

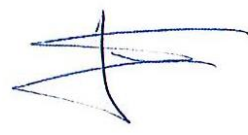


Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

SYNTHESE DES DEVELOPPEMENTS ET TRAVAUX D’ASSISTANCE DESTINES AUX UTILISATEURS DE PREV’AIR

Frédéric Meleux, Laure Malherbe, Anthony Ung, Maxime Beauchamp

Novembre 2016

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Frédéric Meleux	Augustin Colette	Laurence Rouil
Qualité	Ingénieur de l’Unité MOCA Direction DRC	Responsable de l’Unité MOCA Direction DRC	Responsable du Pôle DECI Direction DRC
Visa			



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

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de Mines 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 de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM). 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 MEEM 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	6
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....	6
1. INTRODUCTION	7
2. L'OZONE	7
2.1 Analyse de l'été 2015	7
2.2 Les concentrations d'ozone prévues par PREV'AIR	9
2.2.1 Prévisions nationales des dépassements du seuil d'information	10
2.2.2 Prévisions des dépassements du seuil d'information en région	11
2.3 Performances et scores des modèles	12
2.3.1 Les scores au niveau national.....	12
2.3.2 Les scores au niveau régional.....	14
2.4 Conclusions.....	17
3. LES PARTICULES	18
3.1 Analyse de l'année 2015	18
3.2 Les concentrations de PM10 prévues par PREV'AIR.....	20
3.3 Performances et scores des modèles	22
3.3.1 Les scores au niveau national.....	22
3.3.2 Les scores au niveau régional.....	25
3.4 Conclusions.....	27
4. UTILISATEURS DE PREV'AIR.....	29
5. ELABORATION DE CARTOGRAPHIES D'INDICATEURS	29
6. ADAPTATION STATISTIQUE & ANALYSES	30
7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	31

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 utilisateurs. 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 (associations de surveillance de la qualité de l'air).

Une attention particulière est portée à l'évaluation des performances de PREV'AIR concernant la détection de ces épisodes de pollution.

Après un été 2014 où les épisodes de pollution à l'ozone furent rares, l'été 2015 a connu de concentrations élevées plus fréquentes pour ce polluant secondaire formé à partir des oxydes d'azote et des composés organiques volatiles. Parmi la trentaine de journées relevées avec des concentrations supérieures au seuil d'information et recommandations, il y a eu 2 épisodes majeurs, le premier entre le 30 juin et le 7 juillet et le second entre les 7 et 9 août. Les régions de l'Est, du Sud-est, du Sud ainsi que le Bassin parisien ont été les plus affectées.

Comme lors des années précédentes, le mois de mars a été le théâtre d'un épisode important de particules, apparu en deux temps avec une emprise géographique couvrant une très large partie de la métropole.

Dans l'ensemble, le comportement de PREV'AIR est très satisfaisant et les prévisions ont permis la plupart du temps d'anticiper l'occurrence de ces épisodes de pollution et d'identifier les zones touchées. Les scores indiquent une stabilité par rapport aux années précédentes de façon assez généralisée, avec toutefois une dégradation sur l'Auvergne-Rhône-Alpes due à une sous-estimation des concentrations d'ozone et de PM₁₀.

Les nouvelles versions qui reposent sur le couplage CHIMERE-IFS semblent encore perfectibles, ce qui motive de nombreux travaux en cours menés par l'INERIS dans le cadre de ses programmes d'appui et de recherche, pour permettre leur bascule sur PREV'AIR en 2017. Ces travaux menés en 2015 et 2016 permettront d'associer à ces nouvelles filières des outils de post-traitements (analyse et adaptation statistique) adaptés et performants.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

PREV'AIR 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 également ECMWF et les services COPERNICUS pour la fourniture de données alimentant le système.

1. INTRODUCTION

Une évaluation des performances de PREV'AIR est réalisée à partir d'indicateurs statistiques. Cet exercice a pour objectif de répondre à notre souci de transparence sur l'aptitude des modèles à estimer et prévoir la qualité de l'air. L'ensemble des indicateurs est découpé selon trois catégories distinctes correspondant aux typologies de station : urbaine, périurbaine et rurale de fond. Des variables statistiques classiques sont calculées : biais, RMSE¹, corrélation, ainsi que des tables de contingence illustrant le comportement des modèles face aux seuils réglementaires lors des pics de pollution.

Il est ainsi possible d'estimer le comportement global du système PREV'AIR sur une période de temps définie et cela pour les différentes configurations des modèles utilisées (domaine Europe ou France, modèle CHIMERE ou MOCAGE, avec et sans post-traitement comme l'adaptation statistique, ...).

Ce rapport traite de l'ozone pour l'été 2015 et des particules pour l'ensemble de l'année 2015 en France métropolitaine.

2. L'OZONE

2.1 Analyse de l'été 2015

Après un été 2014 peu enclin aux épisodes de pollution à l'ozone, l'été 2015 a été marqué par des concentrations élevées de ce polluant secondaire formé à partir des oxydes d'azote et des composés organiques volatils.

Sous l'influence de conditions d'ensoleillement important et de vents faibles, la France a connu plusieurs périodes avec des concentrations d'ozone élevées. Ces conditions météorologiques propices à la formation de l'ozone sont apparues dès le début du mois de juin. Parmi la trentaine de journées relevées avec des concentrations supérieures au seuil d'information et recommandations, il y a eu un épisode majeur, entre le 30 juin et le 7 juillet. Au cours de cet épisode de canicule, les températures ont été anormalement élevées, avec des maximales de 5 à 9 degrés Celsius au-dessus des normales de saison, et ont favorisé la formation de concentrations élevées d'ozone. Celles-ci ont principalement affecté la Normandie, l'Île-de-France, le Grand-Est et la Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Des dépassements plus sporadiques ont également eu lieu sur quelques autres régions. Le changement de conditions météorologiques le 8 juillet avec un flux de nord nord-ouest sur la France met fin à l'épisode.

Un épisode secondaire est également survenu au mois d'août autour du 8.

¹ Root Mean Square Error ou erreur quadratique moyenne

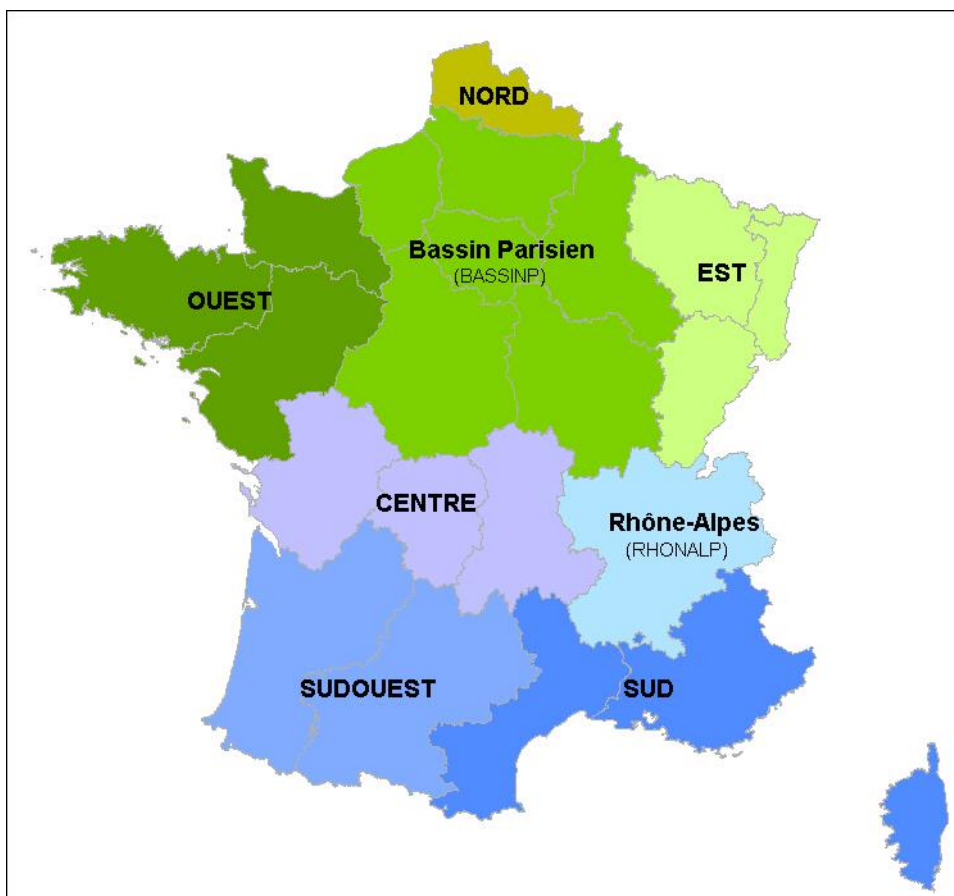


Figure 1 : Groupements de régions utilisés pour l'évaluation géographique des modèles utilisés dans PREV'AIR.

Au total 283 dépassements du seuil d'information ont été comptabilisés aux stations de surveillance en 2015 sur 30 journées, 3 fois plus qu'en 2014. Parmi les macro-régions les plus touchées, le bassin parisien, le Sud et Rhône-Alpes (Figure 2).

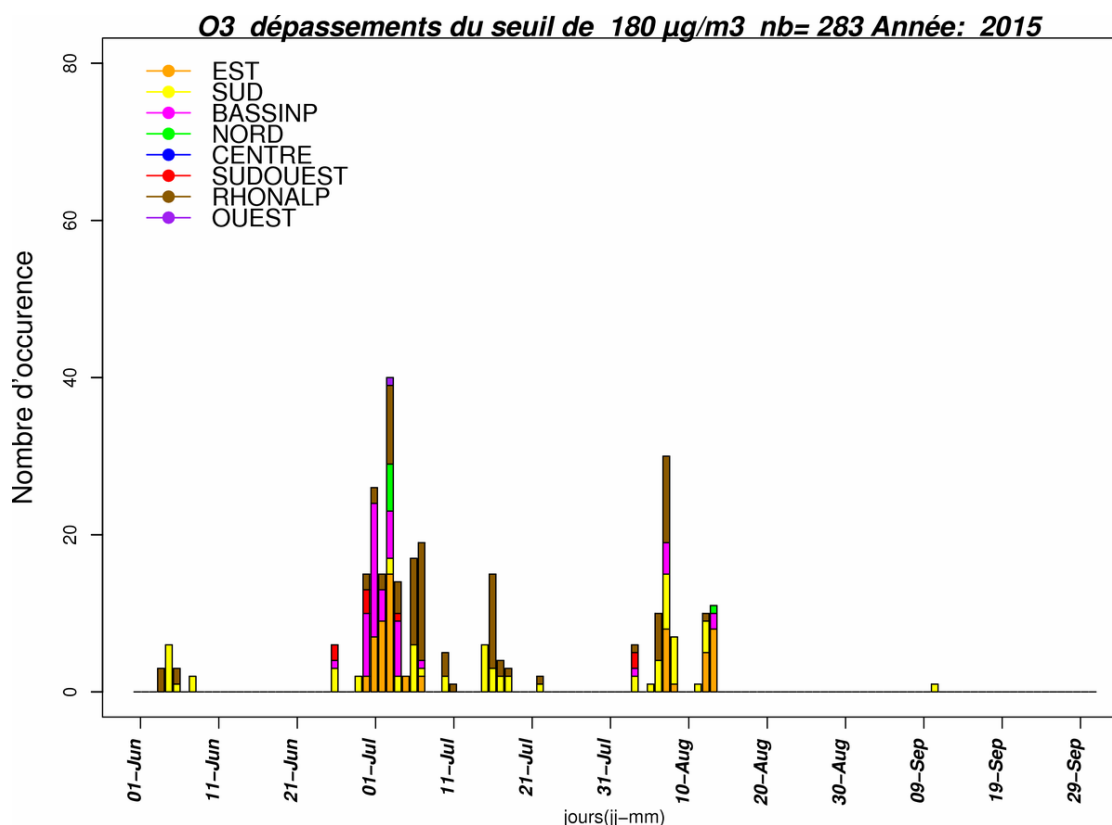


Figure2 : Nombre de dépassements journaliers du seuil de 180 µg/m³ sur 8 zones lors de l'été 2015. Valeurs des stations de fond issues de la base de données nationale de qualité de l'air.

2.2 Les concentrations d'ozone prévues par PREV'AIR

L'objectif de cette partie est de fournir une évaluation des performances de PREV'AIR sur l'été 2015, du 1^{er} juin au 30 septembre, via des indicateurs statistiques.

PREV'AIR bénéficie en 2015 des résultats de 8 filières de prévision mises en œuvre simultanément tous les jours sur le système :

- CHIMERE Europe (résolution 0.5°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AWM)
- CHIMERE Europe (résolution 0.5°) alimenté par le modèle météorologique français ARPEGE (AWMA)
- CHIMERE France (résolution 0.1°x0.15°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AFM)
- CHIMERE France (résolution 0.1°x0.15°) avec adaptation statistique (ASAFM)
- CHIMERE France (résolution 0.1°) alimenté par le modèle météorologique français ARPEGE (AFMA)
- MOCAGE Globe (résolution 2°) (MOCAG)
- MOCAGE Europe (résolution 0.5°) (MOCAE)
- MOCAGE France (résolution 0.1°) (MOCAF)

L'évaluation présentée ici est restreinte aux filières de prévision spécifiques à la France (AFM, ASAFM, MOCAF), auxquelles s'ajoutent FRA4k et MACC10k.

Dans cet exercice d'évaluation a été rajoutée la filière CHIMERE haute-résolution combinant la prévision établie sur l'Europe pour le projet MACCIII/CAMS (0.15°x0.1°, MACC10k) et sa prévision imbriquée pour la France à environ 4 km (FRA4k) de résolution spatiale. Cette filière se base sur un forçage météorologique IFS (ECMWF), des conditions aux limites issues des prévisions globales de MACCIII en mode prévision et des émissions fournies par le TNO.

Ce panel d'outils qui ont des comportements sensiblement différents permet aux prévisionnistes du consortium PREV'AIR d'affiner leurs diagnostics notamment en situation d'épisode de pollution.

Les performances de chacun des modèles sont surveillées en temps réel en consultant les valeurs des mesures *in situ* disponibles sur les sites web des AASQA ainsi qu'à l'aide des données recueillies en temps réel par le LCSQA pour alimenter la base nationale. Elles sont également réévaluées au début de l'année suivante avec les données d'observation validées. Des scores aux stations de mesure pour les pics et les moyennes journalières sont calculés sur la base des données horaires. Ces indicateurs sont ceux classiquement utilisés pour l'évaluation opérationnelle des modèles numériques :

- Biais (différence entre l'observation et la simulation)
- Erreur quadratique moyenne (racine carrée de la différence moyenne des carrés de l'observation et de la simulation)
- Corrélation
- Table de contingence

De plus, chaque jour, les séries temporelles comparant les concentrations calculées par chacun des modèles du système aux observations sont établies. Pour cet exercice, une interpolation bilinéaire des sorties de prévision est réalisée d'après la localisation en longitude et latitude des stations.

Outre l'analyse par station, la performance des modèles est également étudiée à l'échelle nationale et régionale en calculant des statistiques et des scores globaux et moyens par domaine géographique. A l'intérieur de la France, huit grandes zones, appelées macro-régions, ont été ainsi définies (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

2.2.1 Prévisions nationales des dépassements du seuil d'information

Les modèles ont réussi à détecter et anticiper efficacement l'occurrence d'épisodes de pollution à l'ozone durant l'été 2015. La filière AFM et son adaptation statistique (ASAFM) ont tendance à surestimer la zone géographique impactée par les dépassements du seuil d'information et recommandations et leur nombre. A l'inverse, les nouvelles filières (FRA4k & MACC10k) sous-estiment nettement l'ampleur des dépassements.

O3 dépassements du seuil de 180 µg/m3 D+0 Année: 2015

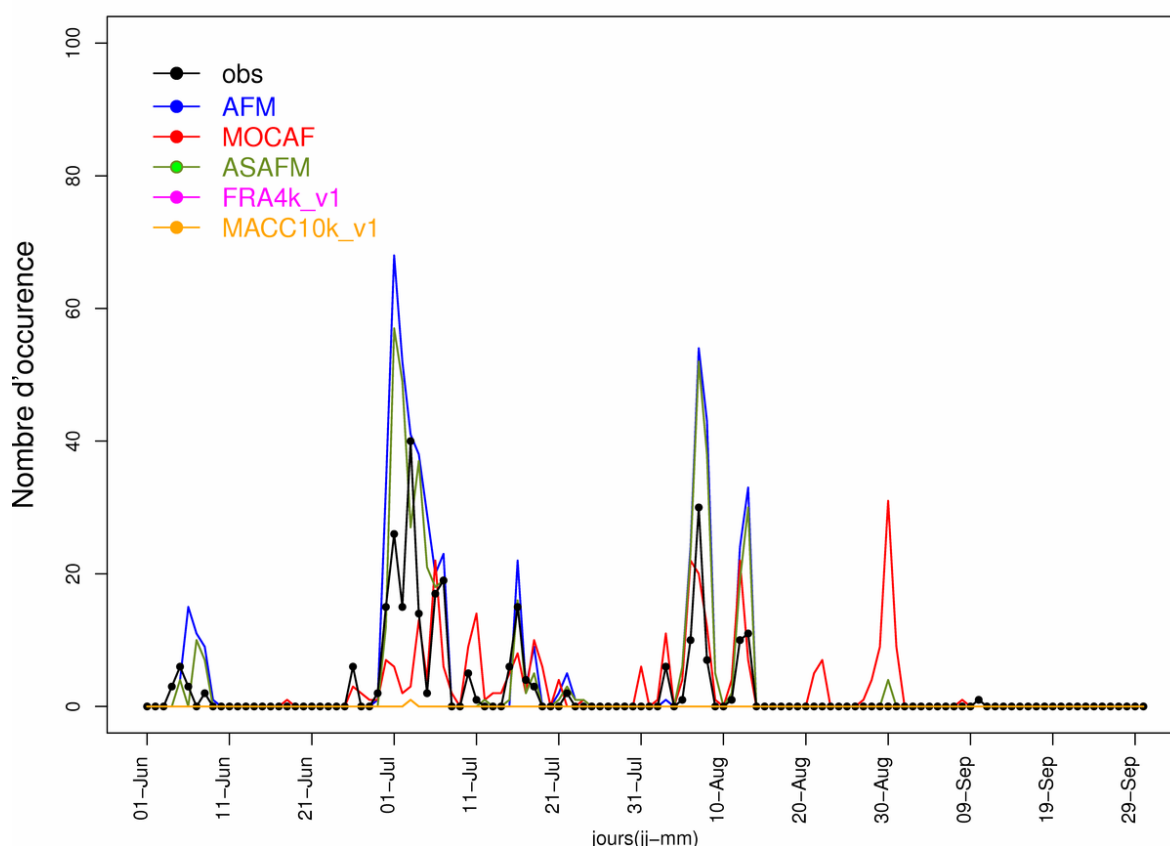


Figure 2 : Détection des événements (nombre de stations ayant dépassé le seuil d'information dans une journée) de pollution à l'ozone prévus par les modèles pour le jour-même (D+0, en couleur) et les observations validées de la base de données nationale (en noir). Sur cette figure les résultats pour MACC et FRA4k font que les courbes sont superposées.

2.2.2 Prévisions des dépassements du seuil d'information en région

Une confrontation de la prévision du modèle AFM avec adaptation statistique à J+0 avec les observations montre la capacité de ASAFM à prévoir l'arrivée de fortes concentrations d'ozone et à reproduire les disparités régionales de l'occurrence et de l'intensité des dépassements du seuil d'information. En effet d'après la Figure 4 et en comparant celle-ci avec la Figure 2, on note que la prévision a détecté à juste titre des dépassements du seuil d'information sur les bonnes régions, avec une surestimation de l'étendue spatiale des panaches à l'exception de Rhône-Alpes (ce qui induit sur une même journée des fausses alertes malgré des bonnes détections).

O3 dépassements du seuil de 180 µg/m3 nb= 471 Année: 2015 Modele: ASAFM

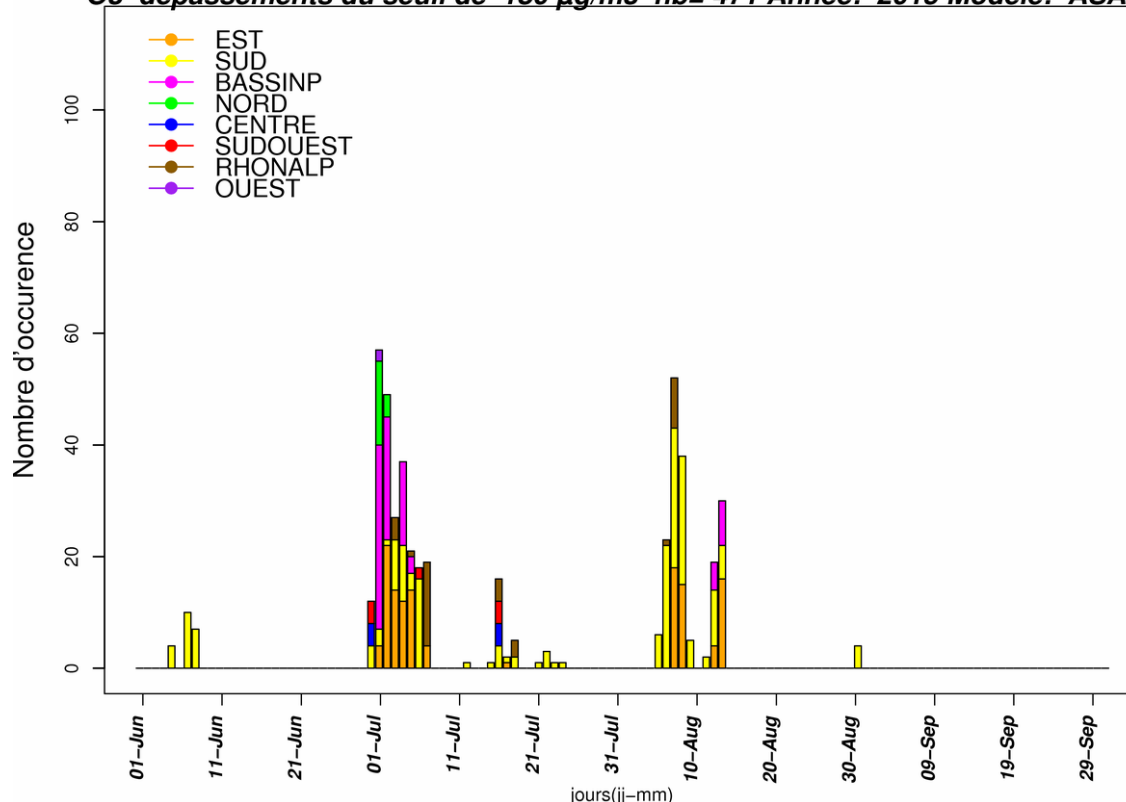


Figure 3 : Nombre de dépassements horaires du seuil de 180 µg/m3 sur 8 zones lors de l'été 2015. Prévisions de J+0 fournies par ASAFM.

2.3 Performances et scores des modèles

2.3.1 Les scores au niveau national

Les scores sont calculés sur les stations de fond en distinguant trois catégories d'implantation : rurale, périurbaine et urbaine. Une attention plus particulière est ici apportée aux performances des prévisions sur les stations rurales, qui sont représentatives des phénomènes de formation et de transport d'ozone à l'échelle régionale et sur lesquelles les niveaux des concentrations d'ozone sont généralement les plus élevés.

Le biais représente globalement l'erreur moyenne des modèles. D'un point de vue général, le biais augmente lorsque l'échéance de prévision augmente et il croît également des sites ruraux vers les sites urbains en passant par les stations périurbaines.

CHIMERE AFM a un biais légèrement positif alors qu'il peut être négatif pour ASAFM sur toutes les stations à partir du D+1 (Figure 4).

MOCAGE affiche une nette amélioration de son biais par rapport à l'année 2014, avec des valeurs proches de 0 du fait de l'élimination d'une dérive des concentrations de fond.

Les prévisions MACC10k et FRA4k sous-estiment de 7-8 µg/m3 les concentrations d'ozone sur l'ensemble des journées de prévision.

ASAFM possède des scores très proches de 0 et assez stables et offre les meilleures performances pour cet indicateur.

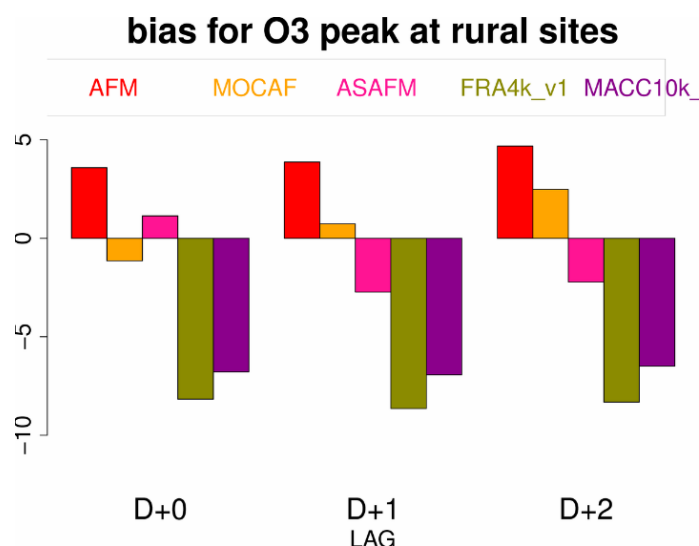


Figure 4 : Biais en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des pics journaliers d'ozone des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites ruraux.

La RMSE fournit une information sur l'écart quadratique moyen entre la prévision et l'observation (Figure 5) quel que soit le signe de celui-ci (i.e. surestimation ou sous-estimation du modèle). Plus le modèle sera éloigné de l'observation, plus l'erreur aura un impact conséquent sur le résultat de la RMSE. La hiérarchie des modèles établie par la RMSE est assez stable quel que soit le type de station. Les différences sont plus marquées en analysant l'évolution selon le jour de prévision notamment pour ASAFM qui montre une dégradation plus prononcée que les autres prévisions. Cela est dû vraisemblablement au fait que le modèle statistique en œuvre pour le J+0 est dupliqué pour le J+1 et J+2 sans ajustement supplémentaire.

ASAFM affiche donc la meilleure RMSE pour le J+0. Ensuite pour les autres jours de prévision, la prévision brute AFM puis MOCAGE affichent les meilleurs scores.

Les prévisions FRA4k et MACC10k ont des RMSE d'environ $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ supérieures.

Par rapport à 2014, les RMSE obtenues en 2015 sont très proches.

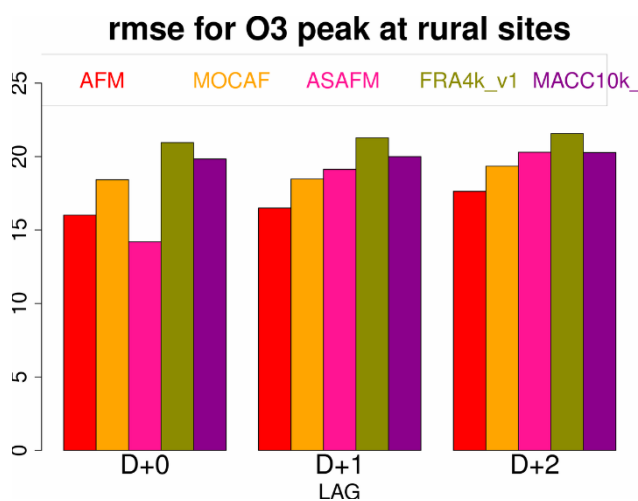


Figure 5 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des pics journaliers d'ozone des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites ruraux.

La corrélation caractérise la capacité du modèle à reproduire l'évolution des observations dans l'espace ou le temps ou les deux. Dans la suite les corrélations décrites font référence à la corrélation temporelle. Une valeur proche de 1 montre que le modèle reproduit bien les variations observées jour après jour ; *a contrario*, une valeur proche de 0 signifie une absence d'aptitude à reproduire l'évolution des pics d'ozone journaliers. ASAFM présente les meilleurs résultats pour cet indicateur sur le jour courant avec des valeurs proches de 0,85. En revanche, ses performances ont tendance à diminuer pour les jours suivants J+1 et J+2. Les autres prévisions affichent des corrélations plus stables et supérieures à celle d'ASAFM dès le J+1. Pour AFM la corrélation est proche de 0,8 ; pour MOCAGE et MACC10k/FRA4k elle est d'environ 0,7.

Par rapport à 2014, les scores sont un peu meilleurs, ce qui peut s'expliquer par les niveaux d'ozone plus élevés et l'occurrence de pics de concentration en plus grand nombre au cours de cette année 2015, favorisant ainsi une amélioration de la corrélation.

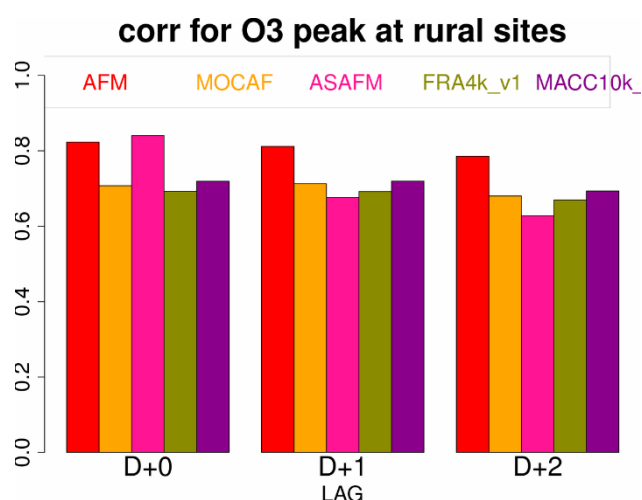


Figure 6 : Corrélation des pics journaliers d'ozone des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites ruraux.

2.3.2 Les scores au niveau régional

La Figure 8 illustre la variabilité observée entre les macro-régions, pour les sites ruraux, des moyennes sur la période du 1^{er} juin au 30 septembre 2015 des maximums journaliers d'ozone. La Figure 9 représente cette même variabilité simulée par les différents modèles.

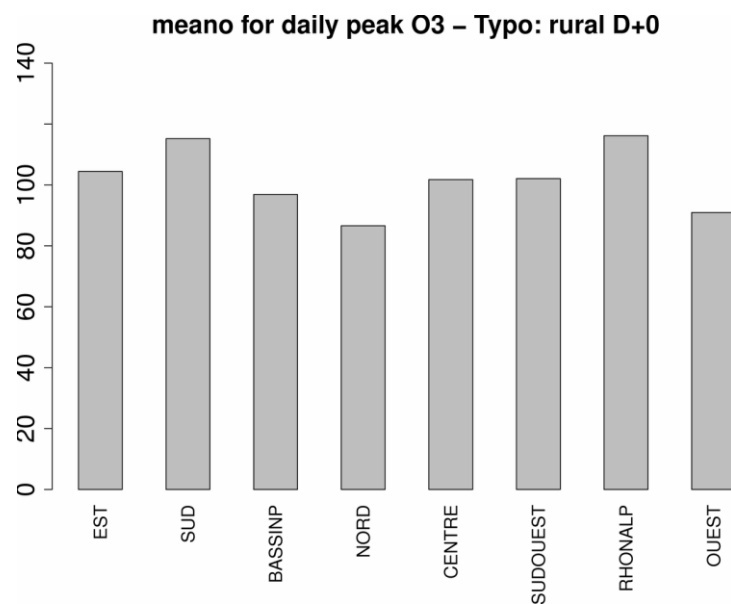


Figure 7 : Moyenne estivale (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des pics journaliers d'ozone observés sur les stations rurales, en moyenne par macro-région.

Les régions Sud et Rhône-Alpes sont les plus fortement touchées par des concentrations élevées. Sur l'été, la moyenne des pics journaliers y avoisine les $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les stations rurales.

La hiérarchie est identique quelle que soit la typologie de station considérée. Après les régions Sud et Rhône-Alpes, les régions avec les valeurs les plus fortes sont Est et Sud-Ouest. Les concentrations les plus faibles des pics journaliers se trouvent dans les régions Ouest et Nord avec $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de moins environ qu'en région Sud.

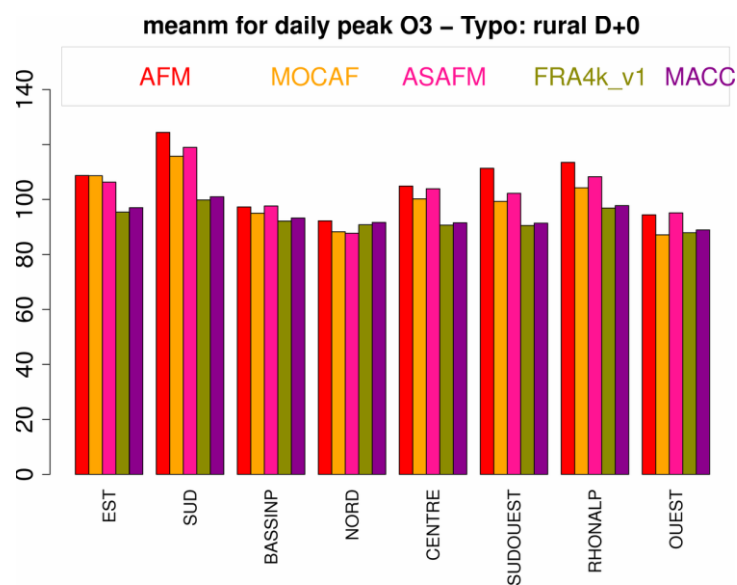


Figure 8 : Moyenne estivale (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des pics journaliers d'ozone modélisés par les 5 filières de prévision sur les stations rurales, en moyenne par macro-région.

Si les prévisions placent bien le Sud comme la région la plus polluée, la sous-estimation déjà mentionnée pour Rhône-Alpes (cf. §2.2.2) fait que cette région se situe à un niveau de pollution inférieur dans les modèles.

La Figure 9 montre une variabilité interrégionale assez correcte cependant avec des différences d'une région à l'autre parfois moins importantes que celles constatées via les observations.

En ce qui concerne la RMSE, ASAFM a la plus faible (Figure 10) à l'exception de Rhône-Alpes où le modèle brut a une RMSE très légèrement inférieure. Ce résultat traduit l'efficacité de l'adaptation statistique dans presque toutes les régions. La RMSE la plus importante se trouve dans les régions du Sud (le Sud-Ouest et le Sud) et la moins élevée sur le Centre et l'Ouest.

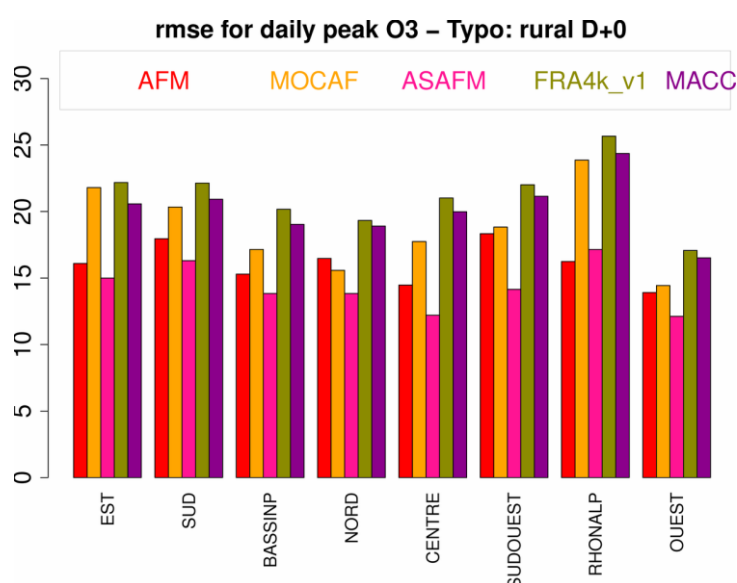


Figure 9 : RMSE pour chaque macro-région (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des pics journaliers d'ozone modélisés par les 5 filières de prévision sur les stations rurales.

A noter que les évaluations de FRA4k et MACC10k se distinguent par des RMSE de 3 à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supérieures à celle obtenues par AFM.

La Figure 11 illustre l'apport de l'adaptation statistique qui améliore la prévision du J+0 assez significativement sur certaines régions comme l'Aquitaine, la Vendée, le Bassin parisien, l'Est. Les changements sont plus nuancés sur Rhône-Alpes et Sud.

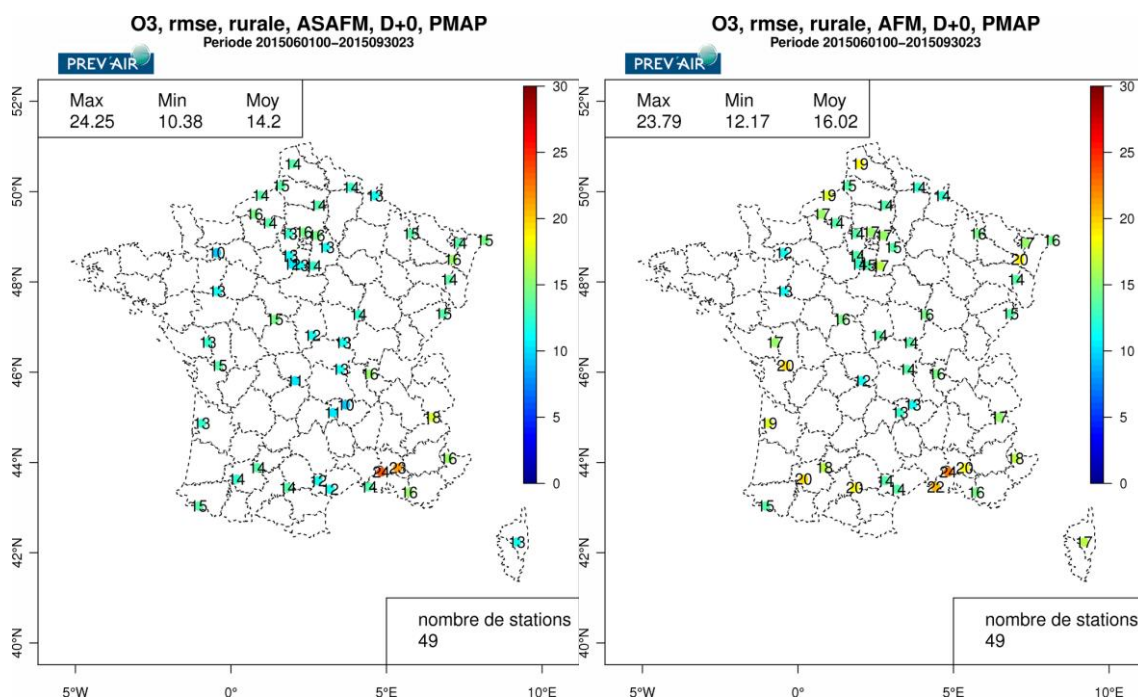


Figure 10 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des pics journaliers d’ozone simulés par AFM à gauche et ASAFM à droite sur les stations rurales.

2.4 Conclusions

CHIMERE AFM et ASAFM, versions de référence de la plateforme PREV’AIR, ont montré des scores très satisfaisants et assez stables par rapport aux années précédentes. La principale voie d’amélioration à envisager serait probablement de pallier le manque de modèle statistique pour ASAFM pour les journées J+1 et J+2. La duplication pour ces journées des modèles statistiques du J+0 conduit à une dégradation significative des scores qui peuvent être inférieurs à ceux du modèle brut servant de support à ce traitement. Ce résultat nous conduit à proposer un apprentissage pour les J+1 et J+2 afin de disposer de modèles statistiques propres à chacun des jours de prévision.

Cette évaluation montre que les scores des filières FRA4k et MACC10k sont cohérents, ce qui est normal du fait de l’imbrication de FRA4k dans MACC10k et de l’utilisation des mêmes données d’entrée. Cela étant, la qualité de leurs productions est très perfectible. Des travaux sont menés dans ce sens pour obtenir des scores similaires à ceux d’AFM. Cette étape est rendue nécessaire par le passage de cette filière en référence dans les prochaines versions de PREV’AIR. L’objectif est de garantir un même niveau de fiabilité sur la détection des dépassements de seuils réglementaires, qui comme le montre la figure 12, est à environ 50 % pour AFM et un peu moins pour ASAFM. Bien qu’un peu moins performante pour la prévision des dépassements, la filière ASAFM limite le nombre de fausses alertes. Une grande confiance peut être accordée aux prévisions FRA4k et MACC10k en cas de dépassement prévu car ces filières ne produisent pas de fausses alertes. Par contre, leur aptitude pour ces détections est limitée et elles affichent un nombre important d’événements de pollution à l’ozone non identifiés.

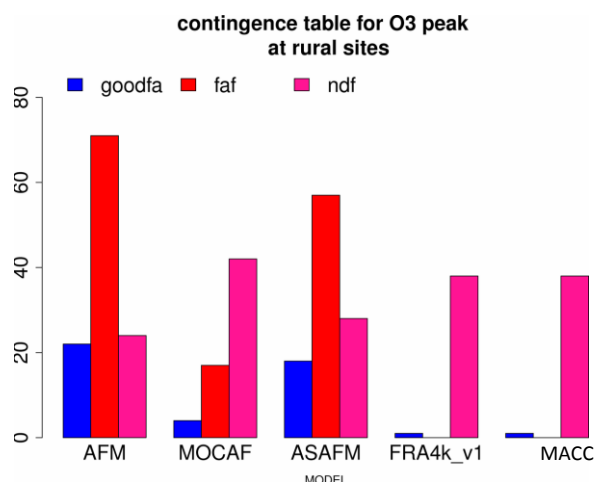


Figure 11 : Table de contingence (en nombre de dépassement) des prévisions du dépassement du seuil d'information et recommandation pour le lendemain sur les sites ruraux.

(goodfa : Bonne prévision, faf : fausse alerte, ndf : évènement non détecté)-. Les totaux peuvent différer entre les modèles du fait d'un taux de production de la prévision variable

3. LES PARTICULES

3.1 Analyse de l'année 2015

L'année 2015 a été marquée par un premier trimestre avec peu de dépassements du seuil d'information (Figure 12). Cela s'explique par les conditions météorologiques et températures assez douces de l'hiver. Quelques périodes ont cependant eu des niveaux en PM₁₀ plus importants, en début d'année, autour du 20 janvier et du 10 février, mais sans persistance et sans grande couverture géographique. En cela, les caractéristiques de l'année 2015 sont assez proches de celles de 2014. La comparaison ne s'arrête pas là puisqu'un épisode a eu lieu au mois de mars, présentant là encore des similitudes avec l'épisode de 2014 bien qu'un peu moins intense pour ce qui est du nombre de dépassements des seuils réglementaires observés. Il s'agit bien cependant d'un épisode qualifié d'exceptionnel dans sa durée (18 jours avec dépassements du seuil d'information et recommandation) et son extension géographique (toutes les macro-régions concernées). Il s'est déroulé en 2 phases, l'une de plus faible intensité principalement sous l'effet des émissions nationales et locales et l'autre avec une contribution transfrontalière significative qui a renforcé les niveaux de concentrations sur la France. Les conditions anticycloniques ont inhibé la dispersion de la pollution et canalisé l'apport sur la France de ces masses d'air continentales chargées en pollution par des vents de secteur est et nord-est. La conjugaison des deux phénomènes (sources locales et nationales et transport longue distance) a favorisé la formation de particules secondaires (en particulier de nitrate d'ammonium). La conjoncture saisonnière durant cette période est particulière, avec le cumul de nombreuses sources d'émission. En effet, aux émissions habituelles (trafic, industrie) s'ajoutent des émissions plus spécifiques telles que celles issues du chauffage au bois et celles provenant des pratiques agricoles comme l'épandage d'engrais.

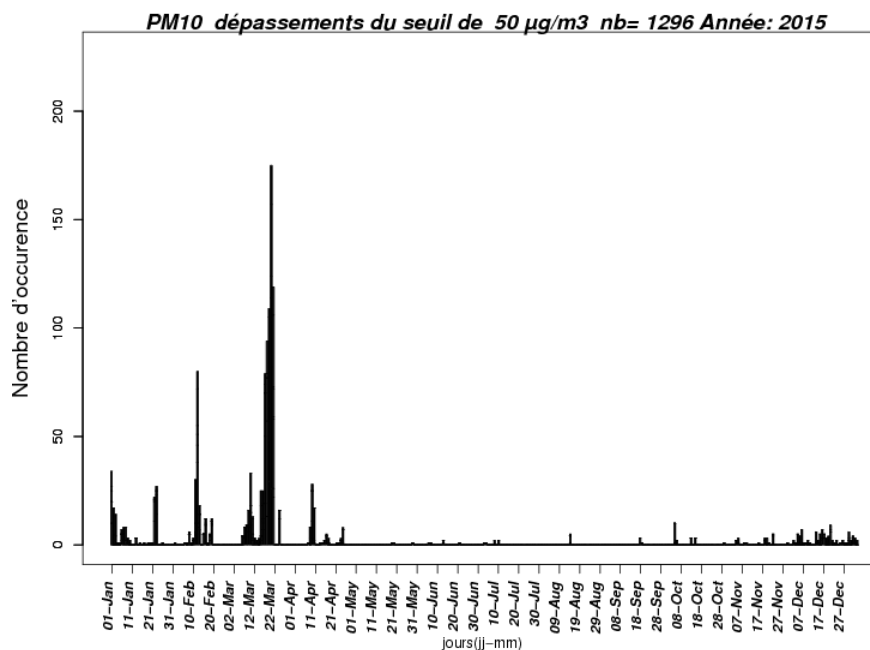


Figure 12 : Nombre de dépassements du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière pour les PM₁₀ sur toute l'année 2015

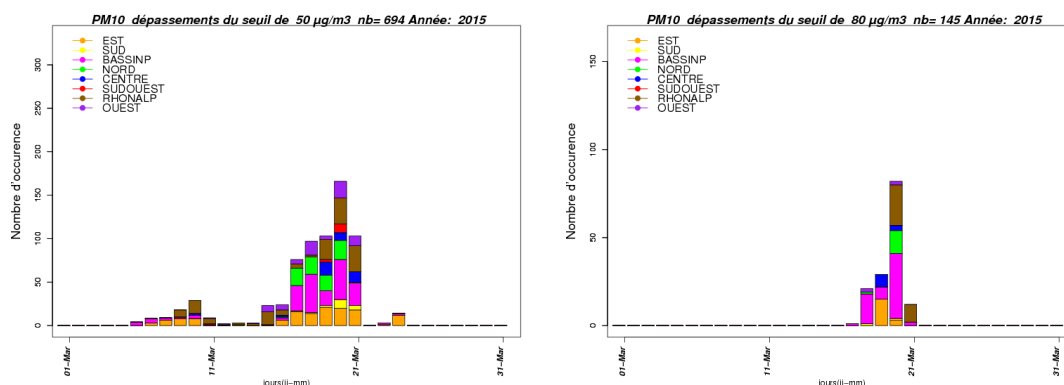


Figure 13 : Identification des macro-régions touchées par des dépassements observés du seuil d'information en PM₁₀ (à gauche) et du seuil d'alerte (à droite) lors de l'épisode du mois de mars 2015

En 2015, 1296 dépassements de la valeur réglementaire de 50 µg/m³ en moyenne journalière ont été répertoriés sur les stations de fond. Plus de la moitié de ces dépassements de l'année sont survenus lors de cet épisode qui a comptabilisé 145 dépassements du seuil d'alerte.

3.2 Les concentrations de PM10 prévues par PREV'AIR

PREV'AIR a bénéficié des résultats de 8 filières de prévision mises en œuvre simultanément tous les jours sur le système :

- CHIMERE Europe (résolution 0.5°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AWM)
 - CHIMERE Europe (résolution 0.5°) alimenté par le modèle météorologique français ARPEGE (AWMA)
 - CHIMERE France (résolution 0.15°x0.1°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AFM)
 - CHIMERE France (résolution 0.15°x0.1°) alimenté par le modèle météorologique français ARPEGE (AFMA)
 - CHIMERE France avec adaptation statistique (résolution 0.075 x 0.05°) issu de AFM (ASAFM)
 - MOCAGE GLOBE (résolution 2°) alimenté par le modèle météorologique Arpege
 - MOCAGE EUROPE (résolution 0.5°) alimenté par le modèle météorologique Arpege
 - MOCAGE France (résolution 0.1°) alimenté par le modèle météorologique Arpege
- A noter que les versions aérosols de MOCAGE ont été intégrées dans PREV'AIR à titre expérimental car la représentation des aérosols dans MOCAGE est incomplète pour le moment.

Comme pour l'ozone, l'évaluation est réalisée uniquement sur les filières spécifiques à la France auxquelles s'ajoutent FRA4k et la filière Europe MACC10k alimentant les services Copernicus.

L'analyse des performances régionales est conduite sur les huit macro-régions précédemment définies (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

PM10 dépassements du seuil de 50 µg/m3 D+0 Année: 2015

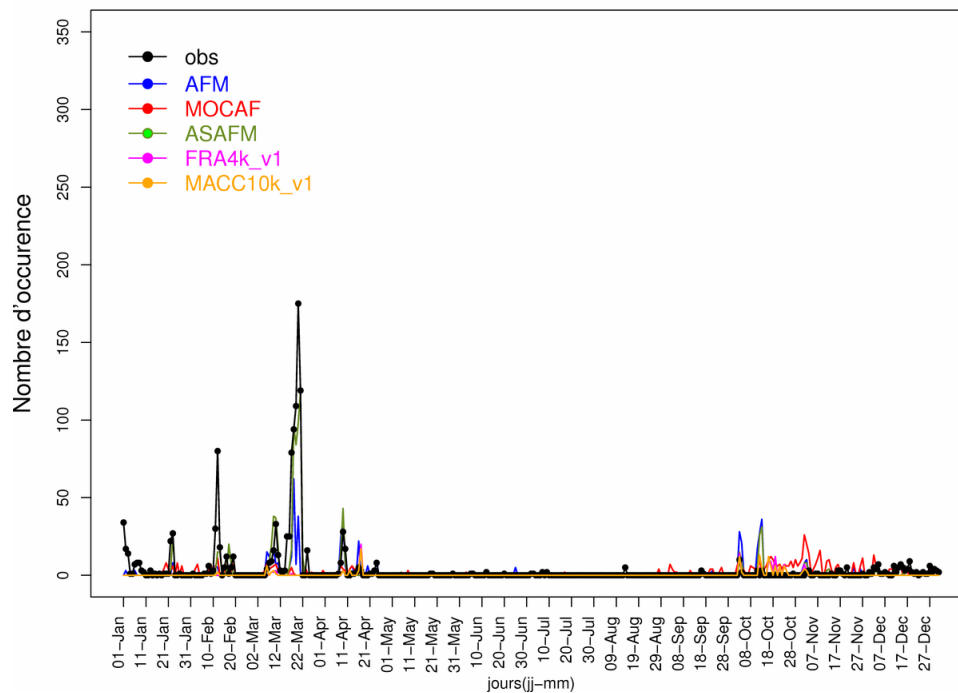


Figure 14 : Détection des événements (nombre de stations ayant dépassé le seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière) pour les PM₁₀ prévus par les modèles (en couleurs) et observés via les données d'observation (noir).

La Figure 14 montre que l'épisode de début d'année a été plutôt mal appréhendé par les modèles et celui de février a été sous-estimé. Mais de manière générale, les performances conjuguées des prévisions PREV'AIR permettent de détecter la plupart des dépassements du seuil de 50 µg/m³ (Figure 14). Les configurations brutes ont des aptitudes différentes et une tendance à sous-estimer l'amplitude des épisodes de PM₁₀. A noter que l'apport de l'adaptation statistique de AFM est très significatif sur les principaux épisodes du premier trimestre par rapport à la prévision brute AFM, aussi bien pour les épisodes dus aux émissions du chauffage lors des vagues de froid que lors de l'intense épisode de mars en lien notamment avec les émissions issues des pratiques agricoles. L'étendue nationale de cet épisode vu par ASAFM a été plutôt bien reproduite comme le montre la figure 16 où la prévision ASAFM a détecté jusqu'à 7 régions concernées par des dépassements du seuil réglementaire.

PM10 dépassements du seuil de 50 µg/m3 nb= 507 Année: 2015 Modele: ASAFM

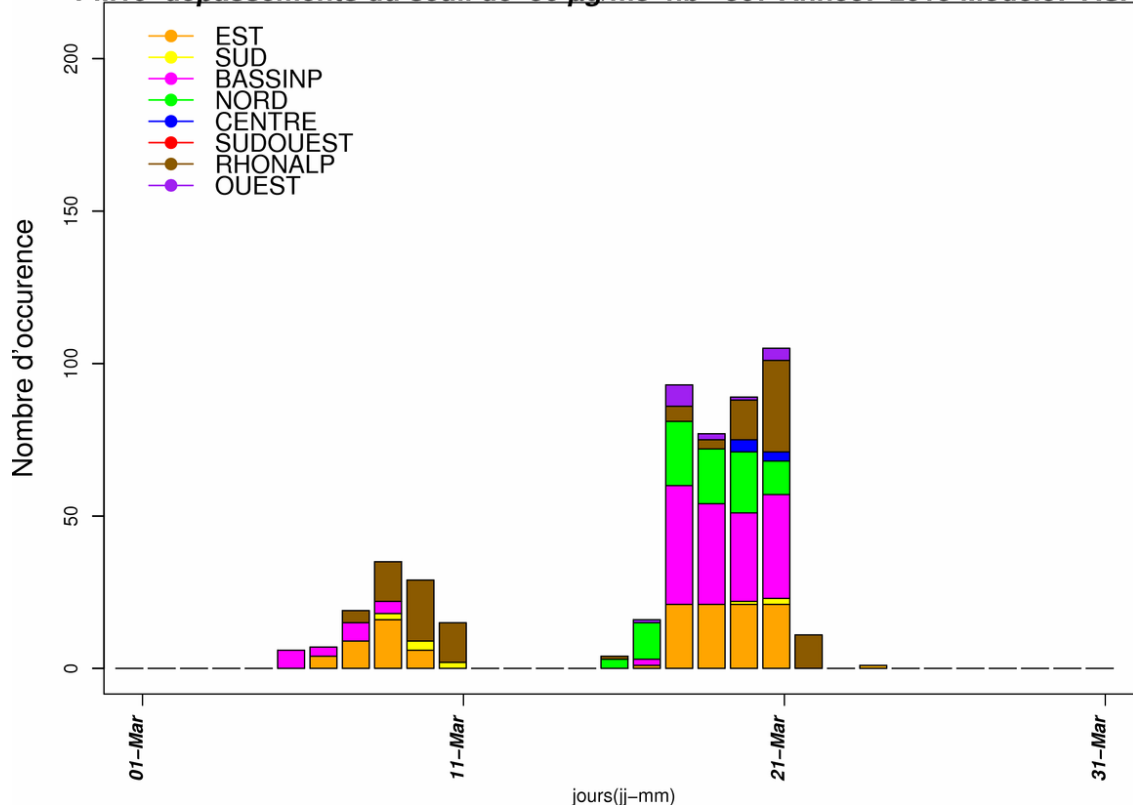


Figure 15 : Répartition géographique des dépassements du seuil réglementaire de 50 µg/m³ prévus par ASAFM selon les 7 macro-régions décrites **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

3.3 Performances et scores des modèles

3.3.1 Les scores au niveau national

Comme pour l’ozone les scores sont calculés sur les sites de fond en distinguant les stations d’implantation rurale, périurbaine et urbaine. Une attention plus particulière est ici apportée aux performances des prévisions sur les stations urbaines en raison des niveaux plus importants généralement rencontrés sur cette typologie de station.

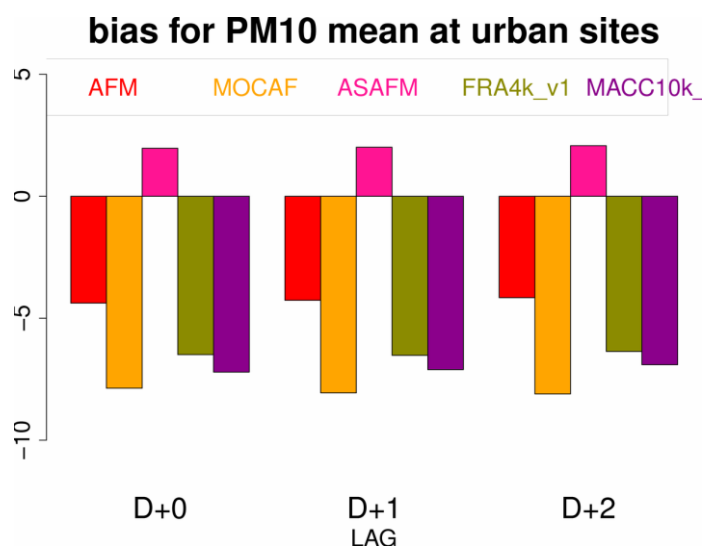


Figure 16 : Biais en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des moyennes journalières de PM_{10} des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites urbains

Le biais représente globalement l'erreur moyenne des modèles. Le biais affiché sur la Figure 16 apparaît stable par rapport aux années précédentes. Tous les modèles bruts ont un biais négatif compris entre 4 et 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, une sous-estimation que le traitement d'adaptation statistique comble en fournissant des prévisions avec un léger biais positif de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il faut également noter la stabilité des scores quel que soit le jour de prévision considéré pour toutes les filières. Les filières Europe et France alimentées par IFS ont des scores un peu en retrait par rapport à AFM.

Les calculs de RMSE fournissent des valeurs assez proches de celles de l'année dernière.

CHIMERE AFM possède une RMSE (Figure 17) de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les stations urbaines. Les filières IFS sont un peu supérieures de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tandis que MOCAGE est à 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de RMSE. Le traitement de l'adaptation statistique est efficace d'après ces scores, il abaisse la RMSE de AFM de 3 à 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les performances sont assez stables d'un jour de prévision à l'autre avec une légère dégradation des scores lorsque l'échéance de prévision augmente. Comme pour l'ozone, cette dégradation est plus marquée pour l'adaptation statistique car le modèle statistique est construit pour le J+0 et appliqué ensuite aux 3 jours de prévision J+0 à J+2.

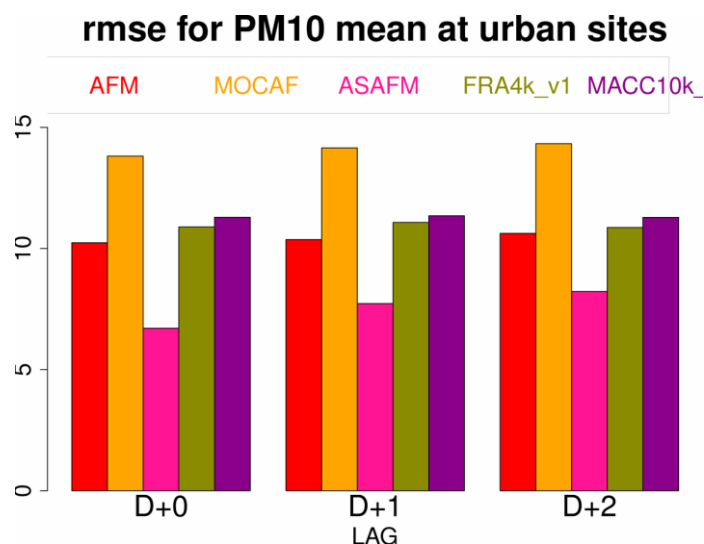


Figure 17 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des moyennes journalières de PM10 des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites urbains.

Les valeurs de corrélation temporelle pour AFM (Figure 18) se situent autour de 0,6 pour les stations urbaines. L'adaptation statistique a un effet nettement bénéfique sur la variabilité temporelle des prévisions avec une corrélation augmentée à 0,8 pour le J+0. La dégradation de la corrélation d'ASAFM pour les deux autres jours de prévision suivant est plus importante que pour la prévision brute AFM pour les mêmes raisons qu'évoquées dans le paragraphe sur la RMSE.

A noter que bien qu'en deçà de AFM, les corrélations des filières IFS ont progressé par rapport à l'année 2014 avec des valeurs autour de 0,5. MOCAGE se situe encore un peu en dessous en dépit des améliorations portées au modèle du fait de la représentation incomplète de l'aérosol.

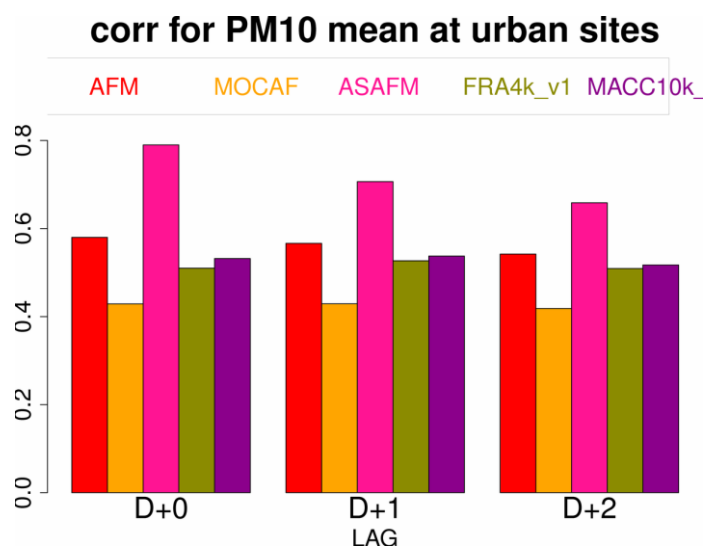


Figure 18 : Corrélation des moyennes journalières de PM₁₀ des modèles PREV'AIR pour les 3 jours de prévision sur les sites urbains.

3.3.2 Les scores au niveau régional

La Figure 19 illustre la variabilité observée entre les macro-régions, pour les sites urbains, des moyennes sur l'année des concentrations moyennes journalières en PM₁₀.

Les niveaux sont peu différents de ceux présentés sur la Figure 21, qui représente ces mêmes moyennes modélisées sur les 8 macro-régions PREV'AIR.

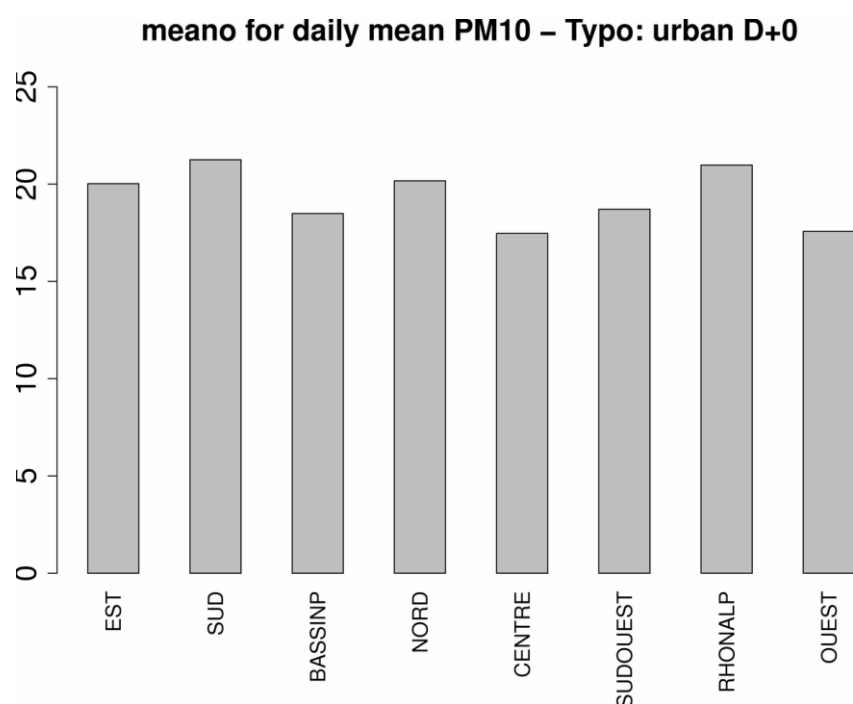


Figure 19 : Moyenne annuelle (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des concentrations moyennes journalières de PM₁₀ observées sur les stations urbaines, en moyenne par macro-région.

Les teneurs les plus élevées sont observées dans le Nord, le Sud, l'Est et en Rhône-Alpes avec des moyennes annuelles autour de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vient ensuite le Bassin parisien, avec des moyennes autour de 18-19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les niveaux sont très proches de ceux mesurés en 2014.

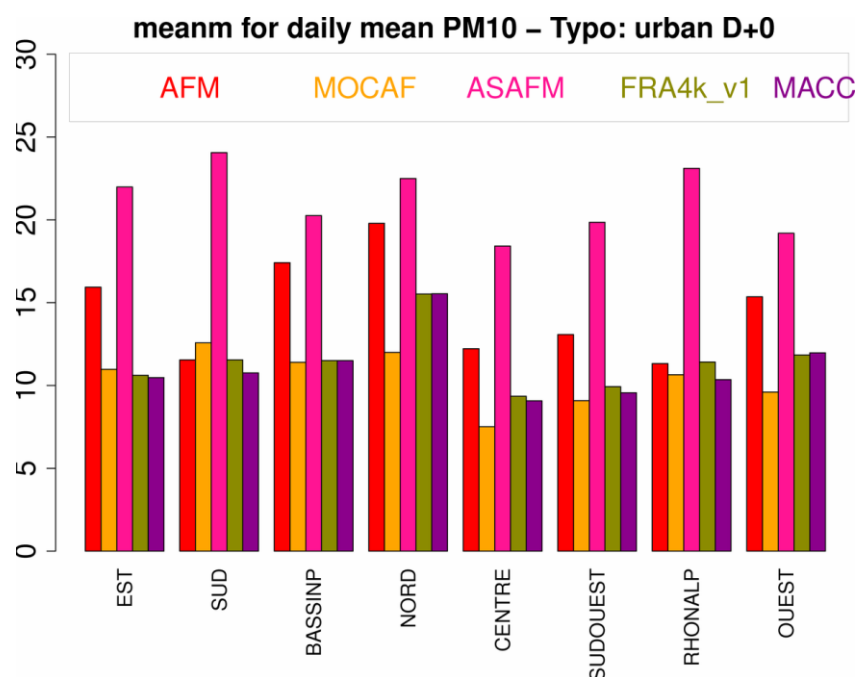


Figure 20 : Moyenne annuelle (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) des concentrations moyennes journalières de PM_{10} modélisées par les 5 filières de prévision sur les stations urbaines, en moyenne par macro-région.

L'adaptation statistique reproduit bien la variabilité inter-régionale (Figure 20) avec des niveaux un peu supérieurs à ceux de l'observation (Figure 19). Ce traitement correctif permet de bien rétablir les différences entre régions mal appréhendées par la prévision brute AFM. Les autres prévisions brutes présentent également des sous-estimations importantes dans chaque région et une faible variabilité inter-régionale.

S'agissant des scores, l'adaptation statistique homogénéise les performances sur les 8 macro-régions avec une RMSE autour de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 21), ce qui est stable par rapport à 2014.

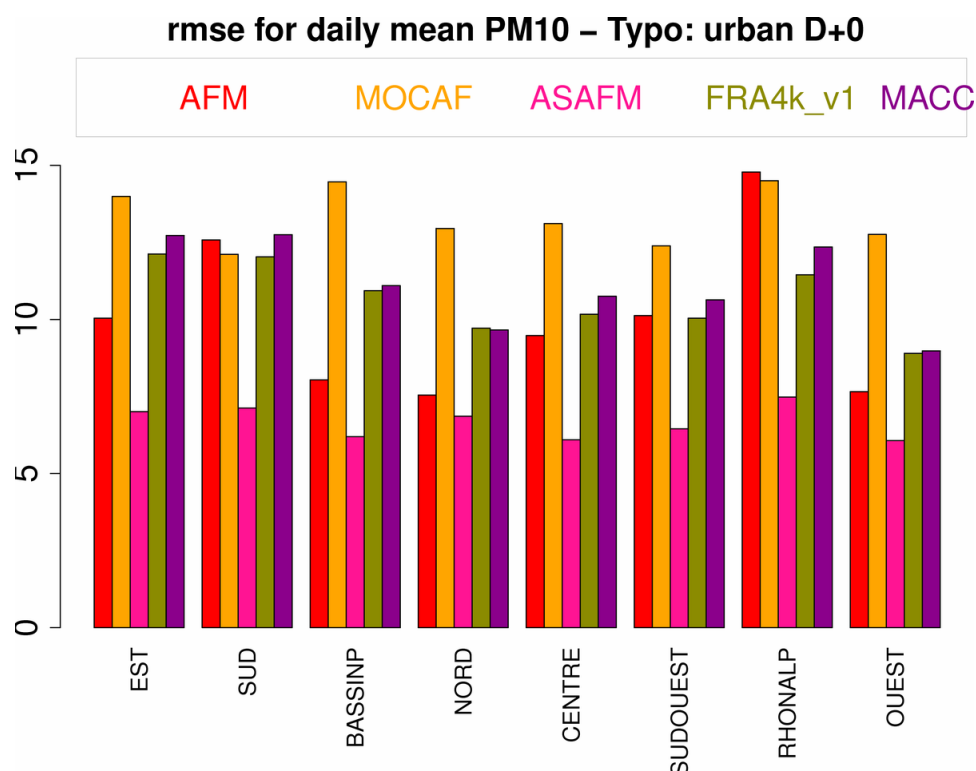


Figure 21 : RMSE (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour chaque macro-région des moyennes journalières modélisées par les 5 filières de prévision sur les stations urbaines.

La prévision brute AFM présente les valeurs de RMSE les plus élevées sur le Sud, le Sud-Ouest et sur Rhône-Alpes et est la plus performante sur l'Ouest, le Nord et le Bassin parisien.

Les versions forcées par IFS montrent des performances équivalentes en région, ce qui signifie que le gain lié à la résolution n'est pas important. Elles ont un comportement distinct d'AFM, avec des zones où elles sont moins bonnes que ce dernier, comme sur l'Est, le Bassin parisien et le Nord, et d'autres où elles sont meilleures, comme Rhône-Alpes. Outre la résolution et la météorologie, les inventaires d'émission doivent expliquer une part importante de ces différences de comportement.

MOCAGE demeure inférieur aux autres prévisions brutes dans quasiment toutes les régions à l'exception du Sud et de Rhône-Alpes où il produit des performances équivalentes à AFM.

3.4 Conclusions

Les trois indicateurs biais, RMSE et corrélation ont permis de dresser un bilan montrant les disparités entre les prévisions et permettant d'identifier les écarts de performances entre régions. Si la configuration AFM affiche des performances élevées dans le Nord et le Bassin parisien, il n'en va pas de même pour les autres régions. Le traitement d'adaptation statistique intervenant sur AFM permet de gommer significativement ces disparités régionales en fournissant une prévision nationale assez uniforme du point de vue des scores, qui sont améliorés dans les régions du Sud du pays notamment (Sud et Rhône-Alpes).

La Figure 23 montre que plus de 30 % des dépassements du seuil d'information sont bien prévus par ASAFM sur les sites urbains. Ce taux est en légère baisse par rapport à 2014, certainement du fait des épisodes secondaires de début janvier et de février mal évalués par les prévisions.

Néanmoins ce niveau de performance est standard par rapport à ce que produisent généralement les plateformes de prévision, il illustre aussi le besoin d'améliorer la méthode d'optimisation de la prévision brute pour diminuer le nombre d'événements non détectés. Nous prospectons actuellement pour mieux intégrer dans le calcul des modèles statistiques les caractéristiques régionales.

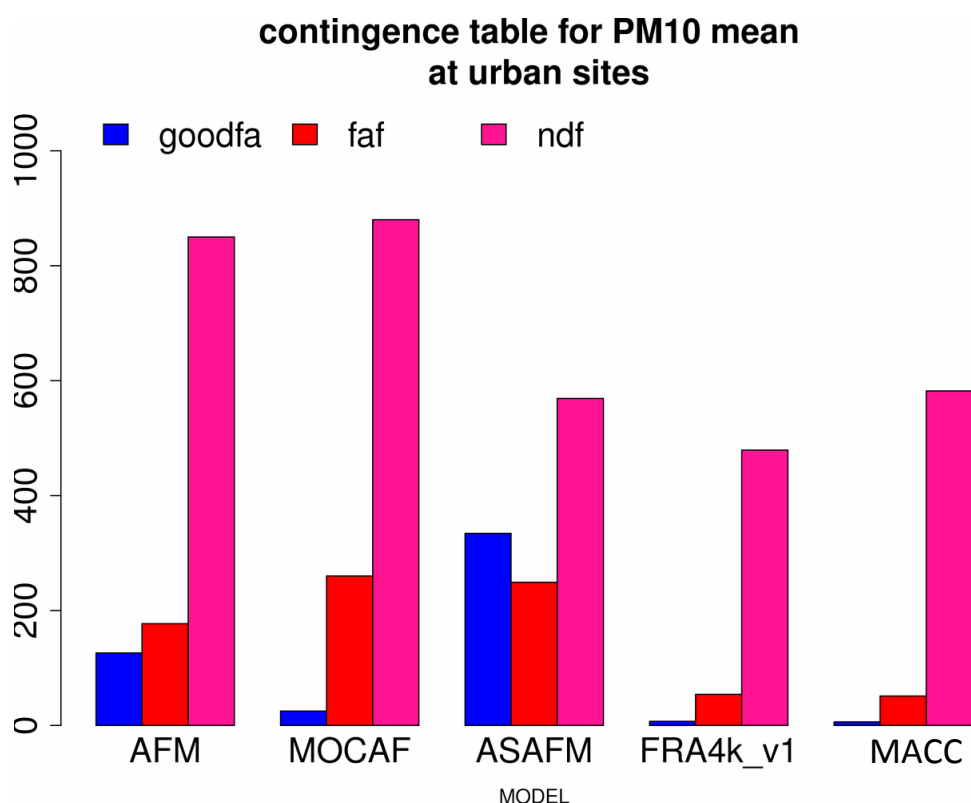


Figure 22 : Table de contingence (en nombre de dépassement) des prévisions du dépassement du seuil d'information et recommandation pour le lendemain sur les sites urbains. (goodfa : Bonne prévision, faf : fausse alerte, ndf : évènement non détecté) -. Les totaux peuvent différer entre les modèles du fait d'un taux de production de la prévision variable

Comme il a été mentionné pour l'ozone, la dégradation de la prévision pour les échéances J+1 et J+2 pourrait être atténuée en développant un modèle statistique propre à chacune de ces échéances.

Enfin il convient de mentionner que le résultat de l'adaptation statistique sera d'autant meilleur qu'il s'appuiera sur une prévision brute de qualité ce qui signifie que les efforts doivent également être portés sur l'amélioration des processus pris en compte dans l'émission et la formation des particules.

4. UTILISATEURS DE PREV'AIR

76 comptes PREV'AIR sont alimentés chaque jour avec les données de prévision brutes et avec adaptation statistique. Les données des chaînes haute résolution sont également mises à disposition sur demande ainsi que les produits d'analyse.

Des travaux plus spécifiques sont réalisés notamment avec Airaq pour améliorer les performances de PREV'AIR en Aquitaine. Cela a conduit à un certain nombre de test pour identifier les améliorations à prendre en compte sur cette région, dont certaines sont transposables à la prévision France entière (intégration de mesure du jour dans la procédure d'adaptation statistique).

5. ELABORATION DE CARTOGRAPHIES D'INDICATEURS

Depuis 2012, à la demande des AASQA, les sorties de PREV'AIR analysées sont utilisées pour produire des cartographies d'indicateurs annuels dont les résultats permettent d'évaluer l'exposition des populations et des écosystèmes. Ces produits peuvent être mis à disposition des AASQA sur leur compte utilisateur pour leurs missions de rapportage.

A ce jour les indicateurs calculés concernent tous les seuils réglementaires (information et alertes) 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 PM10 (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 PM₁₀.

Ces informations peuvent faire l'objet d'un croisement avec les bases de données de population ou d'occupation du sol pour évaluer le nombre d'habitants exposés à des valeurs excédant les normes ou la surface de végétation touchée par un dépassement.

Dans le cadre des activités de rapportage pour l'Europe au titre des Directives qualité de l'air, les indicateurs cartographiés issus de PREV'AIR peuvent être croisés avec la définition spatiale des ZAS (Zone Administrative de Surveillance) et la répartition spatiale de la population afin d'obtenir sur ces zones une information synthétique.

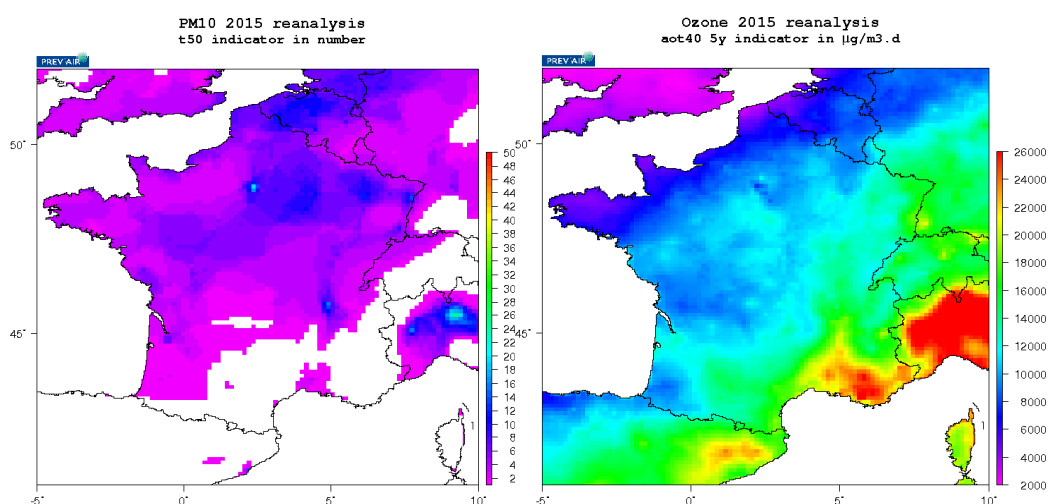


Figure 23 : Panel d'indicateurs produit avec les réanalyses* PREV'AIR 2015 (nombre de jours de dépassement du seuil de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 à gauche et indicateur ozone AOT40 en moyenne sur 5 ans). * analyses produites avec les données d'observation validées

6. ADAPTATION STATISTIQUE & ANALYSES

Plusieurs travaux ont été lancés avec l'objectif d'améliorer les performances de PREV'AIR notamment dans la gestion des épisodes de pollution.

Les efforts ont porté sur le développement de l'analyse et l'adaptation statistique (AS) sur la nouvelle filière à 4km qui deviendra opérationnelle en 2017. Plusieurs apprentissages ont été mis au point pour améliorer les performances saisonnières de PREV'AIR. Les tests ont été effectués sur des périodes d'apprentissages couvrant plusieurs années (2009-2012) avec plusieurs cas d'étude : Cas 1, septembre à février ; Cas 2, février à avril ; Cas 3, mai à septembre ; Cas 4, année entière. La validation a été faite sur l'année 2013. L'objectif de cette approche est d'appliquer un correctif à la prévision brute mieux adapté aux caractéristiques des épisodes de pollution.

Les résultats ont montré qu'avec un historique d'apprentissage par saison et sur plusieurs années, il était possible d'améliorer la prévision par adaptation statistique de manière significative. Cependant la mise en place opérationnelle nécessite une bascule des modèles statistiques, du modèle estival au modèle hivernal par exemple. Une étude des épisodes station par station afin d'établir le meilleur modèle statistique par date est envisageable.

Les nouvelles méthodologies d'AS seront également étendues aux polluants NO₂ et possiblement PM_{2,5} en complément des prévisions O₃ et PM₁₀. Leur mise en œuvre dans PREV'AIR interviendra en 2017.

Des études ont été réalisées pour prospecter vers d'autres méthodes d'adaptation statistique. Différents types de modélisation statistique ont été comparés (collaboration scientifique avec l'université de Nantes), notamment le modèle GAM (Generalized Additive Model) qui lève en partie la contrainte de linéarité entre la variable à prédire et les variables explicatives. Les premiers résultats semblent très encourageants pour cette méthode qui offre de meilleures performances que l'adaptation statistique actuellement en production dans PREV'AIR. Elle devrait également intégrer la production PREV'AIR en 2017.

Des études en collaboration avec AIRAQ ont également montré l'intérêt d'intégrer comme variable explicative l'observation des polluants en moyenne nocturne (entre 0h et 6h par exemple), en plus de l'observation de la veille, pour améliorer la prévision du jour courant. Dans tous les tests réalisés, des gains sensibles de performance ont été constatés.

Des développements ont également porté sur l'analyse afin de l'étendre au NO₂ et surtout aux PM_{2,5}. Les analyses PM_{2,5} sont issues d'un modèle de cokrigage entre les PM₁₀ et les PM_{2,5} qui intègre CHIMERE en dérive externe via un modèle de dérive additive (Beauchamp et al., 2015²). L'objectif est de tirer parti de l'ensemble des données d'observation (PM₁₀ et PM_{2,5}) et d'assurer une cohérence entre les concentrations de PM_{2,5} et PM₁₀ dans l'estimation. En plus de fournir des analyses PM_{2,5} de bonne qualité (d'après des évaluations réalisées dans le cadre du service Copernicus atmosphère), cette approche permet d'améliorer les analyses PM₁₀ par rapport au système actuel.

² Beauchamp M., Malherbe L., Meleux F., Létinois L., 2015 Note de synthèse sur les développements récents en matière de cartes analysées des résultats de modélisation. Note technique LCSQA, www.lcsqa.org.

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'évaluation des performances des prévisions brutes de PREV'AIR durant l'année 2015 montre une continuité avec les années passées due à la stabilité des versions de modèle. Les principaux résultats résident dans la tendance à surestimer l'extension spatiale des panaches d'ozone et à sous-estimer cette extension spatiale dans le cas des panaches de particules.

Le post-traitement de l'adaptation statistique (AS) pour l'ozone et les PM₁₀ améliore significativement les scores par rapport aux prévisions brutes. Il permet de corriger avec plus d'intensité la prévision dans les zones où celle-ci est la plus défailante, ce qui engendre une uniformisation des scores sur l'ensemble de la France. Néanmoins certains points restent à améliorer, notamment en développant des modèles statistiques pour ASAFM spécifiques aux échéances J+1 et J+2 afin de limiter la décroissance des scores de l'AS pour ces journées par rapport aux scores obtenus pour le J+0.

Concernant l'amélioration des prévisions brutes, les efforts portent sur le développement de nouvelles versions avec une augmentation de la résolution. Les résultats présentés dans ce rapport montrent que le couplage CHIMERE-IFS est encore perfectible et l'objectif actuel consiste à améliorer ces filières via de nombreuses simulations ciblant les années 2014 à 2016 avec l'objectif de parfaire la prise en compte des données de conditions aux limites ainsi que des données météorologiques. En complément, des développements sont réalisés pour doter ces nouvelles filières de méthodologies d'adaptation statistique et d'analyse adaptées et performantes. De nombreuses évolutions interviendront au sein de la production PREV'AIR en 2017 parmi lesquelles les analyses de PM_{2,5}.



direction et secrétariat du LCSQA

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