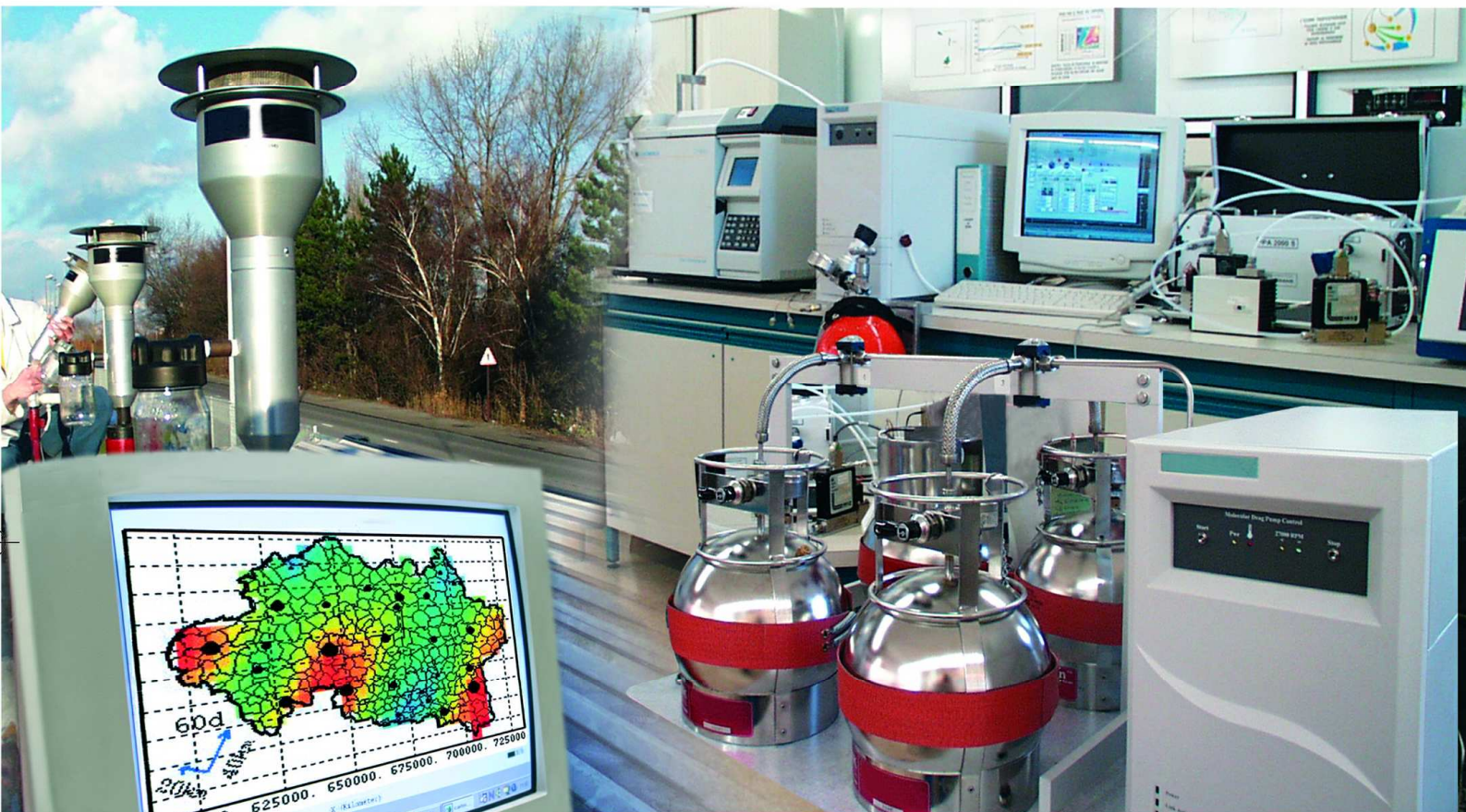




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Modélisation - Traitements numériques

**Travaux relatifs à la plateforme nationale de modélisation Prev'Air :
Bilan des performances et bilans utilisateurs (1/2)**

Décembre 2009

Programme 2009

FREDERIK MELEUX





PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement. Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction Générale de l'Energie et du Climat du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France, coordonné au plan technique par l'ADEME, en apportant un appui scientifique et technique 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.



«Travaux relatifs à la plateforme nationale de modélisation Prev'Air : Bilan des performances et bilans utilisateurs (1/2)»

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

«Thème : Modélisation - Traitements numériques»

Programme financé par la
Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC)

Décembre 2009

Frédéric MELEUX

En collaboration avec : E. DEBRY, L. MALHERBE, A. UNG (INERIS) - D. KHVOROSTYANOV, L. MENUT (LMD/CNRS) - A. PEUCH, V-H PEUCH, T. JIMONET (Météo France)

Ce document comporte 39 pages (hors couverture et annexes)


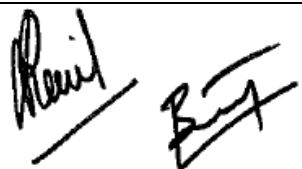

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Frédéric MELEUX	Laurence ROUÏL Bertrand BESSAGNET	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur Unité MOCA Direction des Risques Chroniques	Responsable Pôle DECI Responsable Unité MOCA Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME.....	9
1. INTRODUCTION	11
2. L'OZONE.....	11
2.1 Analyse de l'été 2009.....	11
2.2 les concentrations d'ozone prevues par PREV'AIR	13
2.2.1 Prévisions nationales des dépassements du seuil d'information	14
2.2.2 Prévisions des dépassements du seuil d'information en région	15
2.3 Performances et scores des modèles	17
2.3.1 au niveau national.....	17
2.3.1.1 <i>Le biais</i>	17
2.3.1.2 <i>La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)</i>	18
2.3.1.3 <i>Corrélations</i>	20
2.3.2 Au niveau régional.....	21
2.3.2.1 <i>La RMSE</i>	22
2.3.2.2 <i>Corrélations</i>	22
2.4 CONCLUSIONS.....	23
3. LES PARTICULES	24
3.1 Analyse de l'année 2009.....	24
3.2 les concentrations de PM prévues par PREV'AIR.....	25
3.2.1 Prévisions nationales des dépassements du seuil de 50 µg/m ³	26
3.2.2 Prévisions des dépassements du seuil de 50 µg/m ³ en région.....	27
3.3 Performances et scores des modèles	28
3.3.1 Au niveau National.....	28
3.3.1.1 <i>Le biais</i>	28
3.3.1.2 <i>La RMSE</i>	29
3.3.1.3 <i>Corrélations</i>	30
3.3.2 Au niveau régional.....	30
3.3.2.1 <i>Le biais</i>	31
3.3.2.2 <i>La rmse</i>	32
3.3.2.3 <i>La corrélation</i>	32
3.3.2.4 <i>Conclusions</i>	33

4. PARTICULES DESERTIQUES EN GUADELOUPE ET MARTINIQUE	34
5. LES UTILISATEURS	36
5.1 Comptes.....	36
5.2 Développements.....	37
6. CONCLUSIONS.....	38
7. LISTE DES ANNEXES	39

RESUME

Dans ce rapport nous évaluons les performances des modèles mis en œuvre dans la plateforme de prévision et de cartographie de la qualité de l'air, Prev'Air. Cette estimation du comportement des outils est réalisée à l'aide d'indicateurs statistiques classiques et des observations obtenues en temps quasi réel de la base de données BASTER gérée par l'ADEME et alimentée par les AASQA (associations de surveillance de la qualité de l'air).

En 2009, les performances affichées par les modèles sont assez proches de celles obtenues en 2008 pour ce qui concerne Chimere, la version n'ayant pas fondamentalement évolué. Le modèle a fait preuve d'une aptitude excellente à détecter les épisodes d'ozone et de particules de l'année 2009.

Toutefois, sa tendance à surestimer l'intensité des épisodes d'ozone durant l'été, nous pousse à investiguer le possible effet de la crise économique sur les émissions estivales 2009 et ses répercussions sur la production d'ozone.

Le comportement de Mocage s'est amélioré par rapport aux années précédentes pour l'ozone avec la mise en service d'une nouvelle version. Néanmoins, elle présente une incapacité à détecter les dépassements du seuil d'information à l'ozone.

La version « Ensemble » de Prev'Air, en test et en développement depuis un an rencontre également ce problème, bien qu'elle possède les meilleurs scores (biais, erreur quadratique moyenne et corrélation), l'Ensemble se montre pour le moment incapable de prévoir correctement les dépassements. Une nouvelle version visant à corriger ce défaut est en développement et sera testée en 2010.

Des travaux préliminaires ont également été amorcés en 2009 sur une nouvelle version de Chimere afin de délivrer une prévision des poussières désertiques au dessus des Antilles françaises, à l'instar de ce que Mocage réalise sur le Globe mais avec une meilleure résolution horizontale dans le but de prévoir précisément l'arrivée de ces panaches souvent d'origine saharienne.

Enfin, un dernier chapitre détaille l'actualité des utilisateurs de Prev'Air en 2009.

1. INTRODUCTION

Une évaluation des performances de Prev'Air est mise à jour quotidiennement sur le site Internet (partie publique et partie privée) de Prev'Air. A partir d'indicateurs statistiques, cet exercice a pour objectif de répondre au souci de transparence de l'INERIS sur les aptitudes des modèles à prévoir et à estimer la qualité de l'air. L'ensemble des indicateurs est découpé selon trois catégories distinctes correspondant aux typologies de station : urbaine, périurbaine et rurale. Des variables statistiques classiques sont calculées: biais, RMSE¹, corrélation, et percentiles.

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 adaptation statistique,...).

Après une évaluation globale, une analyse des performances des modèles sera présentée pour plusieurs régions afin d'identifier les caractéristiques géographiques des différents modèles.

Ce rapport traite de l'ozone pour l'été 2009 et des particules pour l'ensemble de l'année 2009 en France métropolitaine et un chapitre est dédié aux particules d'origine désertique qui traversent l'Atlantique et affectent la qualité de l'air en Guadeloupe et Martinique. Enfin, un rapide bilan des utilisateurs, de leurs demandes et des nouveautés 2009 mises à leur disposition est présenté.

2. L'OZONE

2.1 ANALYSE DE L'ETE 2009

L'été 2009 a été marqué par plusieurs épisodes de chaleur d'ampleur nationale qui ont affecté les niveaux de la qualité de l'air en France, et plus particulièrement les teneurs en ozone de la basse troposphère.

Afin d'analyser la répartition spatiale des épisodes, le territoire métropolitain est découpé selon 7 grandes régions décrites sur la figure 1.

¹ Root Mean Square Error ou erreur quadratique moyenne

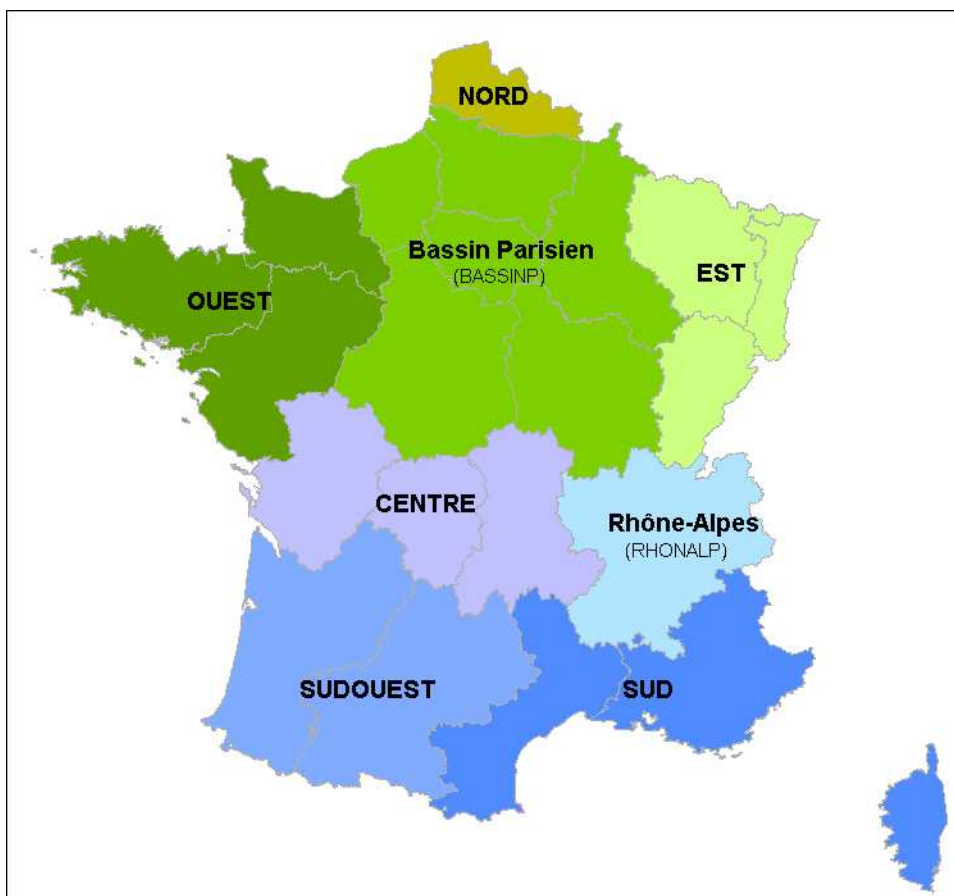


Figure 1 : Description des groupements de région utilisés pour l'évaluation géographique des modèles utilisés dans Prev'Air.

Le nombre de dépassements du seuil d'information a été franchi à plusieurs reprises pratiquement partout en France. Il se trouve en nette augmentation par rapport à l'été 2008, avec 452 relevés horaires de la base de données temps quasi-réel BASTER excédant $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ principalement au cours de trois épisodes :

- 1) Du 29 juin au 4 juillet
- 2) Du 5 aout au 7 aout
- 3) Du 17 aout au 22 aout

Au total, sur l'été 2009, 28 journées ont connu au moins un dépassement dans une région française.

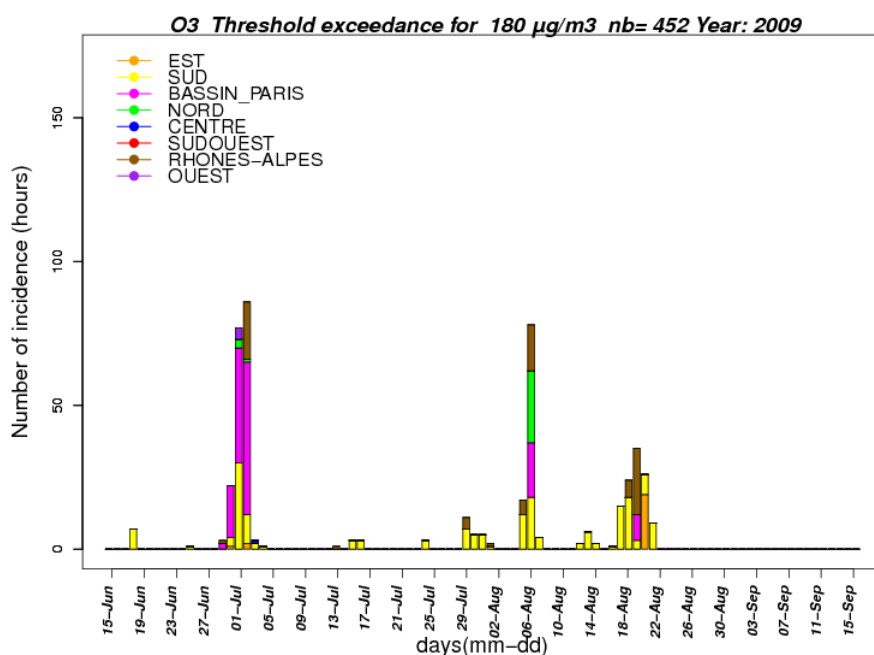


Figure 2 : Nombre de dépassements horaires du seuil de 180 µg/m3 sur 8 zones lors de l'été 2009. Valeurs issues de la base de données temps réel BASTER (ADEME).

Trois régions, le Sud, le Bassin Parisien ainsi que Rhône-Alpes ont été plus particulièrement touchées lors de ces périodes. Ensuite, le Nord, l'Est et l'Ouest ont également connu quelques dépassements mais de moindre ampleur.

2.2 LES CONCENTRATIONS D'OZONE PREVUES PAR PREV'AIR

L'objectif est donc de fournir une évaluation des performances de Prev'Air sur l'été 2009, du 15 juin au 15 septembre.

Pour mémoire, PREV'AIR bénéficie des résultats de 8 filières de prévision établies 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°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AFM)
- CHIMERE France (résolution 0.1°) avec adaptations statistiques (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)
- Ensemble : prévision d'ensemble combinant mathématiquement les résultats de tous les modèles décrits ci-dessus (à l'exception de MOCAG) et le modèle POLAIR3D du CEREAs (résolution 0.1°) (noté ENSFRA)

Ce panel d'outils qui ont des comportements sensiblement différents, permet aux experts du consortium PREV'AIR de caler leurs prévisions et d'affiner leurs diagnostics.

Les performances de chacun des modèles sont surveillées en temps réel en consultant les valeurs des mesures in situ disponibles via les sites web des AASQA ainsi qu'à l'aide des données recueillies auprès de la base de données BASTER. Des scores statistiques 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 des carrés de l'observation et de la simulation)

Corrélation

Biais Fractionnaire (rapport des variances simulation/observation)

De plus, chaque jour les séries temporelles comparant les concentrations calculées par chacun des modèles du système aux observations sont établies.

L'ensemble de ces informations est mis à jour quotidiennement et présenté sur le site Internet de PREV'AIR (www.prevair.org). Les scores détaillés par station et les séries temporelles sont donnés dans la partie « privée » du site.

L'évaluation présentée ici est restreinte aux modèles spécifiquement dédiés à la France (AFM,ASAFM,AFMA,MOCAF,ENSFRA).

2.2.1 PREVISIONS NATIONALES DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D'INFORMATION

Face à ces épisodes, les modèles impliqués dans Prev'Air se sont globalement très bien comportés comme le prouve la figure 3, notamment en regardant les versions de CHIMERE AFM, ASAFM et AFMA.

Les trois périodes ont été assez bien captées et anticipées par ces trois prévisions plusieurs jours à l'avance. Cependant, l'extension spatiale des panaches a été dans l'ensemble surestimée par les modèles entraînant la prévision d'un nombre de stations excédant le seuil de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus important que les détections des mesures in-situ. Il peut s'agir d'un phénomène inhérent à la résolution horizontale des modèles (10 km) qui engendre un surdimensionnement des panaches d'ozone. Néanmoins, leur persistance ainsi que leur localisation ont été très bien estimées.

Ces épisodes en l'occurrence répondaient aux critères de diffusion d'information vers les médias, avec plusieurs régions distinctes touchées et une persistance sur plus de deux jours. Ainsi, des cartes Prev'Air accompagnées d'un bulletin descriptif de la situation ont été communiqués au ministère de l'écologie (MEEDDM) puis à France-Télévision à neuf reprises durant l'été.

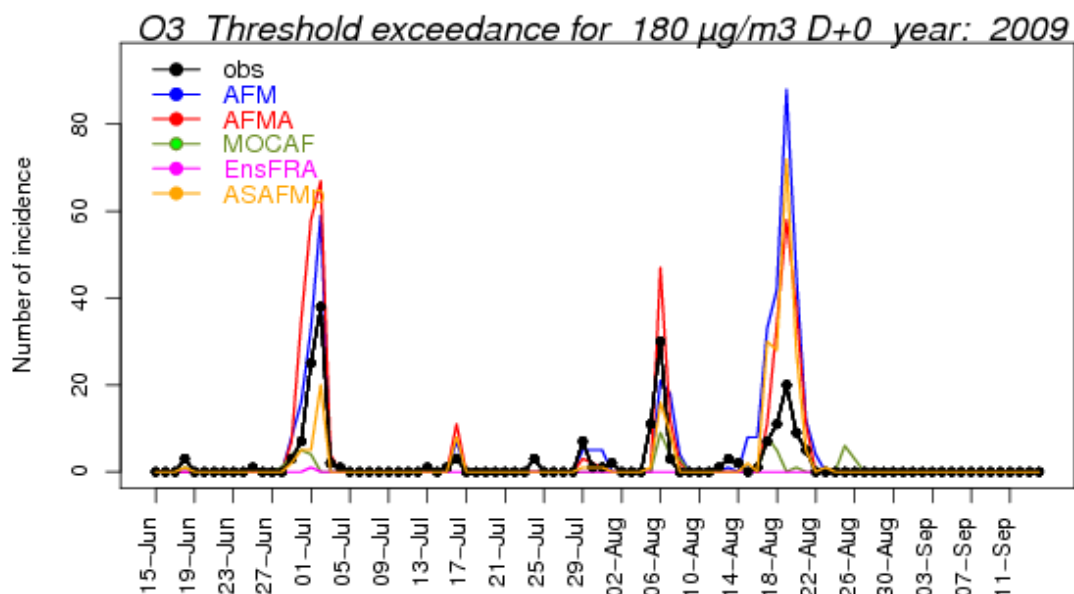


Figure 3 : Détection des événements (nombre de stations ayant dépassé le seuil d'information dans une journée) de pollution à l'ozone vus par les modèles (en couleurs) et les observations BASTER (en noir).

Durant l'été 2009, Mocage a eu tendance à sous-estimer systématiquement et de manière importante les dépassements de seuil.

La prévision d'ensemble a également connu des difficultés, puisqu'elle n'a pas été en mesure de capturer un seul dépassement, ce qui a entraîné une révision de la méthodologie employée (tests prévus en 2010).

2.2.2 PREVISIONS DES DEPASSEMENTS DU SEUIL D'INFORMATION EN REGION

En confrontant les dépassements prévus en région par les modèles AFM et AFMA avec les dépassements observés via les données BASTER (figure 1), il ressort une bonne aptitude des modèles à prévoir les hétérogénéités régionales (figure 4).

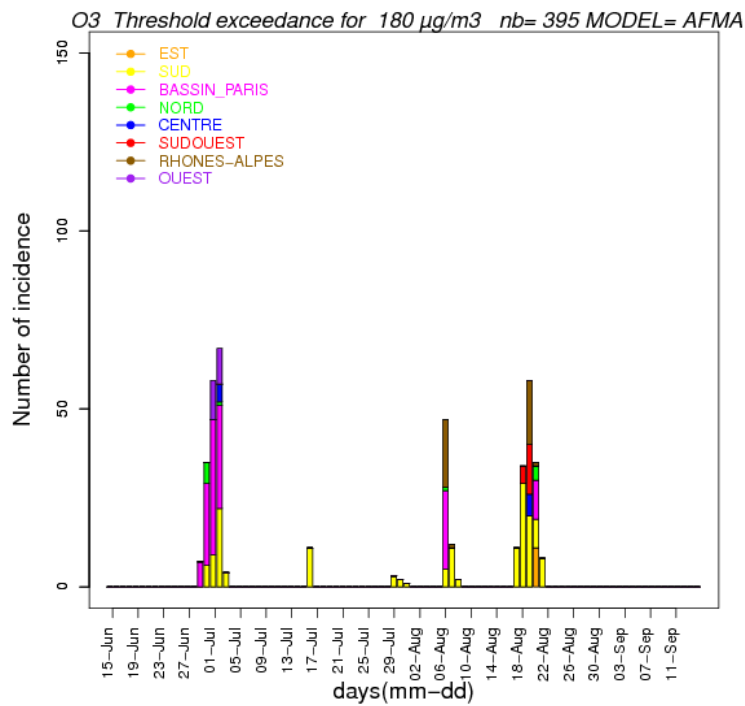
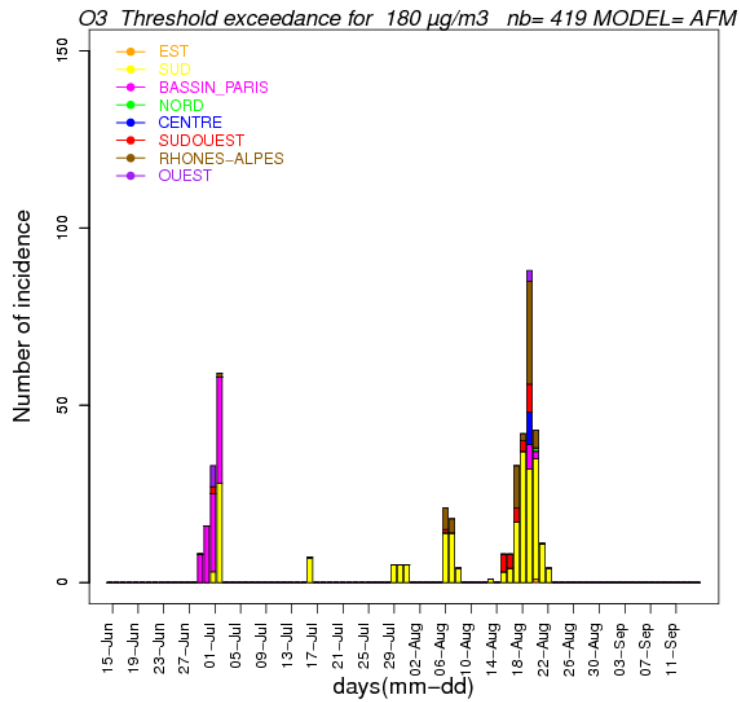


Figure 4 Nombre de dépassements horaires du seuil de 180 µg/m3 sur 8 zones lors de l'été 2009. Prévisions de J+0 fournies par AFM (haut) et AFMA (bas).

Les trois régions majoritairement touchées, Sud, Bassin parisien et Rhône-Alpes le sont également sur les sorties de AFM et AFMA

La représentation temporelle est aussi très bonne, seuls quelques épisodes de très faible ampleur (i.e. moins de 5 heures cumulées sur une journée de dépassement sur la France) présentent encore quelques difficultés de détection (en PACA le 17/06 et 25/07). La plupart des dépassements du Sud-ouest voire tous (en rouge sur la figure 3), sont, jusqu'à ce jour, éliminés sur simple expertise des prévisionnistes Prev'Air, la formation d'ozone étant à tort dopée par des émissions naturelles trop fortes. L'INERIS travaille sur ce point et devrait proposer une mise à jour dès l'année prochaine du module d'émissions biogéniques.

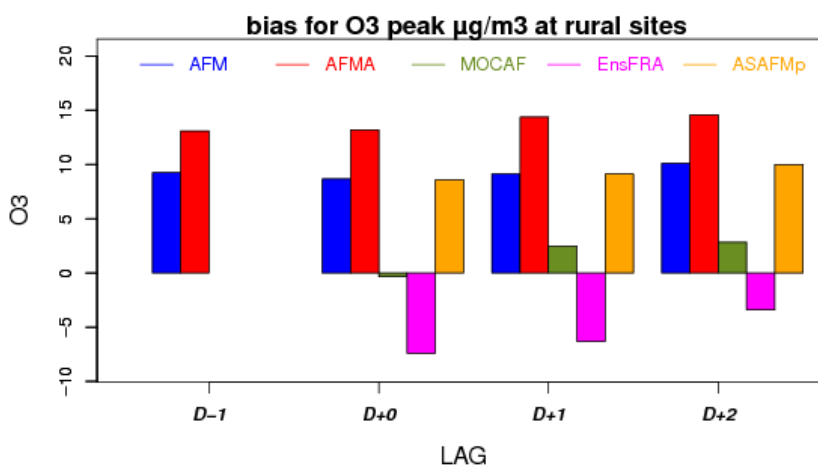
Il est important de souligner la complémentarité très pertinente d'AFMA et AFM sur cet été 2009. Ensemble les deux modèles ont permis aux prévisionnistes d'établir une sélection juste des régions touchées, même lorsqu'elles n'étaient que très légèrement impactées lors de ces trois périodes de pic. Ce fut les cas du Nord et de l'Ouest pour le premier épisode, du Nord pour le second, et de l'Est pour le troisième.

2.3 PERFORMANCES ET SCORES DES MODELES

2.3.1 AU NIVEAU NATIONAL

2.3.1.1 LE BIAIS

Le biais permet d'évaluer globalement l'erreur moyenne des modèles. Une distinction est réalisée pour trois catégories de stations, à savoir rurale, périurbaine, et urbaine. Les résultats pour les 4 types de prévisions réalisées dans Prev'Air (fig.5) montrent que conformément aux résolutions horizontales des modèles (10 km) les scores sont meilleurs en zone rurale, et se dégradent quand l'échéance de la prévision est plus lointaine.



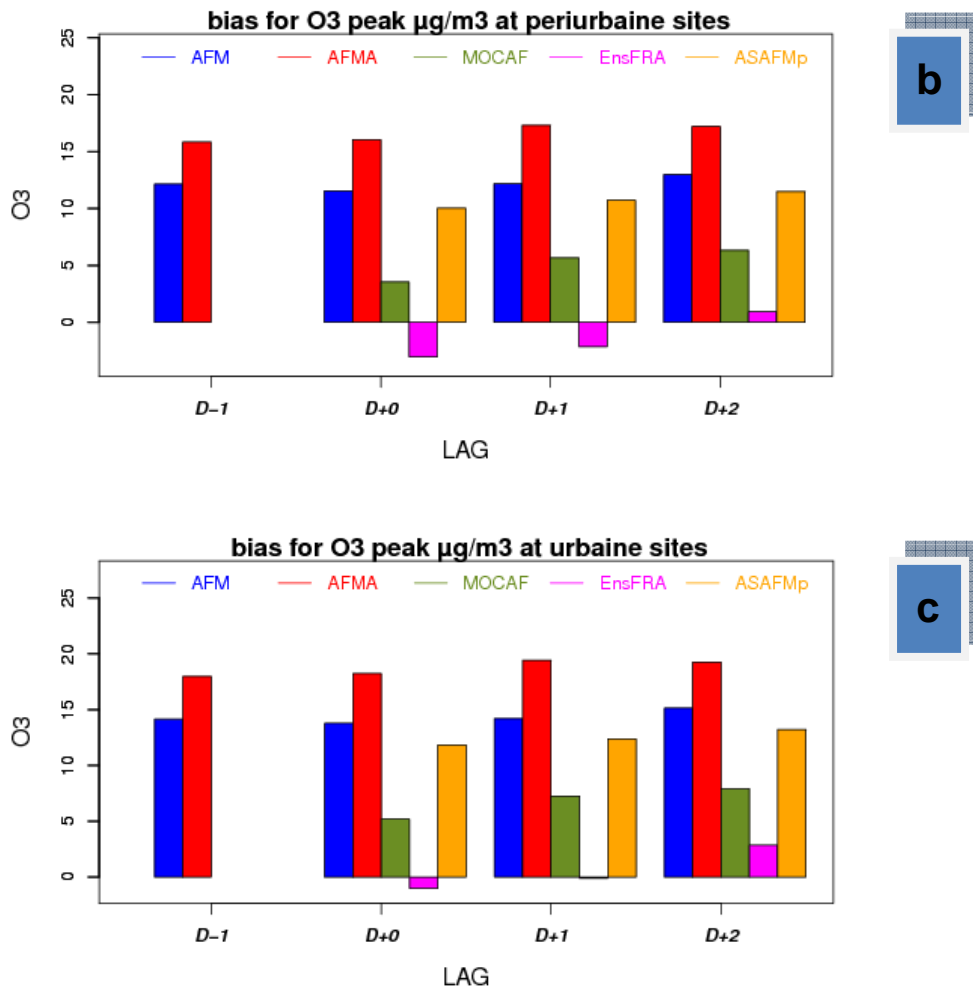


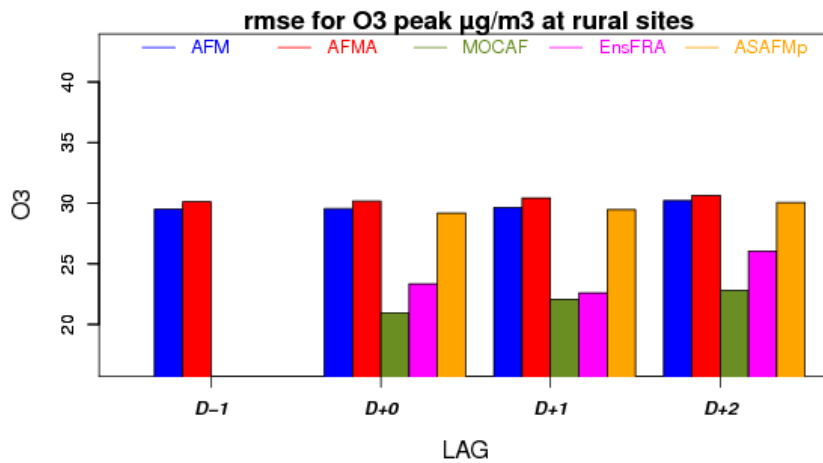
Figure 5 : Biais en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des pics journaliers d'ozone des modèles Prev'Air pour les 4 jours de prévision, sur les sites ruraux (a), périurbains (b) et urbains (c).

Les modèles ont tendance à surestimer les pics journaliers des concentrations d'ozone pour les trois types de station (rurale, périurbaine et urbaine), les scores se dégradant de la zone rurale vers la zone urbaine mais gardant une certaine stabilité quelque soit le jour de prévision (de J-1 à J+2).

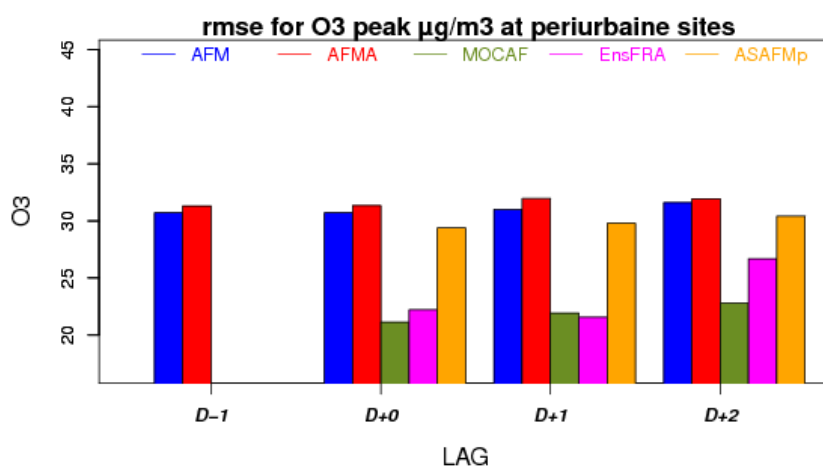
L' « Ensemble » a un comportement différent puisqu'il sous-estime les pics et que ses scores s'améliorent en passant des stations rurales aux stations urbaines. Cette sous-estimation explique l'inaptitude actuelle de l'Ensemble à détecter des dépassements du seuil d'information.

2.3.1.2 LA RACINE DE L'ERREUR QUADRATIQUE MOYENNE (RMSE)

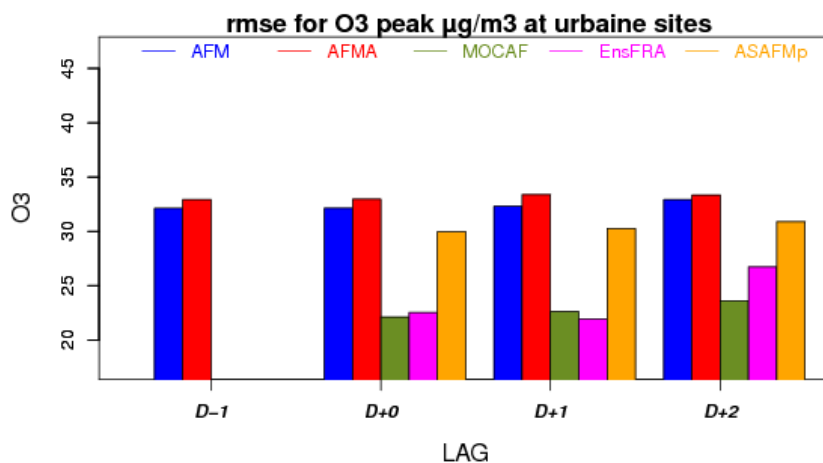
Cet indice fournit une information sur l'écart moyen entre la prévision et l'observation quelque soit le signe de celui-ci (i.e. surestimation ou sous-estimation du modèle). Plus le modèle sera éloigné de l'observation, plus l'erreur aura un impact conséquent sur le résultat de la RMSE.



a



b



c

Figure 6 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des pics journaliers d'ozone des modèles Prev'Air pour les 4 jours de prévision, sur les sites ruraux (a), périurbains (b) et urbains (c)

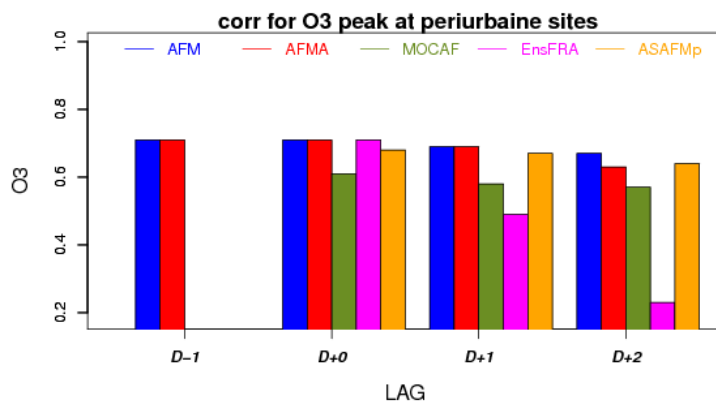
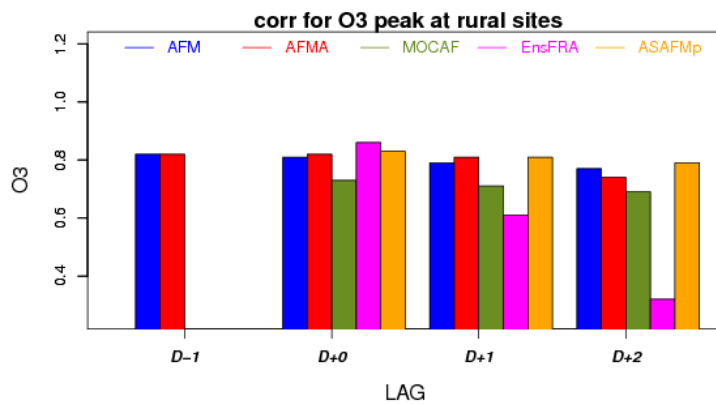
Les calculs de RMSE illustrent également une forte stabilité des modèles selon l'échéance de la prévision et le type de station. La hiérarchie connaît également peu d'évolution, les meilleurs scores sont délivrés par les prévisions Mocache et

l'Ensemble puis les différentes versions de Chimere, ASAFMp, AFM et enfin AFMA.

A noter une dégradation de la RMSE pour Chimere par rapport à l'année 2008, alors que la version du modèle est restée la même. Pour expliquer cette augmentation de la RMSE, des études en cours analysent l'impact de la crise économique sur les niveaux de pollution à partir de plusieurs scénarios d'émission qui modulent l'inventaire EMEP actuellement disponible (2007) prenant en compte les variations d'activité secteur par secteur.

2.3.1.3 CORRELATIONS

Cette variable caractérise la capacité du modèle à reproduire l'évolution des observations d'un jour sur l'autre, ou d'un endroit à l'autre ou les deux. Une valeur proche de 1 accorde au modèle une bonne reproduction des 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.



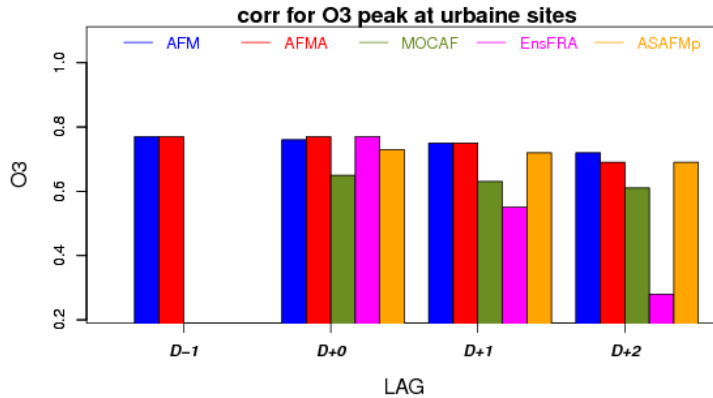


Figure 7 : Corrélation des pics journaliers d’ozone des modèles Prev’Air pour les 4 jours de simulation, sur les sites ruraux (a), périurbains (b) et urbains (c).

Les prévisions réalisées à partir de Chimere affichent les meilleures corrélations, quelque soit la météorologie utilisée Arpege ou GFS. La prévision avec adaptation statistique est légèrement moins bonne alors que l’Ensemble soutient la comparaison avec Chimere pour le J+0 mais connaît une forte dégradation aux échéances J+1 et J+2.

En général, les scores se dégradent légèrement entre les catégories de stations rurales et périurbaines, alors que les stations urbaines offrent de meilleures performances en corrélation que pour les périurbaines.

2.3.2 AU NIVEAU REGIONAL

La figure 8 illustre la variabilité observable entre les régions pour les sites ruraux et urbains. De loin, la région du sud-est de la France est la plus fortement touchée par des concentrations élevées puisque sur l’été, la moyenne des pics journaliers avoisine les 120 µg/m³. Ensuite, viennent la région Rhône-Alpes avec une moyenne des pics au dessus de 100 µg/m³ puis un groupe de 5 régions (Est, Bassin parisien, Sud-Ouest, Nord et Centre) autour de 90 µg/m³. La région Ouest présente les plus faibles valeurs autour de 80 µg/m³.

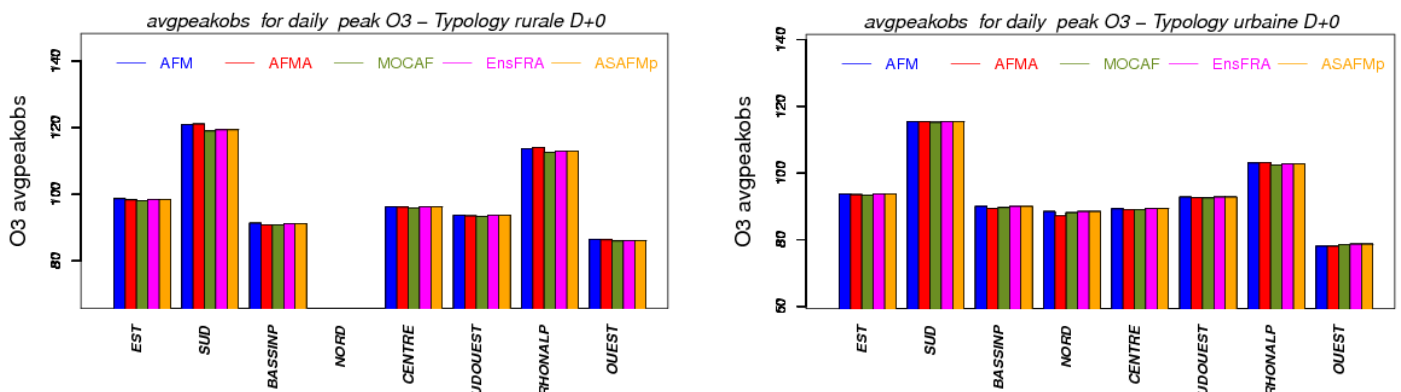


Figure 8 : Moyenne des pics journaliers d’ozone pour les 7 régions décrites fig.1. (Variabilité entre modèle due à la disponibilité des données simulées). A gauche pour les stations rurales et à droite pour les stations urbaines.

2.3.2.1 LA RMSE

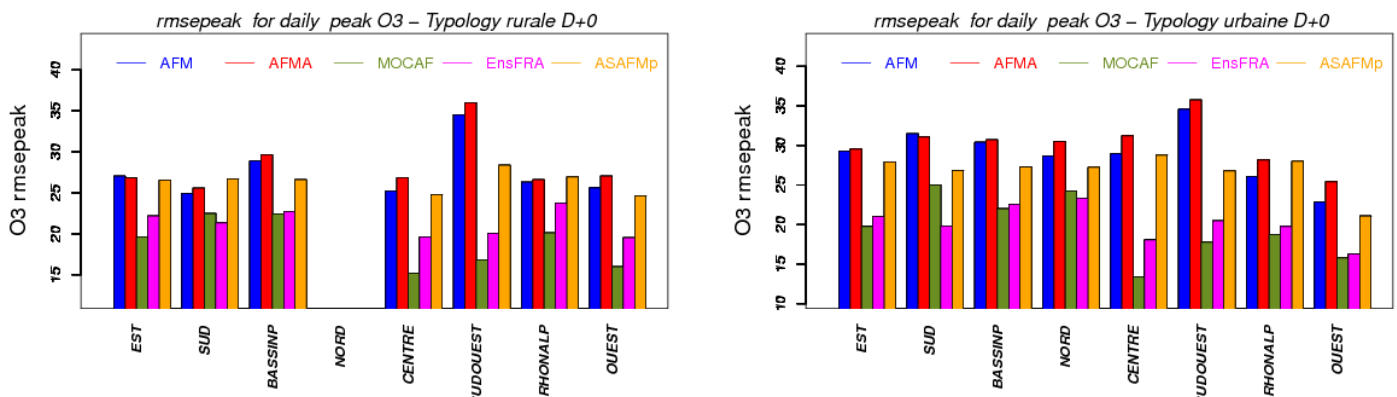


Figure 9 : RMSE des pics journaliers d’ozone pour les 7 régions décrites fig.1. A gauche pour les stations rurales et à droite pour les stations urbaines.

A noter que la hiérarchie entre les modèles est très similaire au niveau régional et national. L’Ensemble et Mocage possèdent une RMSE très proche, tandis que CHIMERE dans ses différentes versions a une RMSE 5 à 10 µg/m3 supérieure.

Concernant les performances de CHIMERE, il apparaît également que les régions Sud-Ouest et du Bassin parisien affichent les RMSE les plus fortes notamment pour les stations rurales.

2.3.2.2 CORRELATIONS

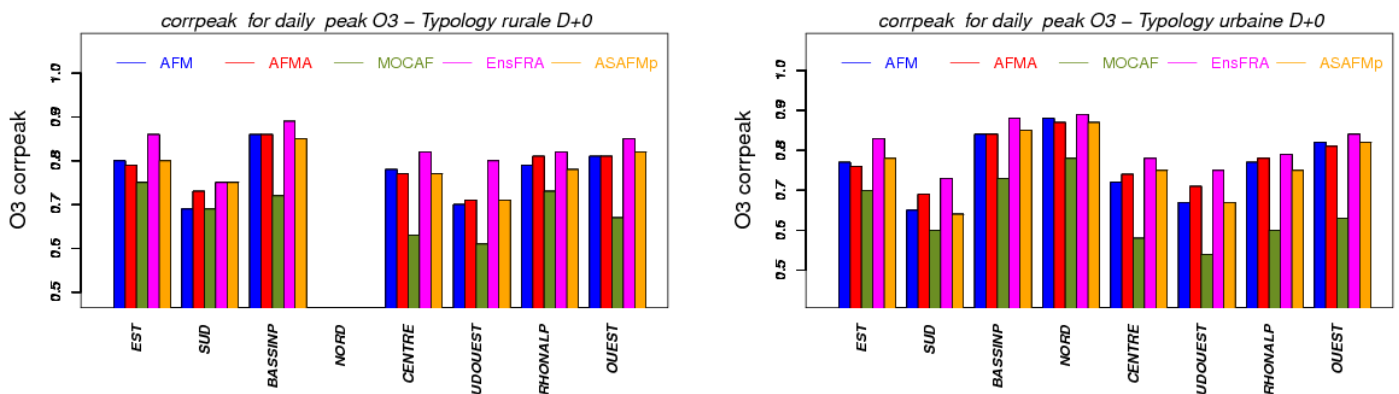


Figure 10 : Corrélations des pics journaliers d’ozone pour les 7 régions décrites fig.1. A gauche pour les stations rurales et à droite pour les stations urbaines.

Pour les corrélations, la hiérarchie d’une région à une autre est assez stable (fig.10). Le Bassin parisien et le Nord (pour les stations urbaines) possèdent les plus fortes corrélations fournies par Chimere, voisines de 0,85. Le sud a les moins bonnes autour de 0,7 pour les stations rurales et 0,6 pour les stations urbaines. Pour les autres régions, la corrélation est autour de la valeur nationale 0,8 en rurale et 0,7 en urbain.

2.4 CONCLUSIONS

L'été 2009 a connu des performances de détection du seuil d'information tout à fait correctes de la part des modèles Prev'Air qui ont joué un rôle important de prévision et d'information sur l'apparition et la persistance des pics de pollution à l'ozone.

Néanmoins plusieurs points nécessitent d'être approfondis. Le premier concerne la surestimation de la couverture spatiale des épisodes de pollutions d'ozone qui, s'ils ont été bien représentés au niveau temporel, ont toutefois eu tendance à impacter de trop grande région géographique entraînant une dégradation des scores, et également un accroissement du nombre de fausses alerte (fig.11).

Plusieurs raisons peuvent expliquer cela, l'impact de la crise économique sur les niveaux d'émission estivaux des précurseurs d'ozone pourrait avoir été un facteur influant. Pour étudier cet impact, l'INERIS et le LMD vont re-simuler la période avec plusieurs scénarios d'émission afin d'en estimer l'impact sur la qualité de la prévision des concentrations d'ozone notamment sur le bassin parisien.

Par ailleurs, le rôle des émissions biogéniques de la forêt des Landes, suspecté d'être à l'origine d'une surestimation chronique des concentrations d'ozone, sera étudié. Des tests de sensibilité seront réalisés sur le module d'émission biogénique implanté dans CHIMERE, MEGAN².

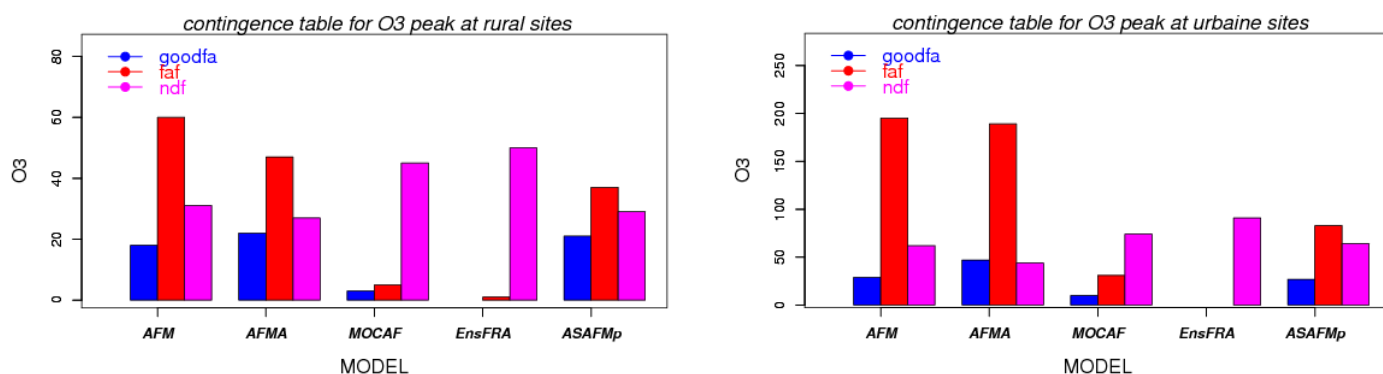


Figure 11 : Scores de la table de contingence des modèles Prev'Air de la prévision pour le lendemain, sur les sites ruraux (à gauche) et urbains (à droite). (goodfa : Bonne prévision, faf : fausse alerte, ndf : évènement non détecté)

Enfin, concernant les modèles, la figure 11 laisse apparaître très distinctement que les modèles les plus aptes à prévoir les dépassements des seuils d'information à l'ozone demeurent les versions de Chimere AFM et AFMA. Le forçage météorologique Arpège garantit un plus grand nombre de détections de dépassement du seuil d'information avec moins de fausses alertes.

Cependant, les performances de l'Ensemble pour sa première année de test en opérationnel sont très encourageantes puisqu'il affiche en moyenne les meilleurs scores en terme de prévision des concentrations. Malheureusement, pour l'heure il n'est pas en mesure de prévoir le moindre dépassement du seuil de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en conséquence, de nouveaux travaux sont engagés (entre l'INERIS et le CERE) pour remédier à cette lacune.

² Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature : Module de calcul (en ligne dans Chimere) des émissions biogéniques dépendant de variables micro-météorologiques.

3. LES PARTICULES

3.1 ANALYSE DE L'ANNEE 2009

L'analyse pour cette partie consacrée aux particules porte sur l'ensemble de l'année 2009, qui a connu plusieurs épisodes dont le premier a été exceptionnel atteignant des niveaux très élevés pendant plusieurs jours lors de la première quinzaine du mois de janvier (fig.12).

Cet épisode résultait de conditions météorologiques extrêmement froides sur une grande partie de la France, avec une influence anticyclonique marquée et en conséquence des épaisseurs de couches limites très faibles confinant les polluants dans une couche d'épaisseur inférieure à 200m. La forte stabilité de l'atmosphère durant cette période a aussi favorisé l'accumulation des polluants dans la couche limite.

Combinée à cette météorologie, une hausse importante de l'utilisation du bois de chauffage dans les secteurs résidentiels a contribué à accroître les émissions de particules. (Rapport INERIS réf. : DRC-10-103334-00705A)

Ces différents facteurs ont entraîné l'apparition de niveaux élevés des teneurs en PM10, principalement en Rhône-Alpes, dans le bassin Parisien ainsi que dans l'Est. Ces trois régions ont d'ailleurs enregistré des dépassements du seuil de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière lors de plusieurs journées sur plusieurs stations. Les autres régions ont été touchées dans une moindre mesure.

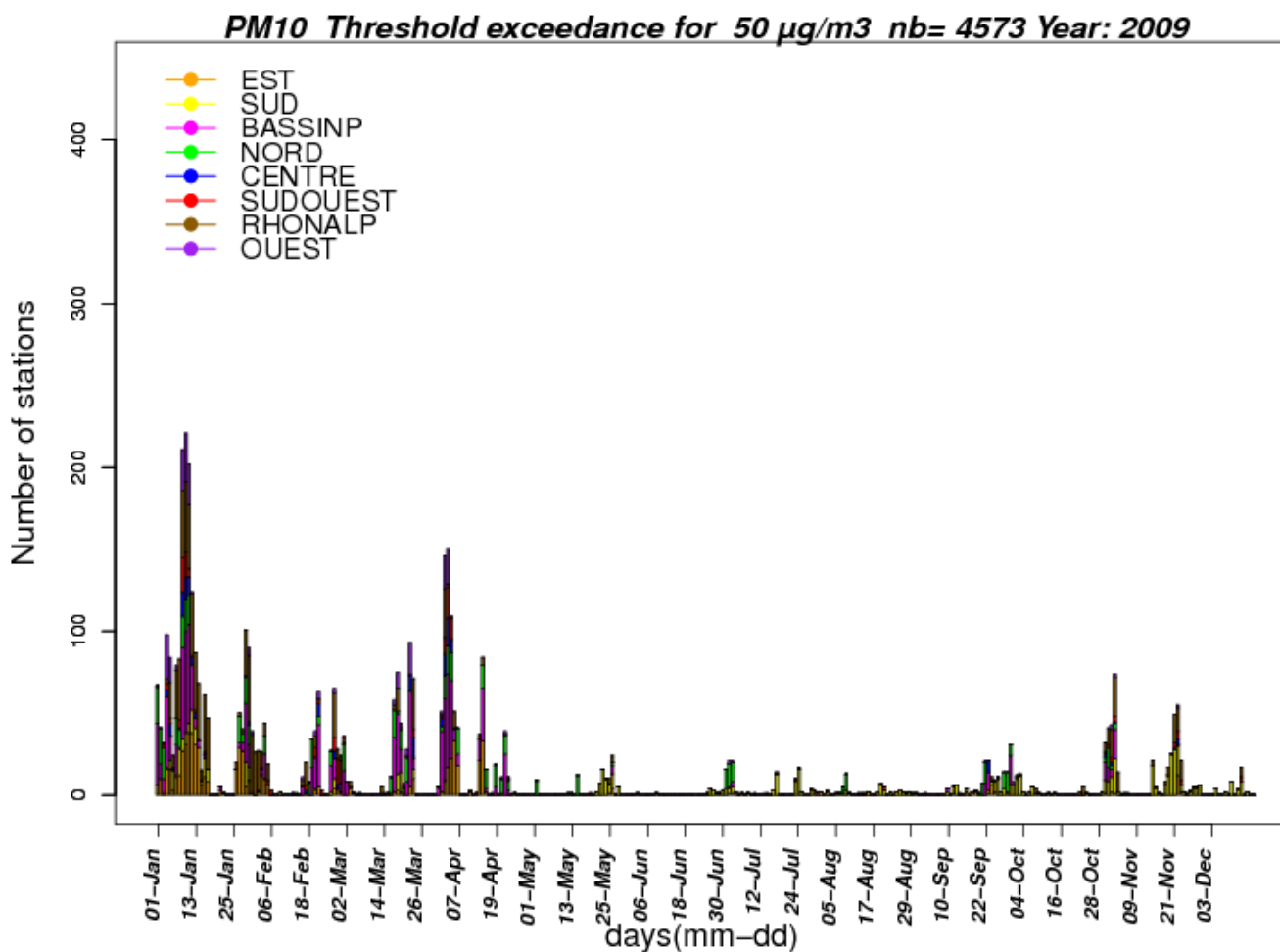


Figure 12 : Nombre de dépassement du seuil en moyenne journalière de 50 µg/m3 pour les PM10 sur 8 zones lors de l'été 2009. Valeurs issues de la base de données temps réel BASTER (ADEME).

D'autres épisodes moins marqués ont été également observés, touchant majoritairement Rhône-Alpes, le bassin parisien et l'Est. Il est aussi possible de distinguer sur la figure 12 les épisodes de nitrates d'ammonium qui ont sévi fin mars et début avril.

3.2 LES CONCENTRATIONS DE PM PREVUES PAR PREV'AIR

PREV'AIR a bénéficié des résultats de 5 filières de prévision établies 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°) alimenté par le modèle météorologique américain GFS (AFM)
- CHIMERE France (résolution 0.1°) avec adaptations statistiques (ASAFM)
- CHIMERE France (résolution 0.1°) alimenté par le modèle météorologique français ARPEGE (AFMA)
- ENSEMBLE : prévision d'ensemble combinant mathématiquement les résultats de tous les modèles décrits précédemment et du modèle POLAIR3D du CEREAs (résolution 0.1°) (ENSFRA)

3.2.1 PREVISIONS NATIONALES DES DEPASSEMENTS DU SEUIL DE 50 µg/m³

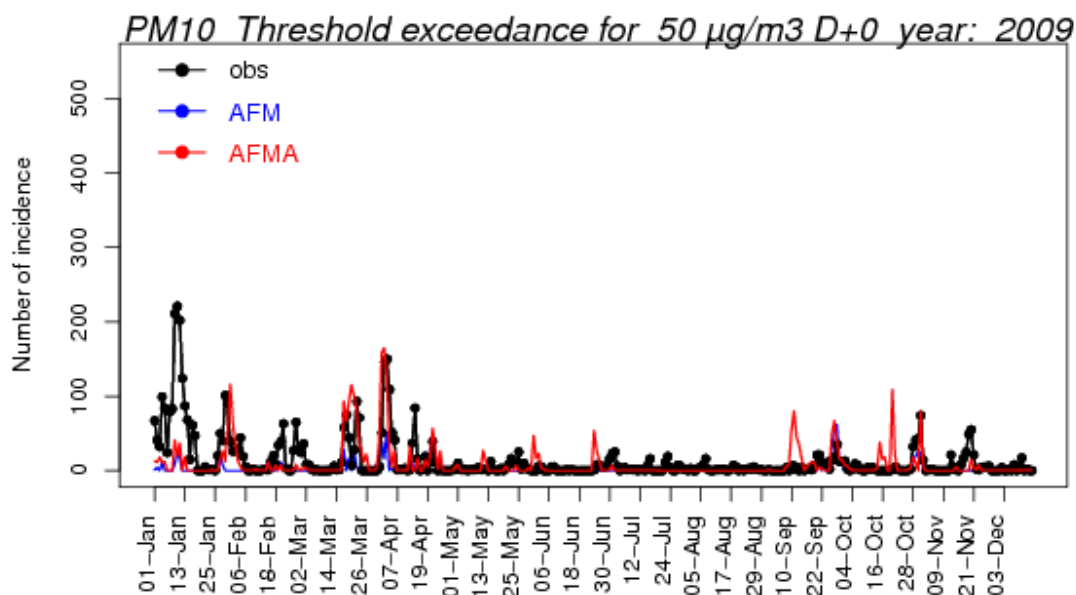


Figure 13 : Détection des événements (nombre de stations ayant dépassé le seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière) pour les PM10 prédits par les modèles (en couleurs) et observés via les données BASTER (en noir).

A l'instar de l'ozone, la détection des épisodes de PM10 a été relativement satisfaisante, surtout au regard des prévisions délivrées par la version Chimere-Arpege.

Cependant, le début d'année a été marqué par une sous-estimation importante de l'ampleur de l'épisode de particule, vraisemblablement due aux émissions de particules liées au chauffage au bois. En effet, l'inventaire d'émissions EMEP utilisé dans PREV'AIR donne une estimation moyenne pour la saison des quantités émises et n'est donc pas représentatif de situations extrêmes telles que celles rencontrées durant cette période de froid.

Les autres épisodes de la fin de l'hiver, du printemps et de l'automne sont typiques de la formation de particules due aux émissions azotées (durant les épisodes d'épandage d'engrais notamment) à l'origine de la formation de nitrates d'ammonium.

A noter que le premier épisode de nitrate d'ammonium (seconde quinzaine de février) a été sous-estimé de manière importante.

3.2.2 PREVISIONS DES DEPASSEMENTS DU SEUIL DE 50 µg/m³ EN REGION

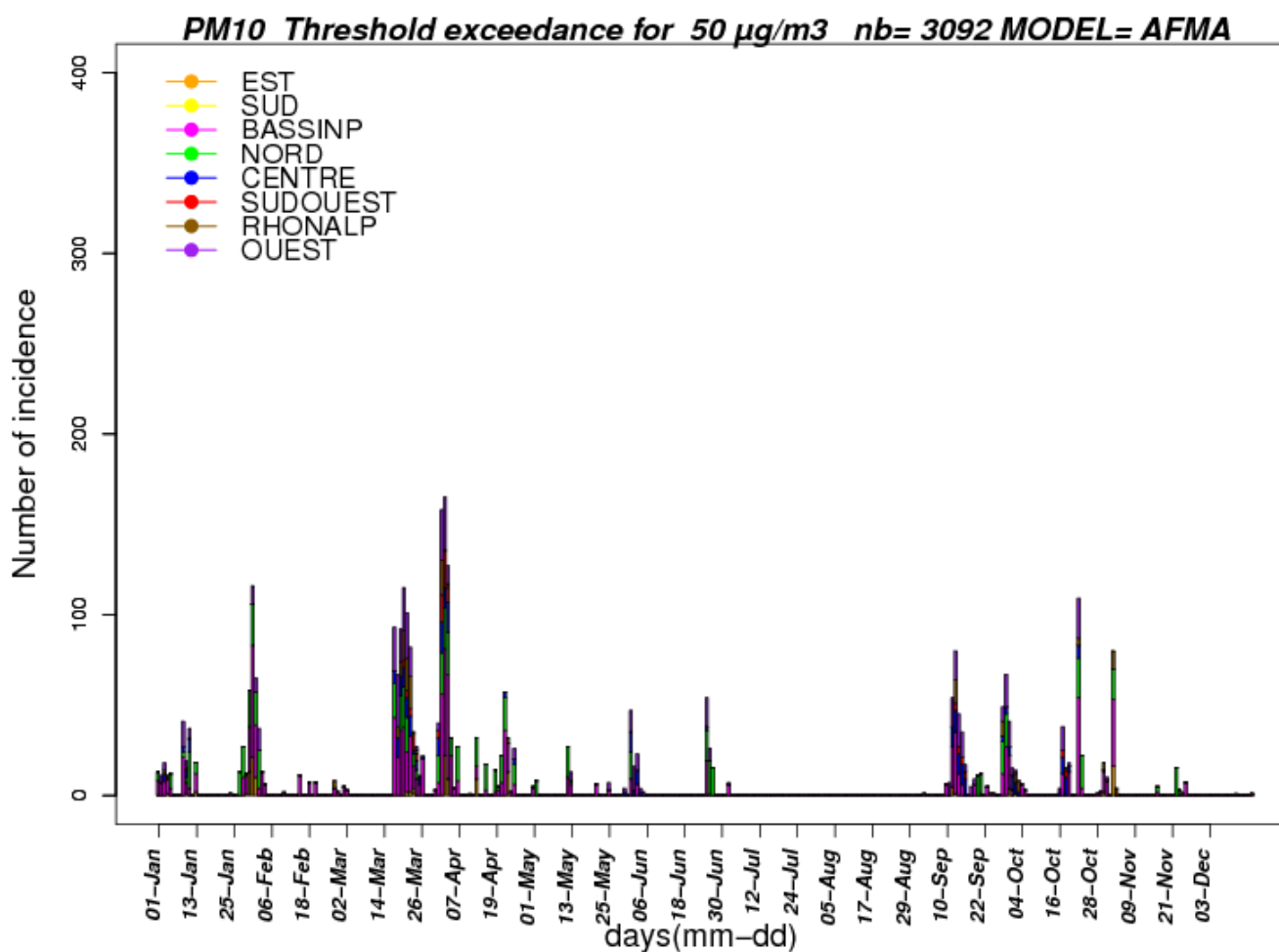


Figure 14 : Nombre et localisation géographique des dépassements simulés du seuil réglementaire pour les PM10 de 50 µg/m³ lors de l'année 2009. Prévisions de J+0 fournies par AFMA.

En regardant les périodes où les modèles se sont assez bien comportés, à l'exception de la région Est et de la région Sud (pour les pics de fin d'année), sous représentées sur la figure 14, les autres régions ayant connu un dépassement observé ont été assez bien identifiées par Prev'Air.

3.3 PERFORMANCES ET SCORES DES MODELES

3.3.1 AU NIVEAU NATIONAL

3.3.1.1 LE BIAIS

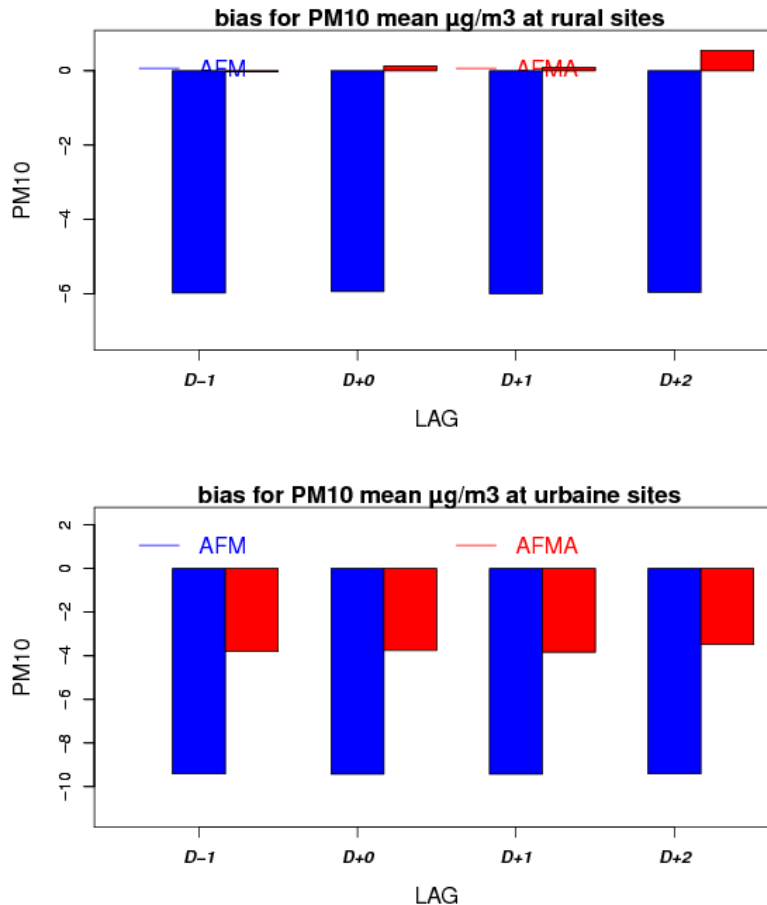


Figure 15 : *Biais en µg/m³ des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour les 4 jours de prévision, sur les sites ruraux (haut), et urbains (bas).*

Chimere version AFMA possède un biais inférieur à la version AFM. Dans l'ensemble, la figure 15 indique que les deux versions ont tendance à sous-estimer les concentrations même si AFMA affiche un score proche de 0 sur les stations rurales.

Ces disparités entre versions sont principalement liées aux différences météorologiques notamment pour la température qui peut varier de plusieurs degrés. La hauteur de la couche limite diagnostiquée par Chimere à partir des paramètres météorologiques joue également un rôle dans la variabilité des concentrations de PM10.

Un autre effet actuellement étudié concerne l'humidité du sol fournie par chacune des prévisions météorologiques. Cette variable gère l'intensité de la (re)mise en suspension de poussières telluriques et pourrait être à l'origine de fortes disparités dans les teneurs en PM10 entre les deux modèles.

3.3.1.2 LA RMSE

Une RMSE équivalente pour les deux modèles sur les stations urbaines, alors que les différences se font plus marquées en consultant les stations rurales.

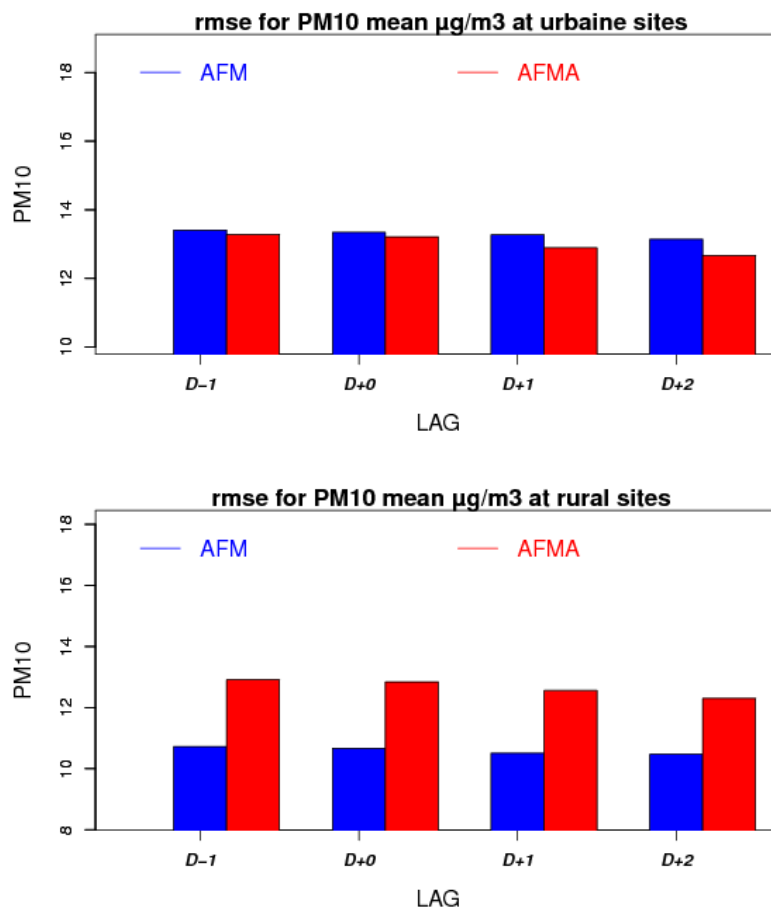


Figure 16 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour les 4 jours de prévision, sur les sites ruraux (haut), et urbains (bas).

AFMA garde une RMSE assez constante selon la catégorie de stations, de l'ordre de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alors qu'AFM a un score plus faible sur les stations rurales et plus important sur les stations urbaines (fig.16).

3.3.1.3 CORRELATIONS

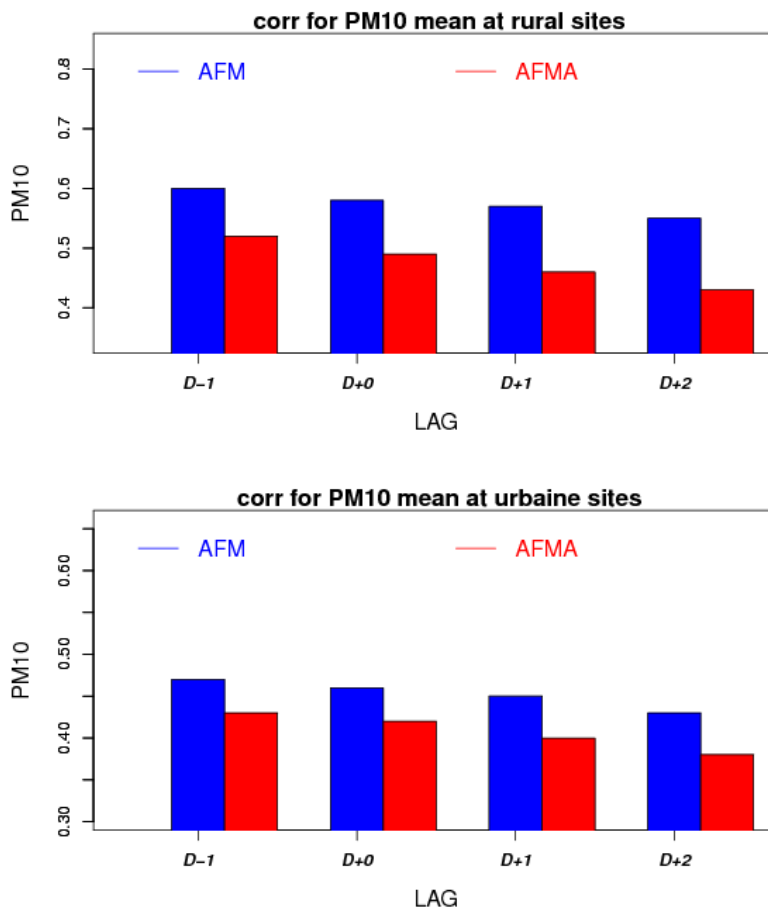


Figure 17 : Corrélations des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour les 4 jours de prévision, sur les sites ruraux (haut), et urbains (bas).

A contrario des deux indicateurs précédents, AFM présente une meilleure corrélation que AFMA, à 0,6 pour les stations rurales et 0,47 pour les stations urbaines. AFMA présente des corrélations inférieures de 0,1 à 0,05. Cette corrélation tend à se dégrader avec le jour de prévision.

3.3.2 AU NIVEAU REGIONAL

L'analyse est restreinte aux stations de types urbains, les plus nombreuses. Le nombre de stations rurales est d'une dizaine en France et ne permet donc pas de tirer des enseignements quant à l'évaluation géographique des scores dans ces zones.

Concernant les stations périurbaines, les résultats sont assez proches des résultats obtenus aux stations urbaines. Les niveaux sont par conséquent peu différents de ceux présentés sur la figure 18, illustrant les moyennes journalières annuelles des concentrations de PM10 sur les 8 régions Prev'Air.

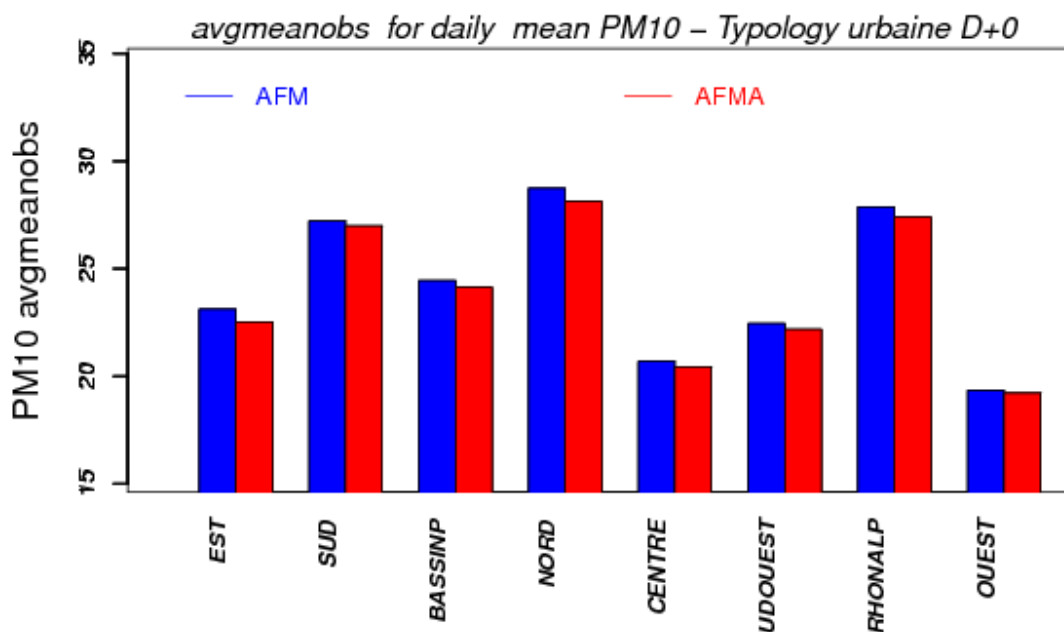


Figure 18: Concentrations de la moyenne journalière annuelles en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 des modèles Prev'Air pour J+0 sur 8 régions décrites fig.1.

Les régions Sud, Nord et Rhône-Alpes sont plus affectées que les autres par des concentrations urbaines élevées, avec une moyenne située entre 45 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que les autres régions se situent entre 35 et 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nous nous intéressons dans la suite à la capacité du modèle à prévoir les concentrations de particules en zone urbaine.

3.3.2.1 LE BIAIS

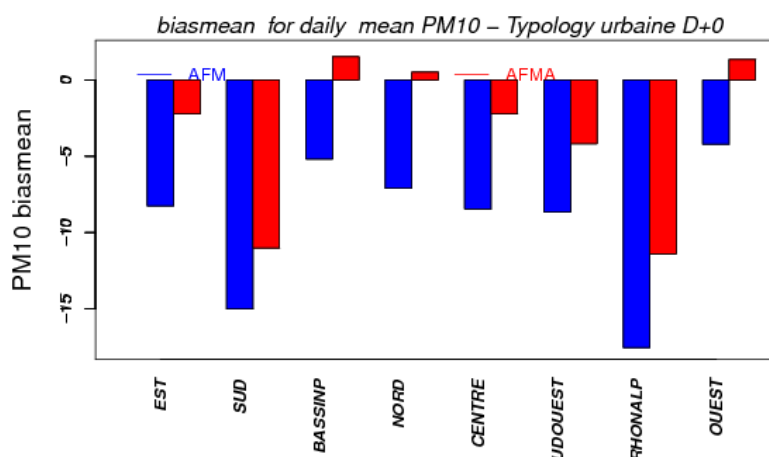


Figure 19 : Biais en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour J+0 sur 8 régions décrites fig.1, pour les sites ruraux (haut), et urbains (bas).

La variabilité apparaît importante à la fois entre les régions et entre les modèles. Sud et Rhône-Alpes possèdent les biais les plus élevés autour de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFM et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFMA. Les autres régions se situent entre -5 et -10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFM et entre 5 et -5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFMA, certaines régions

comme le Bassin parisien, le Nord et l'Ouest ayant un biais positif avec le modèle AFMA.

3.3.2.2 LA RMSE

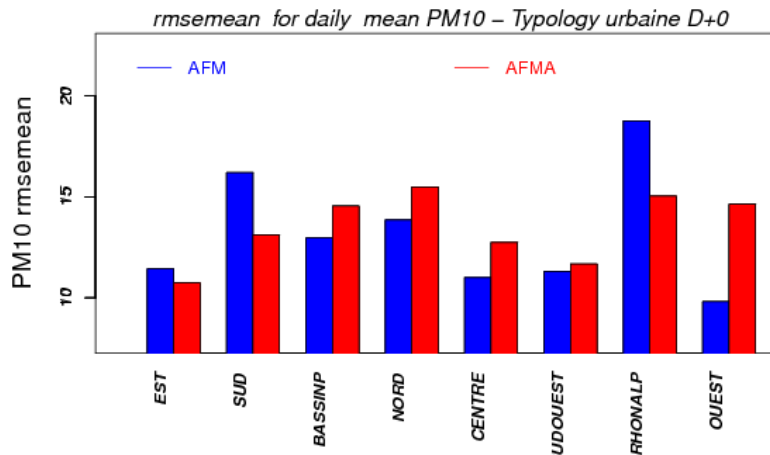


Figure 20 : RMSE en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour J+0 sur 8 régions décrites fig1. pour les sites ruraux (haut), et urbains (bas).

Les RMSE sont comprises entre 10 et 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFMA et 10 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour AFM. Les quatre régions les plus affectées par des concentrations en PM10 élevées (Nord, Rhône-Alpes, Sud et Bassin parisien) présentent les scores les moins bons sur cet indicateur. Néanmoins, Rhône-Alpes apparait comme la région posant le plus de difficultés notamment pour AFM.

3.3.2.3 LA CORRELATION

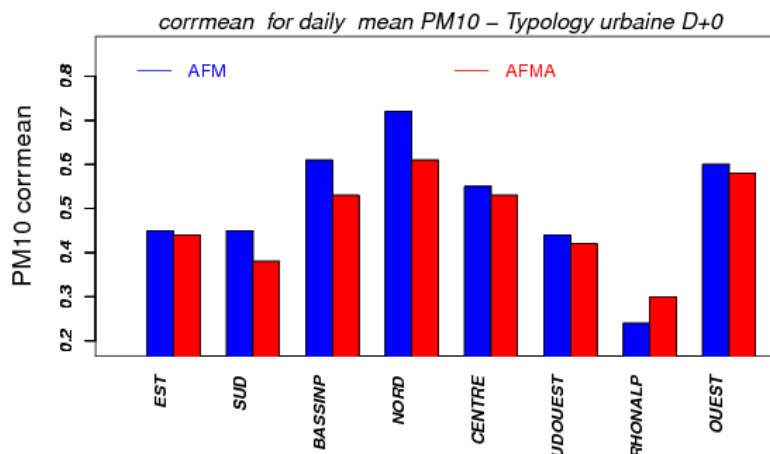


Figure 21 : Corrélation des moyennes journalières de PM10 des modèles Prev'Air pour J+0 sur 8 régions décrites fig.21, pour les sites ruraux (haut), et urbains (bas).

Comme pour le niveau national, nous pouvons dire qu'en général AFM a de meilleures corrélations qu'AFMA. Ensuite, constatons que la variabilité régionale est quasiment similaire pour les deux modèles.

Enfin, pour reprendre les quatre régions les plus polluées en PM10, le Nord qui est la région avec la plus forte moyenne journalière possède la meilleure corrélation avec une performance très correcte pour les PM10 à 0,7 pour AFM et 0,6 pour AFMA. Le Bassin parisien a également une corrélation satisfaisante. Par contre, Rhône-Alpes et dans une moindre mesure le Sud ont les plus faibles corrélations.

3.3.2.4 CONCLUSIONS

Les trois indicateurs biais, RMSE et corrélations ont permis de dresser un bilan montrant des disparités régionales importantes. Cela a permis de mettre en exergue le besoin d'accentuer les efforts pour améliorer la prévision Prev'Air des particules dans le quart Sud-est de la France englobant les agglomérations de Marseille et de Lyon. Cela passe très certainement par la prise en compte d'émissions plus réalistes, avec une réflexion à mener au sujet de leurs modulations selon les conditions climatiques. Il faudra également raffiner les paramètres météorologiques afin d'obtenir une description plus précise de la dispersion dans des régions complexes. Ce point fera l'objet d'une première évaluation dès l'année 2010 avec les mises en œuvre opérationnelles des versions à 25 km sur l'Europe et 5 km sur la France de Chimere et également avec le couplage entre Chimere et Arome (modèle Météo France à 2,5 km de résolution).

Au-delà de ces perfectionnements à réaliser, plusieurs motifs de satisfaction concernent la prévision en PM10, notamment avec la qualité des résultats obtenus sur le Nord de la France, où les niveaux urbains sont les plus élevés en France et où les modèles ont un biais assez faible, une RMSE dans la moyenne nationale et une corrélation très bonne. Les scores du Bassin parisien sont eux aussi satisfaisants.

4. PARTICULES DESERTIQUES EN GUADELOUPE ET MARTINIQUE

Depuis 2006, Mocage délivre des prévisions de particules telluriques à l'échelle du globe, et permet de réaliser une surveillance et une prévision des épisodes intenses qui touchent occasionnellement la Guadeloupe et la Martinique entraînant une hausse importante des teneurs de l'air en particules. Une nouvelle version a été mise en place afin de renforcer ce dispositif en accroissant la résolution horizontale à 1° pour apporter une information plus fine que celle délivrée par Mocage Globe (2°x2°). Cette nouvelle prévision s'appuie sur Chimere-Dust (Menut et al., 2009) développé à l'IPSL/LMD/CNRS et a été mise en œuvre à l'INERIS en 2009 et testée sur le mois de juin 2009 avec un domaine couvrant l'Atlantique afin de capturer les transports transatlantiques de poussières telluriques émises à partir des zones arides et désertiques d'Afrique.

La figure 22 présente le domaine retenu, sur lequel la version Chimere a fonctionné ainsi que le premier épisode de l'été, montrant l'arrivée d'un panache chargé en poussières en provenance de l'Afrique saharienne, épisode de plusieurs jours repéré à la fin du mois de juin 2009. Cet apport important s'ajoute à la pollution locale et contribue **presque exclusivement aux dépassements des normes réglementaires pour les PM10 aux Antilles.**

Mocage, en mode prévision a également permis de prévoir cet épisode et les deux modèles sont cohérents en termes de spatialisation et d'intensité des panaches sur les Antilles.

En confrontant les sorties Mocage et Chimere avec les observations (uniquement urbaines) des stations de Guadeloupe et de Martinique sur la dernière quinzaine de juin (fig.24), il apparaît que les modèles ont été performants, indiquant assez précisément l'arrivée sur les Antilles de ce panache de poussières désertiques (avec un décalage d'une journée pour Mocage) et décrivant assez bien son évolution temporelle sur les jours qui suivirent. A noter que l'ensemble des stations de Guadeloupe et de Martinique affichent sur cette période le même profil d'évolution, démontrant l'ampleur de cet épisode qui a couvert toutes les Antilles.

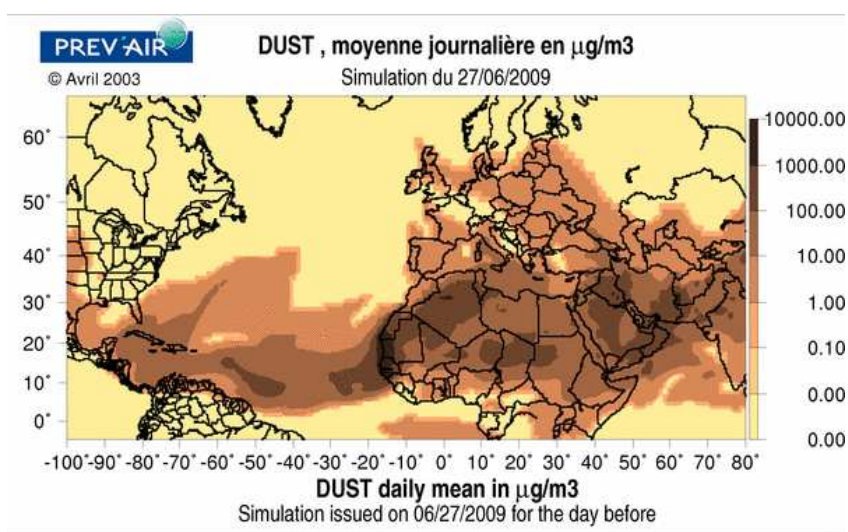


Figure 22 : Concentrations moyennes journalières en poussières simulées par Chimere dans la couche de surface le 27/07/2009

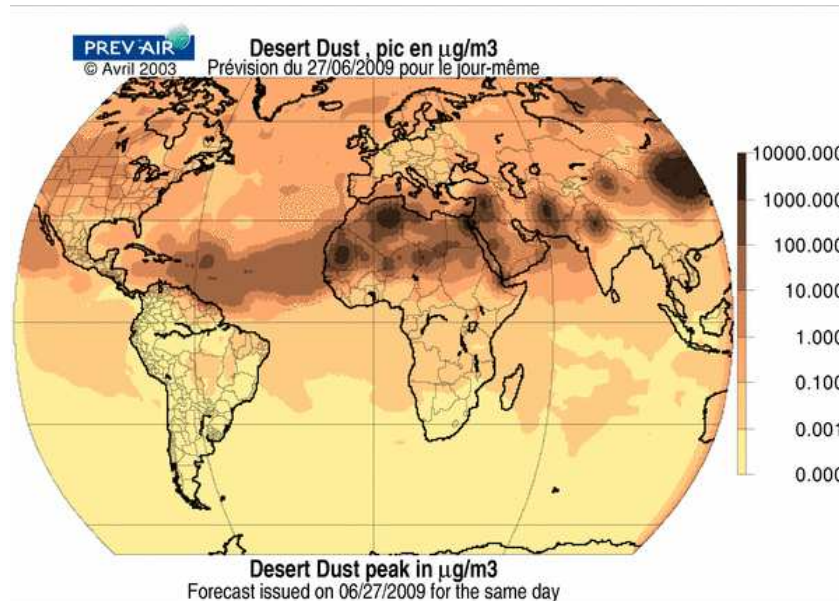


Figure 23 : Concentrations en poussières prévues par Mocage dans la couche de surface le 27/07/2009

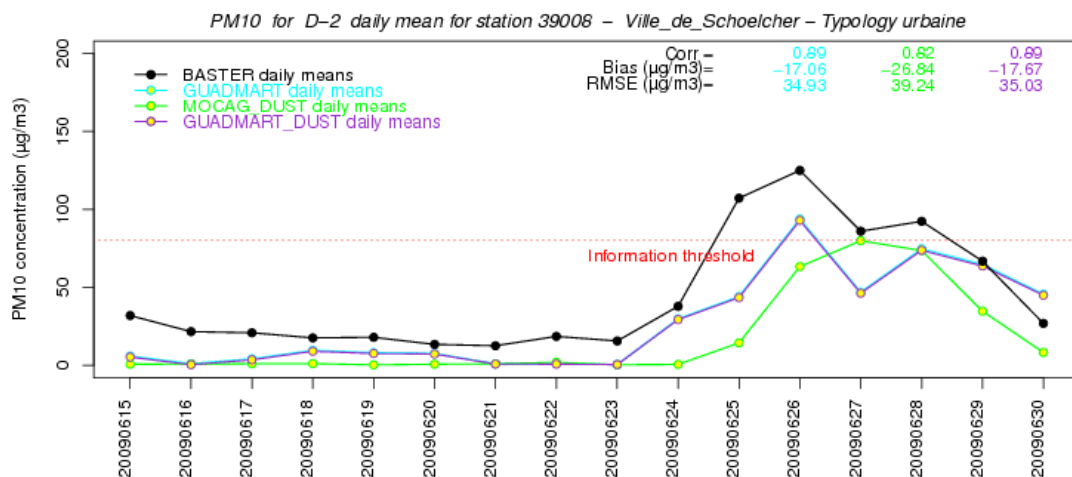


Figure 24 : Concentrations moyennes de PM10 observées sur une station urbaine de Fort de France (Martinique) en juin 2009 et calculées par le modèle Chimere (GUADMART_daily_means) plus les concentrations en poussières désertiques calculées par Chimere (GUADMART_DUST_daily_means) et Mocage (MOCAG_DUST_daily_means).

Les sorties Chimere PM10 et DUST montrent que le modèle affiche une contribution totale en DUST de l'aérosol au dessus des Antilles. Il est vraisemblable que la résolution des modèles (au minimum de 1°), ainsi certainement que la grossièreté de l'inventaire d'émission utilisé ne permettent pas pour l'heure de reproduire la pollution locale, ce qui se traduit par des biais importants sur la figure 24 en amont de l'épisode. Cela pourrait également expliquer la sous-estimation observée des moyennes journalières pendant la présence des fortes concentrations de PM10.

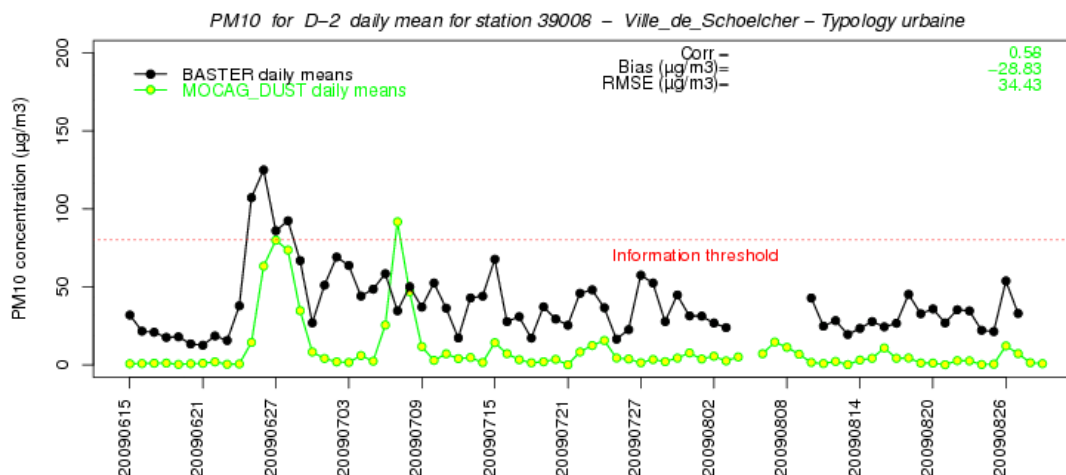


Figure 25 : Concentrations moyennes de PM10 observées sur une station urbaine de Fort de France (Martinique) sur l’été 2009 et les concentrations en poussières désertiques calculées Mocage.

En se penchant sur le comportement de Mocage tout au long de l’été et des observations, un second épisode vers le 7-8 juillet a été quant à lui surestimé, relatant la difficulté pour les modèles de prévoir correctement à la fois la situation météorologique au-dessus de l’Atlantique mais surtout les conditions d’arrachement des poussières désertiques qui déclenche le panache.

Des développements sont en cours sur Chimere afin de proposer dès l’année 2010 une version plus robuste et plus précise pour une mise en service opérationnelle au courant de l’année.

5. LES UTILISATEURS

5.1 COMPTES

Le nombre de comptes est resté assez stable par rapport à l’année 2008 : autour de 68 unités. Le pôle Icare et Météo France disposent à présent d’un compte pour faciliter l’échange de données entre nos organismes.

La principale nouveauté de l’année est le support apporté par Prev’Air à la campagne de mesure Mégapoli dont la première phase s’est déroulée au cours du mois de Juillet 2009 et la seconde au mois de janvier 2010.

Des cartes, extraites des prévisions France de Prev’Air, ont été spécialement émises quotidiennement pour répondre aux besoins des expérimentateurs notamment dans le but d’anticiper les situations pertinentes pour la mesure.

Ces cartes (fig.26) réalisent un zoom sur le bassin parisien et affichent en surimpression les plans de vols possibles car une des applications de ces prévisions est d’apporter une aide à la décision pour déterminer les zones à explorer par les avions instrumentés lors de la campagne de mesure.

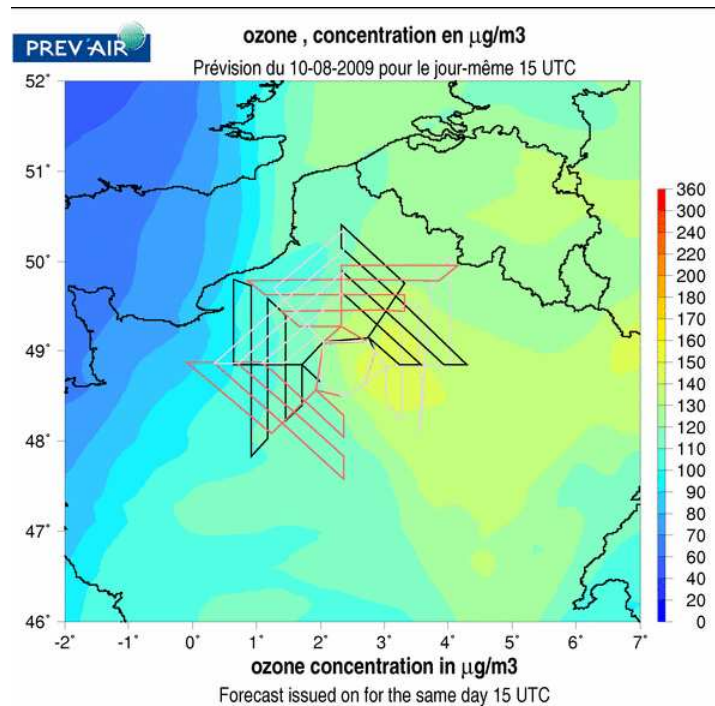


Figure 26 : Carte d'ozone à ~800 m d'altitude avec les plans de vols possibles de la campagne Mégapoli.

Sur l'été 2009, les critères de diffusion d'information selon la convention MEEDDM-France télévisions ont été atteints lors de 9 journées. Ceci a entraîné la diffusion de cartes ozone estampillées Prev'Air lors des bulletins météorologiques de ces 9 journées.

5.2 DEVELOPPEMENTS

Les configurations des modèles, à l'exception de Morage Europe et Globe dont la résolution verticale a évolué, ont gardé une configuration à celle de 2008.

Les principaux changements ont affecté le site web Prev'Air notamment avec la mise en ligne d'animation permettant de suivre heure par heure le développement de la prévision du J+0 à J+2, pour les quatre polluants et les domaines Europe et France.

Dans la partie privée du site web Prev'Air, la prévision d'ensemble apparaît visuellement dans la quatrième colonne pour le domaine France.

La prévision PM10 issu du couplage entre la météorologie Arpege et Chimere a été rendu accessible également dans la partie privée du site.

6. CONCLUSIONS

A partir des évaluations multiples présentées dans ce rapport, plusieurs voies d'amélioration et de perspectives ont été avancées et feront l'objet d'études et de développements en 2010 afin d'accroître la qualité des prévisions fournies par la plateforme Prev'Air.

Une année 2009 marquée par plusieurs épisodes de pollution intense à la fois pour les particules en tout début d'année et durant l'été pour l'ozone, favorable à une évaluation scrupuleuse du comportement des modèles impliqués dans Prev'Air.

Ces événements ont permis d'analyser le système Prev'Air et de constater la pertinence de l'outil dans la prévision des niveaux de pollution et dans la détection des dépassements des normes réglementaires particulièrement pour l'ozone. Concernant les particules, les résultats s'améliorent année après année mais le degré de performance des prévisions pour l'ozone n'est pas encore atteint, notamment en terme de constance spatiale de la pertinence des résultats, très variables géographiquement.

Plusieurs améliorations figureront au programme de Prev'Air en 2010, qui affecteront les versions de Chimere notamment par l'accroissement de la résolution horizontale à 25 km pour l'Europe et 5 km pour la France.

L'apport de nouveaux couplages météorologiques avec IFS (prévisions météorologiques du centre européen de la prévision à moyenne échéance, ECMWF) et Arome (prévisions météorologiques de à très haute résolution : 2,5 km) bonifiera très certainement la qualité des prévisions Prev'Air.

Un nouveau cadastre d'émission possédant une meilleure définition que l'inventaire EMEP (actuellement utilisé) sera testé.

Enfin, le post-traitement, plus particulièrement la méthodologie de l'Ensemble, mais également les techniques d'assimilation de données seront mis à jour intégrant les derniers développements réalisés à l'INERIS.

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Fiche LCSQA Prev'Air	3

Annexe1

THEME 6 : Modélisation – traitements numériques

Travaux relatifs a la plate forme Nationale de modélisation PREV'AIR

Responsable de l'étude : INERIS

Objectif

L'objectif de cette étude est de réaliser les actions de support technique aux utilisateurs du système PREV'AIR et les développements nécessaires en vue de répondre à leurs besoins futurs.

Contexte et travaux antérieurs

Le système PREV'AIR de prévision et de cartographie de la qualité de l'air a été mis en place au cours de l'été 2003 par l'INERIS, en collaboration avec le CNRS et l'ADEME. Une convention de développement et d'exploitation du système a également été signée en juin 2004 entre le MEEDDAT, l'INERIS, l'ADEME, le CNRS et Météo France.

Outre la diffusion par internet d'observations en temps réel, de prévisions et cartographies d'ozone, de particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et d'oxydes d'azote, les données numériques de concentrations calculées par CHIMERE sont téléchargeables par les organismes qui en font la demande. A ce jour presque toutes les AASQA disposent d'un compte sur PREV'AIR et accèdent chaque jour aux prévisions et analyses calculées à l'INERIS.

Travaux proposés pour 2009

Assistance utilisateurs

Le système PREV'AIR fournit notamment une prévision de l'ozone, des oxydes d'azote et des particules sur l'Europe et la France, à partir des résultats issus du modèle déterministe CHIMERE appliqué à une résolution spatiale de 50 et 10 km respectivement. Certaines AASQA disposent d'un modèle déterministe régional de prévision de qualité de l'air auquel PREV'AIR fournit des conditions aux limites. D'autres AASQA utilisent les sorties brutes de PREV'AIR qu'elles traitent en fonction de leurs besoins.

L'INERIS fournit une assistance aux utilisateurs de PREV'AIR en terme d'appui technique pour l'utilisation et l'interprétation des données issues des modèles ; l'ensemble de ces actions d'assistance pourront faire l'objet, le cas échéant, d'une session de présentation des modèles, leurs apports et leurs limites, auprès des AASQA.

L'INERIS met également à disposition l'ensemble des outils de post-traitement qu'il développe. Il répond à toute demande ponctuelle d'extraction de données. Enfin l'INERIS propose et développe des représentations d'indicateurs cohérentes avec les besoins exprimés par les AASQA (séries temporelles, cartographies nationales....).

Bilan des performances des modèles

Les modèles CHIMERE et MOCAGE sont les deux modèles dont les résultats sont disponibles sur PREV'AIR à ce jour. Après la période estivale, l'INERIS s'est engagé à fournir un rapport détaillé sur le bilan de performances de ces deux modèles région par région. Le bilan est établi par comparaison aux observations selon des critères statistiques classiques. Cette information est disponible à la fin du premier semestre de chaque année pour les résultats relatifs à l'été précédent.

Modélisation dans les DOM

Des prévisions de concentrations en polluants atmosphériques sur les départements et territoires d'outremer peuvent être élaborées en utilisant les versions globales des modèles CHIMERE et MOCAGE qui ont une résolution de 1°. Ces codes permettent en particulier de détecter les épisodes de poussières qui sont à l'origine de fréquents dépassements des seuils réglementaires de PM dans ces zones géographiques. En 2009, il est proposé d'analyser les performances du modèle CHIMERE-Dust sur ces zones en regard des données de mesure des AASQA. De plus nous examinerons la situation pour les autres polluants et évaluerons la possibilité d'affiner les prévisions pour les autres polluants en utilisant les données du futur Inventaire National Spatialisé qui couvre les départements et territoires d'outremer.

Réalisation de cartes analysées d'ozone et de PM₁₀ : évaluation, amélioration, test de nouvelles procédures

Depuis 2003 pour l'ozone et 2005 pour les PM₁₀, les cartes de la veille simulées par le modèle CHIMERE sur la France sont corrigées chaque matin à l'aide des observations extraites de la base BASTER. En 2008, après cinq années de fonctionnement qui ont vu évoluer aussi bien le modèle CHIMERE que le réseau des stations de mesure, il a paru utile de réévaluer le choix des stations prises en compte dans l'analyse et la méthode de correction mise en œuvre (krigeage des innovations).

Dans un premier temps, nous avons cherché à mieux appréhender les limites de la méthode de correction spatiale, ce qui nous a conduit à analyser en profondeur les différences entre CHIMERE et les mesures. Dans un second temps, nous avons exploré une nouvelle approche qui tient mieux compte des relations effectives entre CHIMERE et les mesures. La méthode mise en place pour l'ozone a soulevé quelques difficultés techniques qu'il faudra achever de résoudre en 2009 avant application aux PM10. Des tests de validation complémentaires sont également prévus pour l'ozone et les PM10 à la suite desquels la méthode sera introduite dans PREV'Air. Enfin, la pertinence d'une approche spatio-temporelle plus développée et le gain qui pourrait en résulter seront discutés.

Renseignements synthétiques

Titre de l'étude	Travaux relatifs à la Plate-forme nationale de modélisation PREV'AIR		
Personne responsable de l'étude	Frédéric Meleux		
Travaux	pérennes		
Durée des travaux pluriannuels			
Collaboration AASQA	toutes		
Heures d'ingénieur	EMD :	INERIS : 650	LNE :
Heures de technicien	EMD :	INERIS :	LNE :
Document de sortie attendu	Bilan de performance des modèles région par région Document sur la généralisation du système aux DOM-TOM Rapport sur la cartographie du NO2 Rapport sur l'analyse Mise à jour du site/ hot line		
Lien avec le tableau de suivi CPT	Comité utilisateurs PREV'AIR		
Matériel acquis pour l'étude			