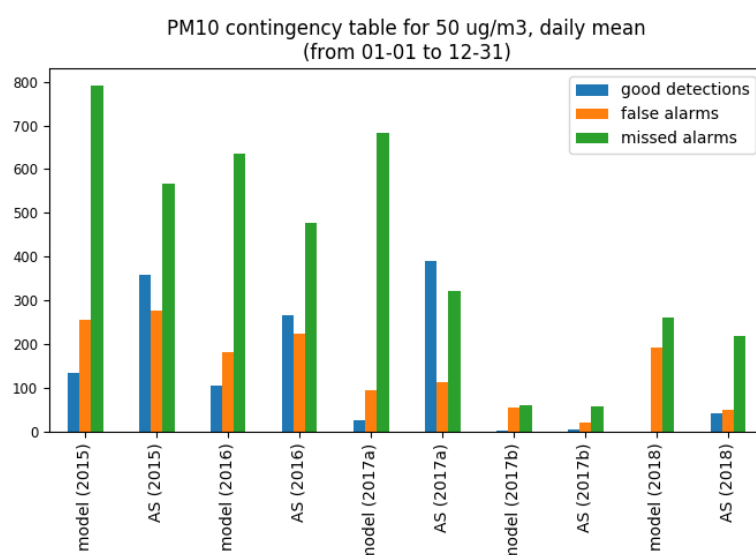


Figure 18 : PM₁₀ - Tables de contingence du modèle Chimere et de son adaptation statistique pour un seuil de dépassement de 50 µg/m³ pour les PM₁₀ en moyenne journalière. L'année 2017 a été scindée en 2017a (du 01-01 au 30-04) et 2017b (du 01-05 au 31-12) du fait d'un changement de configuration de Chimere de la version 2008 à la version 2016 en cours d'année.

3.4 Travaux d'améliorations de l'AS

Les performances de l'AS en 2018, surtout sur l'ozone, ont motivé la mise à jour de la correction statistique en travaillant notamment sur une période d'apprentissage cohérente par rapport aux configurations de CHIMERE opérationnelles. Lors des travaux les plus récents la méthode a donc été entraînée sur 2018 puis évaluée sur 2019 pour l'ozone et les PM₁₀.

Cette démarche améliore significativement les scores par rapport à la version actuellement en production surtout sur les concentrations élevées (Figure 19), ce qui montre l'importance de la représentativité des périodes d'apprentissage dans la mise au point de l'adaptation statistique.

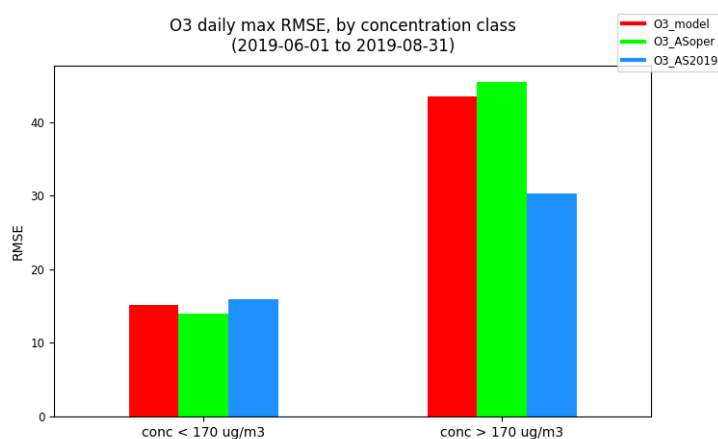


Figure 19 : RMSE pour 2 gammes de concentrations, respectivement inférieures et supérieures à 170 µg/m³

En conséquence le taux de détection du seuil de 180 µg/m³ est plus important avec cette mise à jour qu'avec la version implantée en opérationnel (Figure 20). Cependant il faudra prêter attention aux fausses alertes non négligeables sur cette évaluation (surestimation de l'extension géographique des panaches).

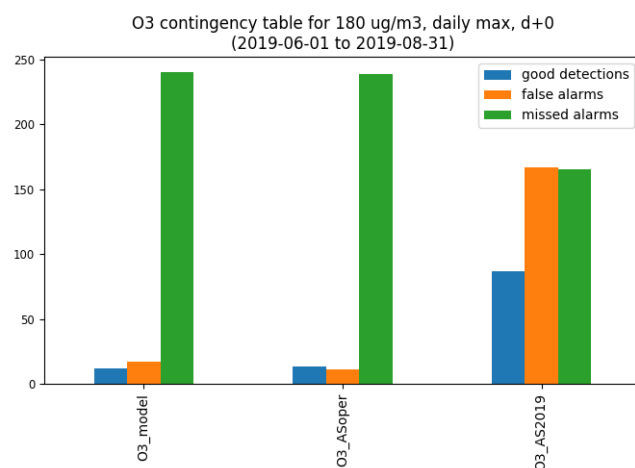


Figure 20 : Eléments de la table de contingence pour CHIMERE brut (à gauche), CHIMERE AS opérationnel et CHIMERE AS mise à jour sur les données de l'année 2018.

Pour les PM₁₀, le changement est moins important (au niveau des scores RMSE, biais et corrélation) mais suffisant pour doubler les bonnes détections par rapport à la prévision opérationnelle (Figure 21) et passer à 20% de probabilité de détection, sans augmentation des fausses alertes.

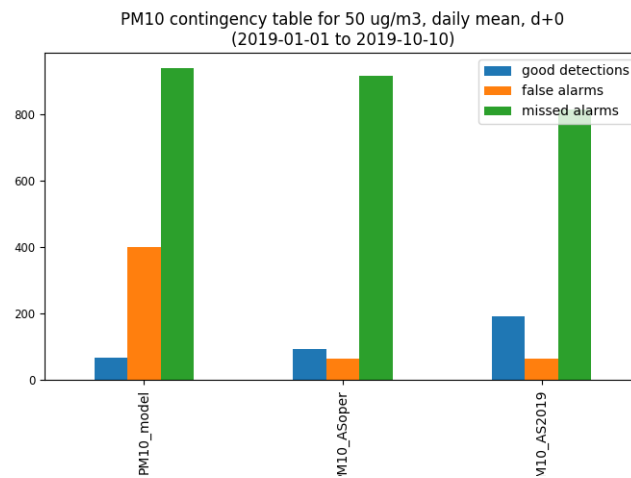


Figure 21 : Éléments de la table de contingence pour CHIMERE brut (à gauche), CHIMERE AS opérationnel et CHIMERE AS mise à jour sur les données de l'année 2018.

4. EVALUATION DE PREV'AIR DROM

Les simulations Prev'Air DROM sont disponibles pour les trois domaines Martinique, Guadeloupe et Guyane qui sont imbriqués dans le grand domaine (DROMATLW). La résolution spatiale est de $1^\circ \times 1^\circ$ pour le grand domaine et celui de la Guyane et de $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ pour la Martinique et la Guadeloupe. Le graphique 22 illustre les quatre domaines.

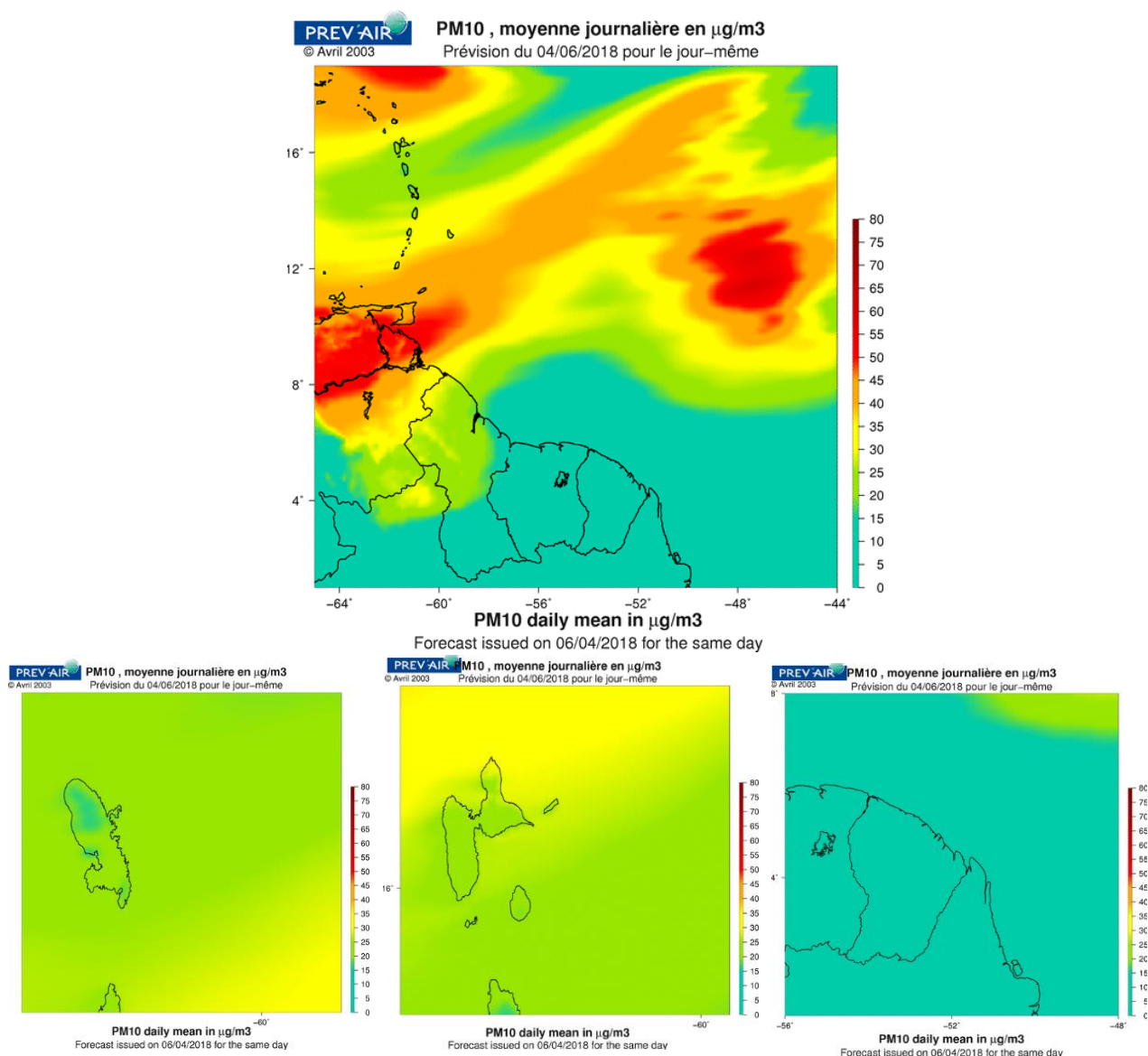


Figure 22 : Les domaines de simulations de Prev'Air-DROM. Grand domaine DROMATLW en haut. Trois petits domaines en bas : Martinique (gauche), Guadeloupe (milieu), Guyane (droite).

La Martinique et la Guadeloupe et la Guyane sont souvent impactées par un phénomène appelé « brumes de sable saharien ». C'est un soulèvement de poussières désertiques en provenance du Sahara qui sous l'influence des alizés se propage de l'Afrique à l'Ouest Atlantique. Le phénomène est naturel et fréquemment observés dans ces régions. Son étendue spatiale est donnée en aperçu sur la Figure 23 à partir des prévisions établies pour les journées du 3 juin 2018 au 8 juin 2018. Ces événements placent les Antilles françaises régulièrement en vigilance à la pollution aux particules.

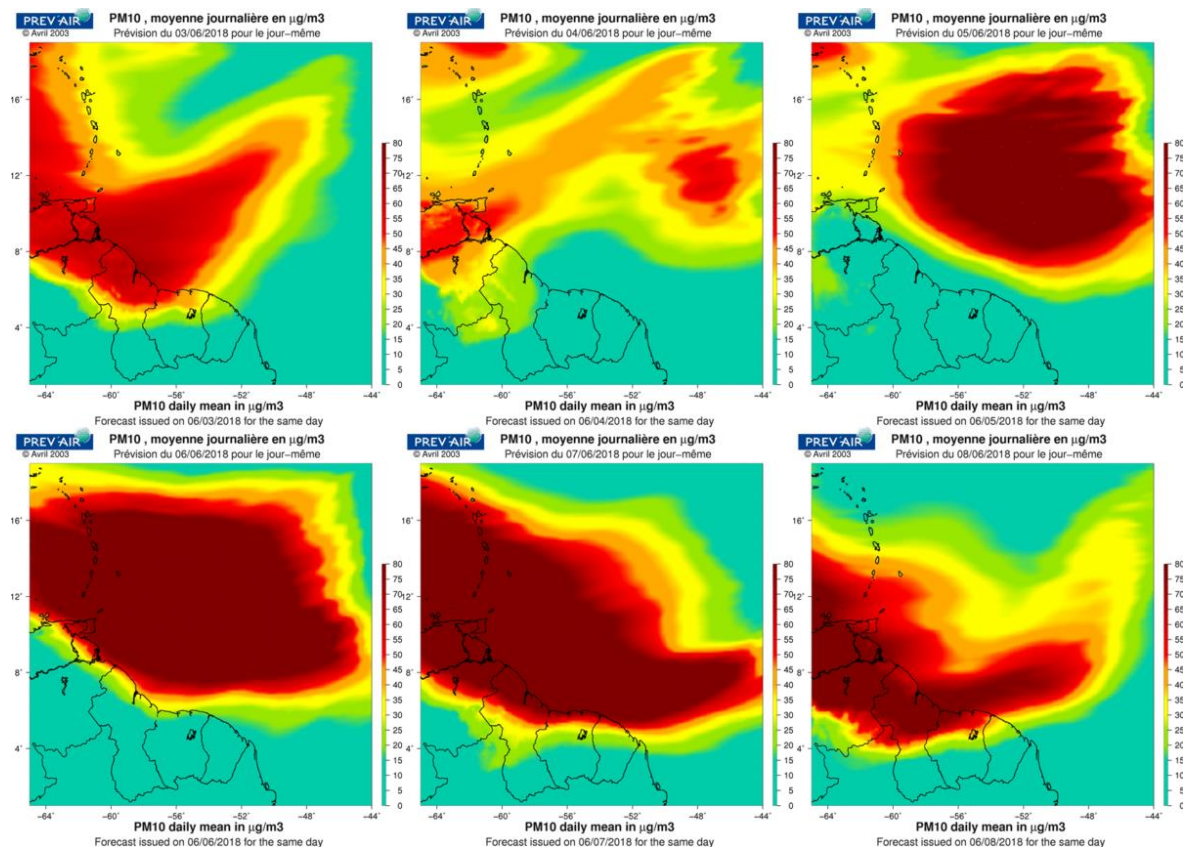


Figure 23 : concentration des PM10 du 03 juin 2018 (en haut à gauche) au 08 juin 2018 (en bas à droite) sur le domaine DROMATLW.

L'analyse des concentrations d'ozone et de dioxyde d'azote montre que ces deux polluants ne sont pas problématiques dans ces régions. L'évaluation de Prev'Air DROM est donc focalisée sur les particules PM₁₀ sur les stations de fond. Cependant, au vu du nombre de stations dans ces régions, l'analyse des séries temporelles est possible et donne plus de détails sur les épisodes.

La Figure 24, ci-après, présente un échantillon des séries temporelles pour la Guadeloupe, Martinique et Guyane. Les stations PM₁₀ présentent en général une bonne corrélation temporelle de l'ordre 0.7 pour la Martinique et la Guadeloupe couverte par une simulation à fine résolution. Pour la Guyane, couverte pour une simulation à plus basse résolution, la corrélation est de 0.5 avec une sous-estimation de l'ordre de 9 µg/m³. Pour ces trois domaines, la RMSE est de l'ordre de 20 µg/m³.

Les épisodes de poussières désertiques sont essentiellement localisés entre décembre et mai pour la Guyane et entre juin et octobre en Martinique et Guadeloupe. A l'exception d'un épisode de pollution fin novembre 2018, les épisodes sont bien détectés par le modèle Prev'Air DROM dans les trois domaines.

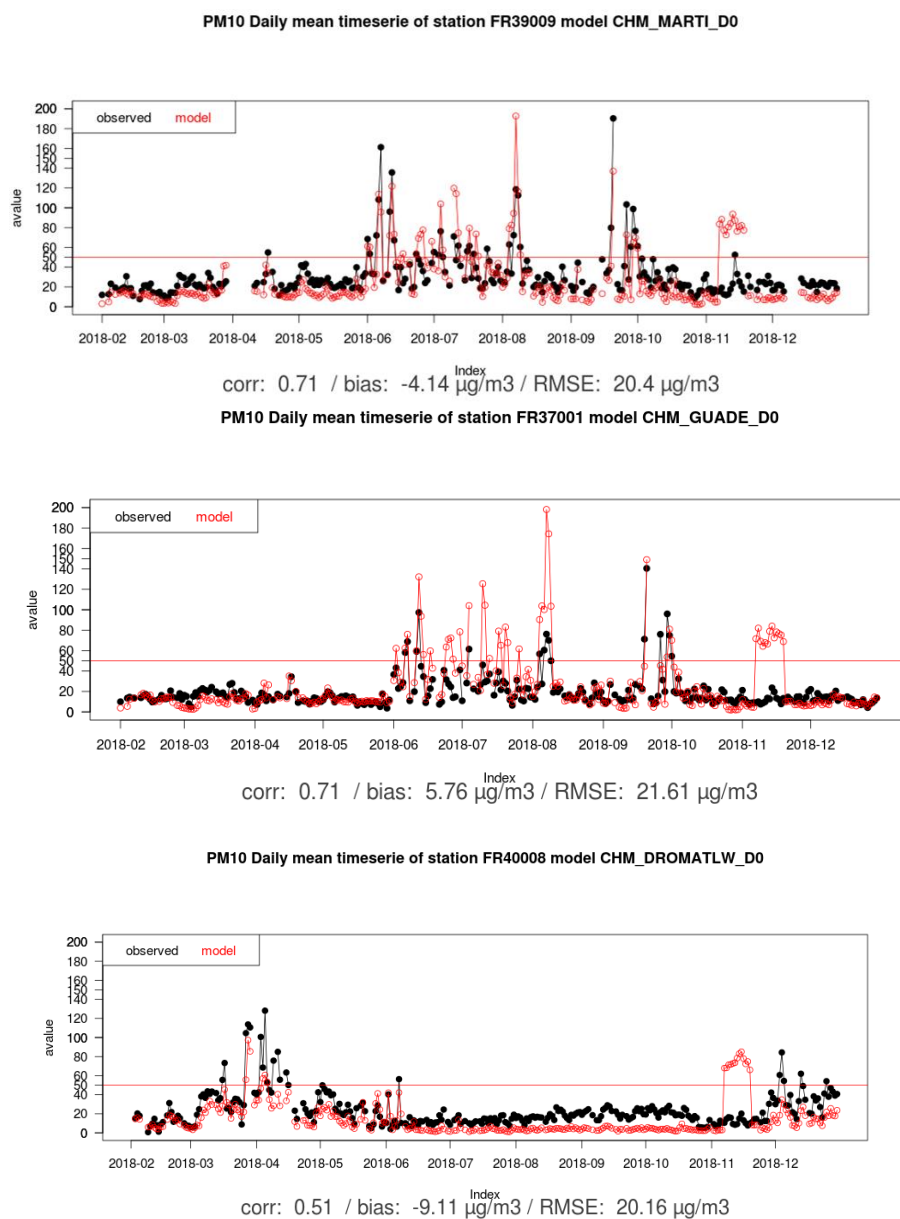


Figure 24 : Exemple de séries temporelles pour Guadeloupe, Martinique et Guyane de février 2018 à décembre 2018

5. UTILISATEURS DE PREV'AIR

Soixante-seize comptes Prev'Air sont alimentés chaque jour avec les données de prévision brutes et ceux de l'adaptation statistique. Les données des chaînes haute résolution sont également mises à disposition sur demande ainsi que les produits d'analyse associés.

Le nombre d'utilisateurs disposant d'un compte sur www.PrevAir.org est stable, sachant que beaucoup de nouvelles demandes sont orientés vers le site data.gouv.fr où les données de prévision et d'analyse sont disponibles pour une période récente.

6. ELABORATION DE CARTOGRAPHIES D'INDICATEURS

Dans le cadre du bilan qualité de l'air édité chaque année par le ministère en charge de l'environnement, les sorties de Prev'Air avec la base de données d'observations validées servent à produire des réanalyses qui sont utilisées pour établir des cartographies d'indicateurs annuels de qualité de l'air dont les résultats permettent d'évaluer l'exposition des populations et des écosystèmes.

A ce jour les indicateurs calculés concernent les dépassements de tous les seuils réglementaires (information et alerte) pour l'ozone ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et les PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), les valeurs cibles et objectifs qualité pour l'ozone ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8h, AOT40) et les valeurs limites et objectifs de qualité pour les PM_{10} .

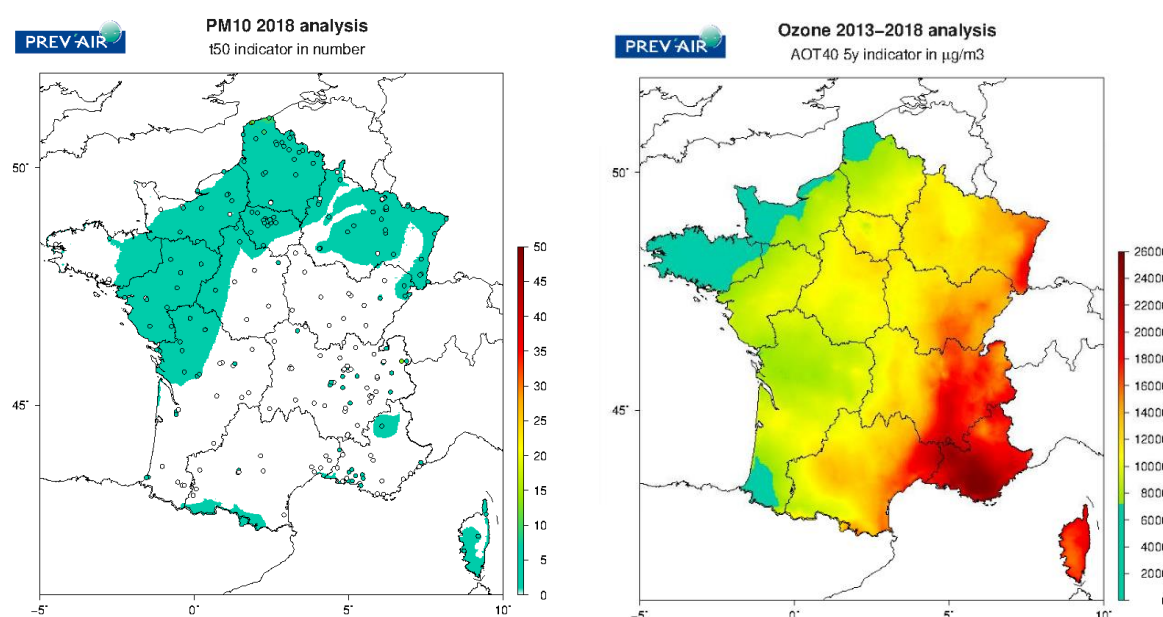


Figure 25 : Panel d'indicateurs produit avec les réanalyses* Prev'Air 2018 (nombre de jours de dépassement du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} à gauche et indicateur ozone AOT40 en moyenne sur 5 ans). * analyses produites avec les données d'observation validées.

7. CONCLUSIONS

Le premier constat de ce rapport concernant l'évaluation des performances des chaînes de prévision impliquées dans le système Prev'Air est que les scores diffèrent suivant les polluants et le modèle utilisé.

Pour l'ozone, le modèle brut CHIMERE présente en moyenne sur la période estivale une surestimation de la concentration maximale journalière de l'ordre de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2017 et une sous-estimation de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2018 des concentrations d'ozone. Ces performances reflètent l'impact du changement de paramétrisation de schéma d'advection verticale de CHIMERE le 19 juin 2018. Les performances en termes de détection des épisodes de pollution restent perfectibles notamment en 2018 du fait d'un biais négatif pour l'ozone. L'adaptation statistique améliore les biais des prévisions brutes permettant d'obtenir de meilleures performances sur la détection des seuils réglementaires même si une hausse des détections serait souhaitable et paraît réalisable via la mise à jour de ce traitement. Le modèle MOCAGE présente une surestimation chronique des concentrations d'ozone maximales journalières avec un nombre élevé de fausse alerte.

Pour les particules PM_{10} , le modèle CHIMERE présente une corrélation avec les données de mesure entre 0,4 et 0,5, légèrement en retrait par rapport aux valeurs des années passées et une sous-estimation de la moyenne journalière de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (stable par rapport aux années passées). L'adaptation améliore ces scores avec notamment une corrélation autour de 0,8. Les prévisions brutes du modèle MOCAGE obtiennent des scores similaires à ceux de CHIMERE brut.

Le système Prev'Air DROM, entré en production début 2018 avec une configuration très proche de celle de la prévision de Prev'Air, présente les premiers éléments d'évaluation de cette nouvelle chaîne qui seront étoffés l'année prochaine. Les performances pour les PM_{10} sont très satisfaisantes et traduisent une bonne aptitude du modèle



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 64 04 - www.lcsqa.org