



Analyse objective de surface des polluants chimiques

Alain Robichaud, Richard Ménard
ARQI (DRQA/AQRD)
11 mai 2012

Plan de la présentation

- Historique et background
- Théorie
- Description du produit et de la suite
- Vérification interne: (consistency checks)
externe (cross validation checks)
- Applications de l'AO
- Sommaire et conclusion
- Travaux futurs

Historique de l'AO chimique de surface

- CHRONOS
 - 2002-2004: Premières analyses objective d'ozone (O_3)
 - 2006: Ré-analyses avec correction de biais
 - 2010-2011: Climatologie (2002-2009) ozone et aérosols ($PM_{2.5}$)
- GEM-MACH15
 - Depuis 2010; projet de transfert aux opérations avec AQMAS et CMDA
 - 2011: Analyse d'oxyde d'azote (NO_2)
 - 2012: Impact sur les prévisions - assimilation O_3 , $PM_{2.5}$ et NO_2
- GEM-MACH10 – Pas dans la proposition CPOP pour l'instant
 - 2012 Résultats préliminaires

Transfert aux opérations

Équipe

- ❑ David Anselmo et Paul-André Beaulieu (AQMAS)
- ❑ Lorraine Veillette, Yulia Zaitseva, Isabelle Provost, Christophe Malek, Giles Verner (CMDA)
- ❑ Alain Robichaud, Richard Ménard, Véronique Bouchet (ARQI)
- ❑ Dominic Racette, Lewis Poulin (CMOI)

Système proposé

- Analyse objective aux heures
- Ozone (~1150 obs par heure)
- PM.5 (~650 obs par heure)
- GEM-MACH15
- Validation par régions

Théorie

- Échelles et variabilité des champs chimiques de surface
- OI (interpolation optimale) adaptée à l'analyse de surface:
Formulation à deux paramètres flottants en mode recherche
 - méthode H-L (Hollingsworth-Lönnberg) pour une première ébauche de statistiques d'erreurs
 - méthode du maximum de vraisemblance (maximum-likelihood) pour l'estimation de L
 - adaptation χ^2 pour recalculé les poids des obs
- Formulation de l'OI pour l'implémentation opérationnelle

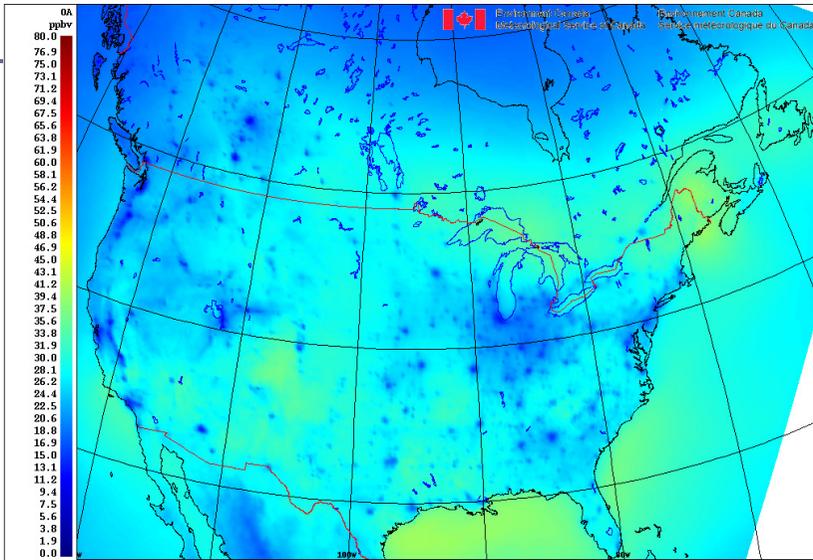
Échelles et variabilité

- Variabilité diurne et épisodique (ex. auto-corrélation temporelle ~ 1-3 heures dans la couche limite)
- Polluants primaires à courte durée de vie, les concentrations sont localisées près de leurs sources (~ 60% PM_{2.5}, NO)
- Polluants produits par réactions chimiques (O₃, sulfates, organiques secondaires) ainsi que les aérosols au dessus de la couche limite peuvent être transportés sur une échelle continentale

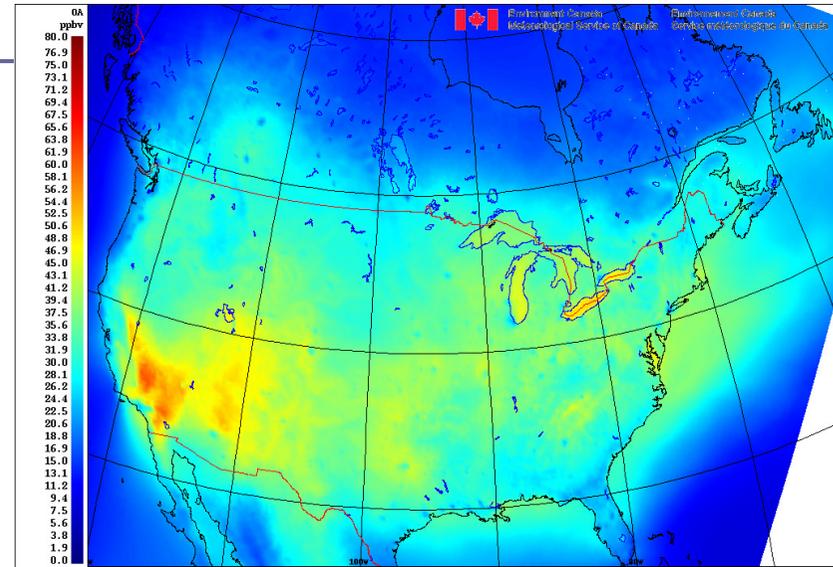
■ Mélange de deux échelles spatiales

Climatologie ozone 2003-2008 : AO CHRONOS

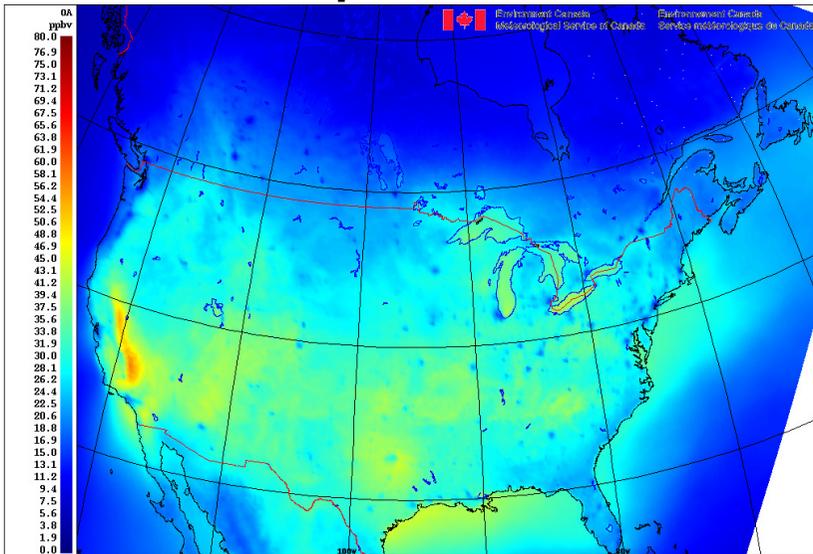
mars



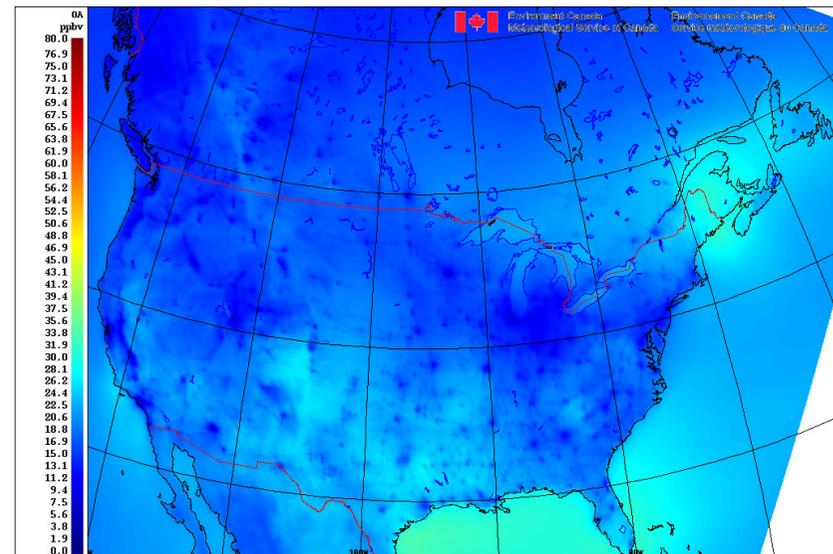
juin



septembre



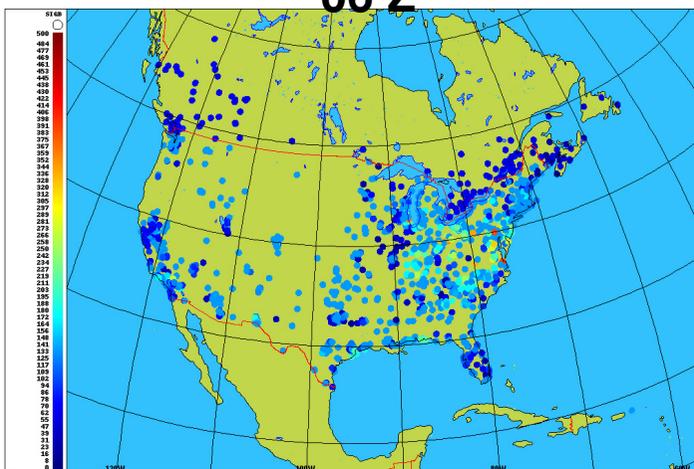
décembre



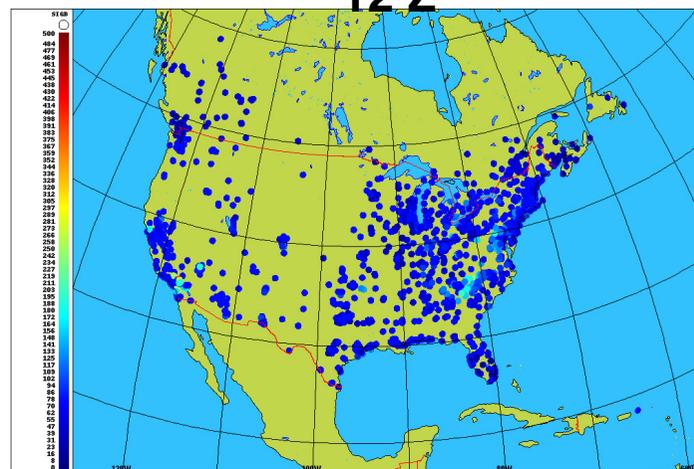
Variance d'erreur de background O₃ aux points d'obs

Grande variabilité (x 4) diurne et géographique

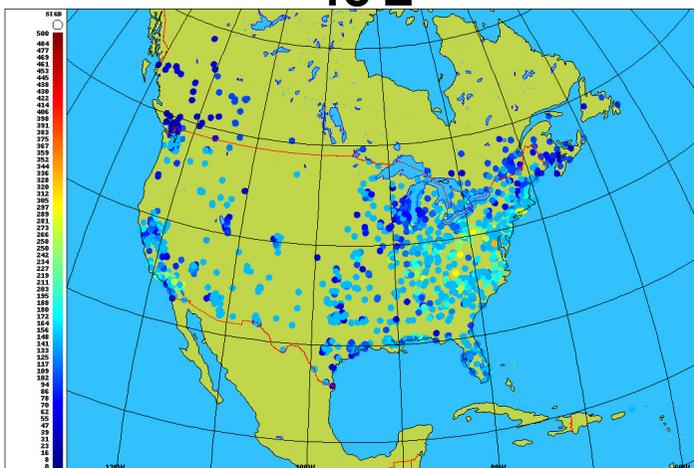
06 Z



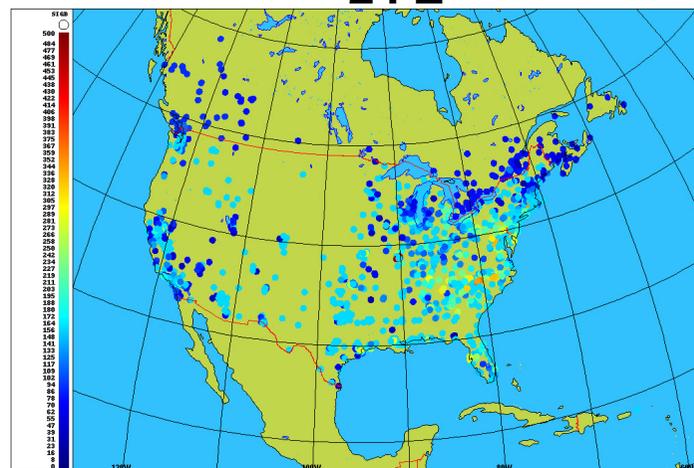
12 Z



18 Z



24 Z



Recommandations pour le schéma d'analyse

- Les corrélations spatiales sont un mélange de grande et petite échelle (près des villes et industries)
 - Avec un modèle de corrélation unique la longueur de corrélation peut nécessiter un ajustement
 - Problème d'erreur de représentativité peut est aussi présent pour l'erreur de background
- Grande variabilité spatiale et diurne des erreurs de background et donc qui n'est pas simple à modéliser (ex. moyenne zonale)
 - Il est préférable de conserver l'information des variances aux points d'obs et éviter sa modélisation le plus possible
 - QC buddy check n'est pas recommandé
- Les erreurs systématiques ne sont pas négligeables en modélisation de la qualité de l'air
 - Il peut être nécessaire d'apporter une correction de biais à l'analyse.

Interpolation optimale

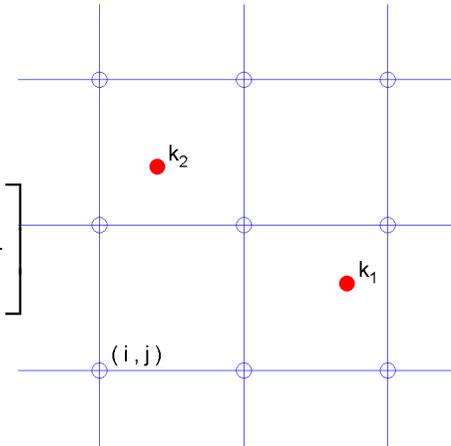
- La grille d'analyse est la même que celle du modèle
- On évite les erreurs d'interpolation des covariances aux points d'obs en utilisant des fonctions de corrélations plutôt que des matrices de corrélations

$$\mathbf{K} \equiv (\mathbf{HB})^T [\mathbf{H}(\mathbf{HB})^T + \mathbf{R}]^{-1}$$

ou

$$\mathbf{H}(\mathbf{HB})^T(k_1, k_2) \equiv \alpha_B \sigma_B(k_1) \sigma_B(k_2) \exp \left[\frac{x(k_1) x(k_2)}{L \beta L} \right]$$

$$(\mathbf{HB})^T((i, j), k_1) \equiv \alpha_B \sigma_B(i) \sigma_B(j) \exp \left[\frac{x(i) x(j)}{\beta L} \right]$$



- Les variances (déviations standards) aux points d'obs peuvent être obtenues directement avec un fit au modèle de corrélation (méthode H-L)
- La déviation standard aux points de grille est prise comme uniforme $\bar{\sigma}_B = \sum \sigma_B(k_i) / M$
- La présence de deux échelles spatiales dans les corrélations horizontales peuvent rendre l'estimation des interceptes (i.e. $\sigma_R^2(k_i) / \sigma_B^2(k_i)$) et de la longueur de corrélation douteuse, qu'on ajuste avec deux paramètres flottants α, β

Procédure

- O-P sont obtenus (1 mois environ, pour chaque saison)
- La méthode de H-L est appliquée avec un modèle FOAR. Chaque station, chaque heure, chaque saison (~1000 stations X 24 heures X 4 saisons) ~100,000 fits avec un modèle de corrélation
- Contrôle de qualité sur les estimés de L et $\sigma_B^2(k_i)$. Les paramètres erronés sont remplacés par leurs moyennes régionales (4 régions NECan, NOCan, NEUS, NOUS)
- Les paramètres flottants α, β sont estimés de manière adaptative (les expériences montrent aussi que les longueurs de corrélations sont trop grandes).

A - Méthode de maximum likelihood pour l'estimation des longueurs de corrélations:

Estimation de β

Fonction de likelihood conditionnelle aux innovations v (O-P) : $\Gamma = \mathbf{HBH}^T + \mathbf{R}$

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(\Gamma(\beta) | v) = p(v | \Gamma(\beta)) &= \frac{1}{(2\pi)^M} \frac{1}{\sqrt{\det(\Gamma(\beta))}} \exp\left\{-\frac{v^T \Gamma(\beta)^{-1} v}{2}\right\} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^M} \frac{1}{\sqrt{\det(\Gamma(\beta))}} \exp\left\{-\frac{\chi^2(\beta)}{2}\right\}\end{aligned}$$

La fonction log-likelihood est

$$l(\beta) = -\frac{M}{2} \log(2\pi) - \frac{1}{2} \log(\det(\Gamma(\beta))) - \frac{\chi^2(\beta)}{2}$$

Lorsque le nombre d'observations M est modéré ou grand

$$\log(\det(\Gamma(\beta))) \approx M \log(\sigma_R^2)$$

En gardant les variances d'erreurs constantes lors de l'optimisation on obtient

$$\max_{\beta} l = \min_{\beta} \chi^2$$

(Time series analysis, Box et Jenkins, Appendice A7.4)

B - Re-calcul du poids des observations: Estimation de α

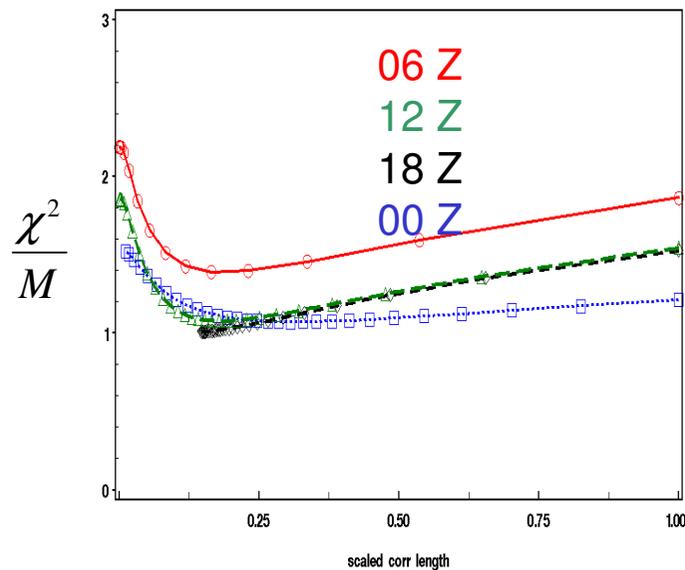
Des nouveaux poids des observations (i.e. intercepte de la méthode H-L)

$$\sigma_R^2 / \alpha \sigma_B^2$$

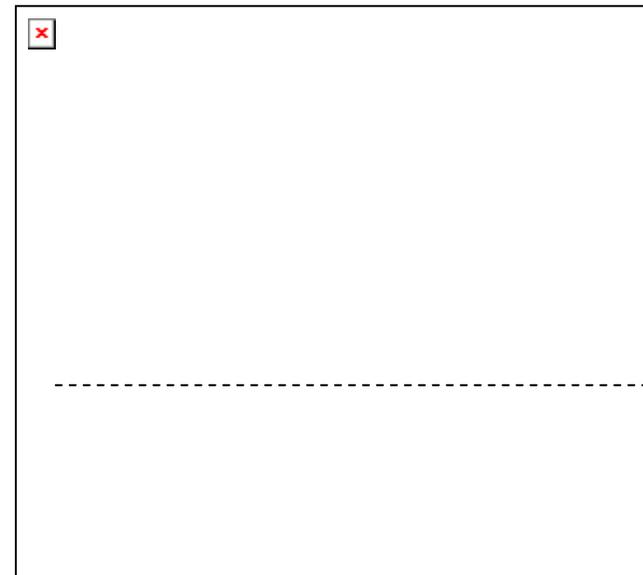
sont obtenus en ajustant α de façon à ce que

$$\frac{\chi^2}{M} = 1$$

Estimation de β



Estimation de α



Formulation de l'OI pour l'implémentation opérationnelle

- On constate qu'en pratique la minimisation de χ^2 donne un $\chi^2 / M \approx 1$ pour l'ozone en été, mais en hiver et pour les PM2.5 il est nécessaire d'ajuster les poids des observations

- Analyses d'O₃ et PM2.5 avec GEM-MACH 15 sont faites aux heures
 - Une heure après la prise de donnée (« early analysis »)
 - Deux heures après la prise de donnée (« late analysis »)
- Modèle FOAR (sans support compact) avec les paramètres suivants
 - $\sigma_R^2(k_i)$, $\sigma_B^2(k_i)$, $L_c(k_i)$ obtenus par la méthode de H-L
 - autres paramètres de covariance

$$\bar{\sigma}_B = \frac{1}{M} \sum \sigma_B(k_i) \quad ; \quad L = \frac{\beta}{M} \sum L_c(k_i)$$

- Les paramètres adaptatifs sont fixés à l'avance (aucune fouille) un β moyen est obtenu à partir de la réanalyse climatologique 2002-2009. Le poids des observations n'est pas modifié $\alpha = 1$.
- Inversion de la matrice de covariance Γ complète en utilisant une décomposition de Choleski (pas de batch processing)

Formulation de la correction de biais

- Lahoz, Khattatov and Ménard (2010),
(for model bias \gg obs bias) (i.e. bias obs $<$ 10%)

- $x^a = x^f - \hat{\epsilon} + K \{y^o - H(x^f - \hat{\epsilon})\}$ (1)

$$K = P^f H^t (H P^f H^t + R)^{-1} \quad (2)$$

En réarrangeant, on a:

$$x^a = x^f + K \{y^o - Hx^f\} + (KH-I)\hat{\epsilon} \quad (3)$$

- on peut supposer $(KH-I)\hat{\epsilon} = f(\langle O-A \rangle)$ (4)

Correction de biais (suite)

- $\langle e^a \rangle \approx \langle Ke^o \rangle + \langle (I-KH)\hat{e} \rangle$ (Dee, 2005) (5)

avec $\langle e^a \rangle = \langle x^a - x^t \rangle$

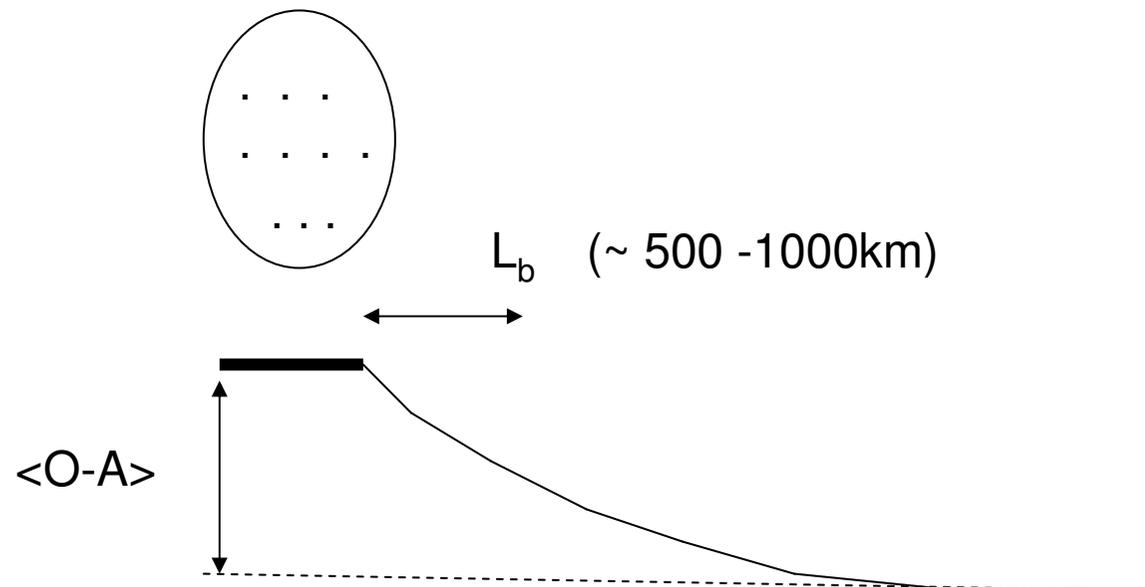
si on suppose “observation parfaite” et on interpole:

$$H \langle e^a \rangle = H \langle x^a - O \rangle = H \langle (I-KH)\hat{e} \rangle \text{ donc}$$

$$\langle O - Hx^a \rangle = H \langle (KH - I)\hat{e} \rangle \quad (6)$$

Comment est-elle appliquée ?

- Ellipse: moy régionale + exponentielle (extérieure)
- Moy régionales sur plusieurs stations (4 régions) donne les meilleurs résultats:



$$[KH-I] \hat{e}(i,j,\bar{k}) = \langle O-A \rangle(\bar{k}) \exp(-(x(i,j) - x(\bar{k})) / L_b)$$

Description du produit (AO)

- De la recherche vers le transfert technologique vers la livraison

1. 2003

Non OPER: 2003
 "Near Real Time"
 ASCII
 CAN + USA
 format: airnow
 Source: Sonomatech
 ftp.airnowdata.org

Scripts/programmes
 Alain Robichaud

RECHERCHE

2. 2007 à maintenant

OPER: 30 mai 2007
 Temps Réel
 ASCII
 CAN
 format: airnow
 Source: régions CAN
 ftp des regions

2. Fev 2011 à Avril 2012

OPER: 23 fev 2011
 Temps Réel
 ASCII
 USA
 format: airnow
 Source: Sonomatech
 ftp.airnowdata.org

Dict CAN
 ade.airnow_can.dict

Dict USA_SONO
 ade.airnow_usa_sono.dict

S
Q
L
I
T
E

Décodeur AIRNOW
 ade.airnow_can.tcl
 + QC + INSERE

SQLite4tb
 CAN+USA_SONO

sql4tbto2tb
 oper: mai 2011

SQLite2tb
 CAN+USA_SONO

Scripts/programmes
 Alain Robichaud

3. 2007 à maintenant

OPER: 30 mai 2007
 Temps Réel
 ASCII
 CAN
 format: airnow
 Source: regions CAN
 ftp des regions

3. Avril 2012 à maintenant

OPER: 26 avril 2012
 Temps Réel
 ASCII
 USA
 format: AQCSV
 Source: EPA
 ftp.airnowgateway.org

Dict CAN+USA_EPA
 ade.airnow.dict

Décodeur AIRNOW
 ade.airnow_can.tcl
 + QC + INSERE
 (B,G,K,..)

Décodeur AQCSV
 ade.airnow_usa.tcl

ade.qc.tcl ^

sql4tbto2tb

ade.insere.tcl

SQLite2tb
 CAN

SQLite2tb
 USA_EPA

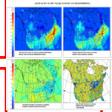
SQLite2tb
 CAN+USA_EPA **6h**

cutoff **1h**

derisfc **corr**

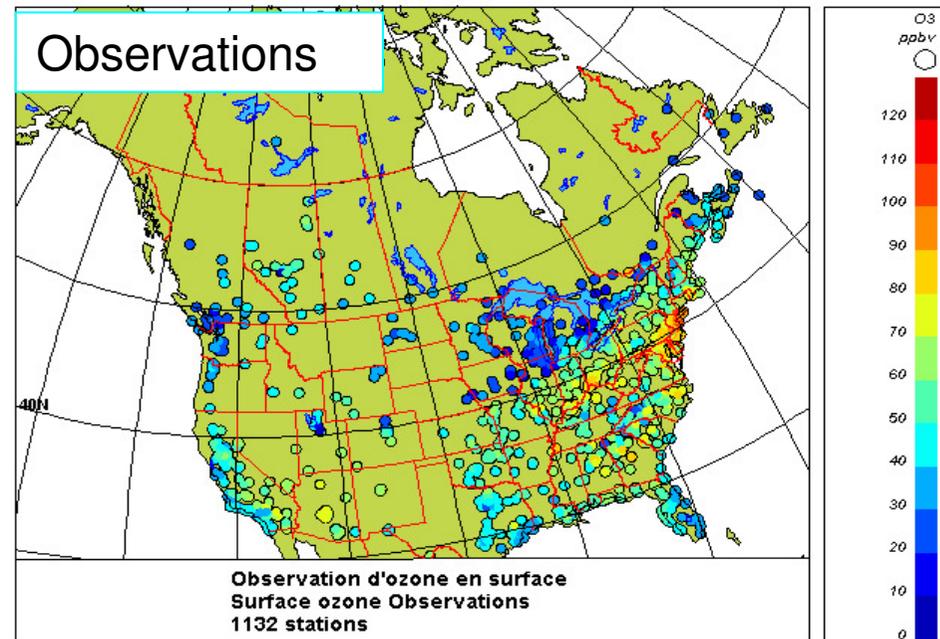
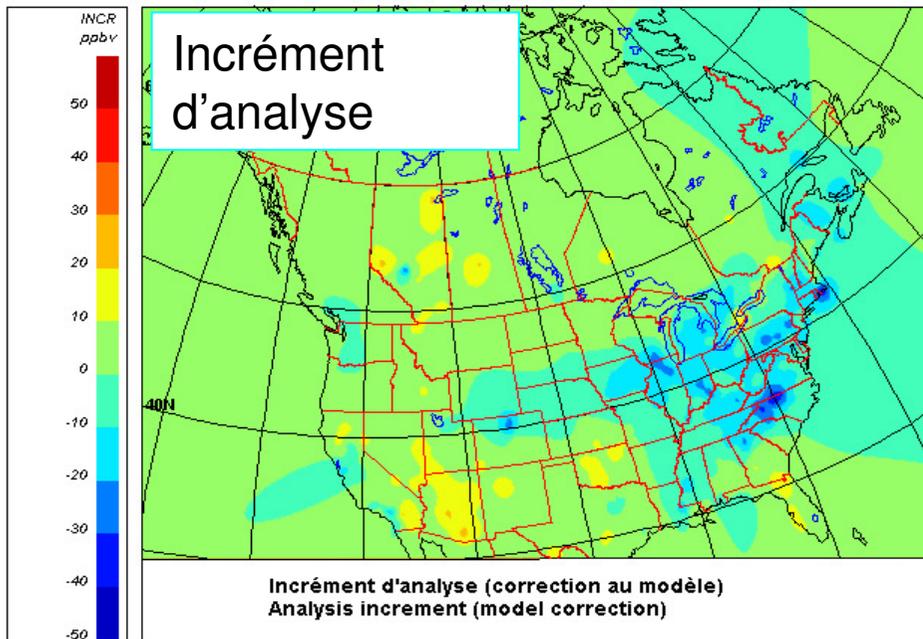
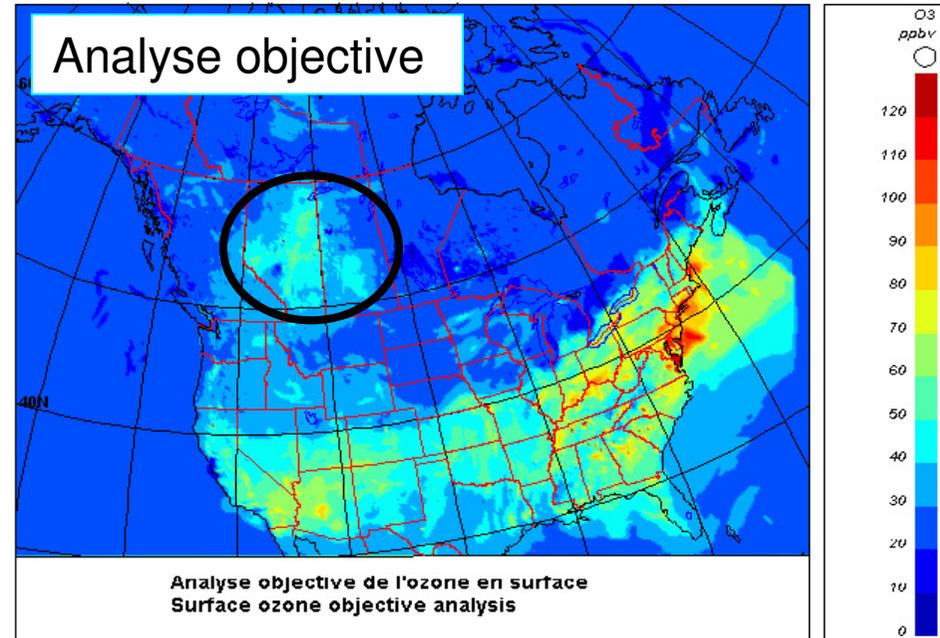
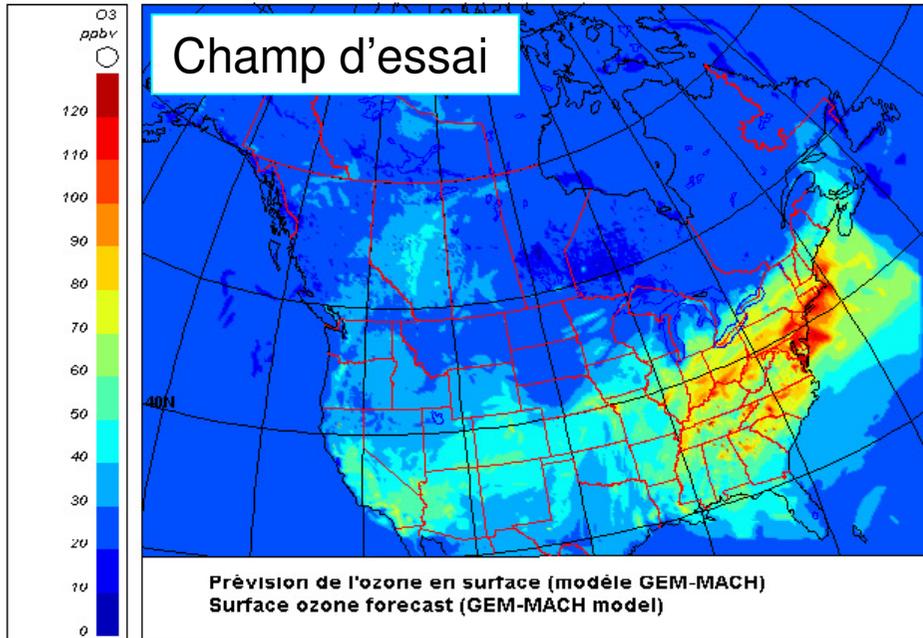
Bgcksfc (QC OA)

postsfc

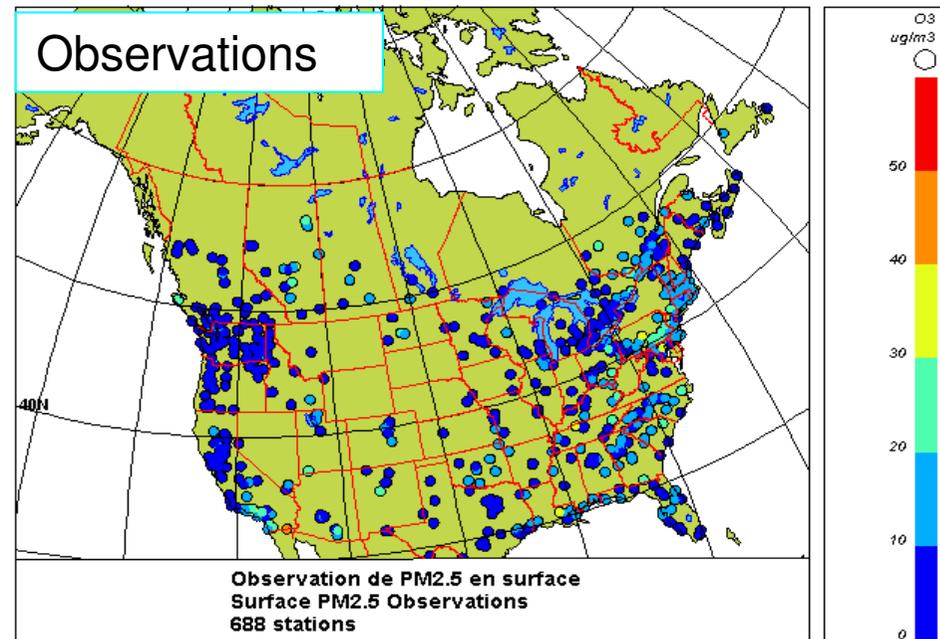
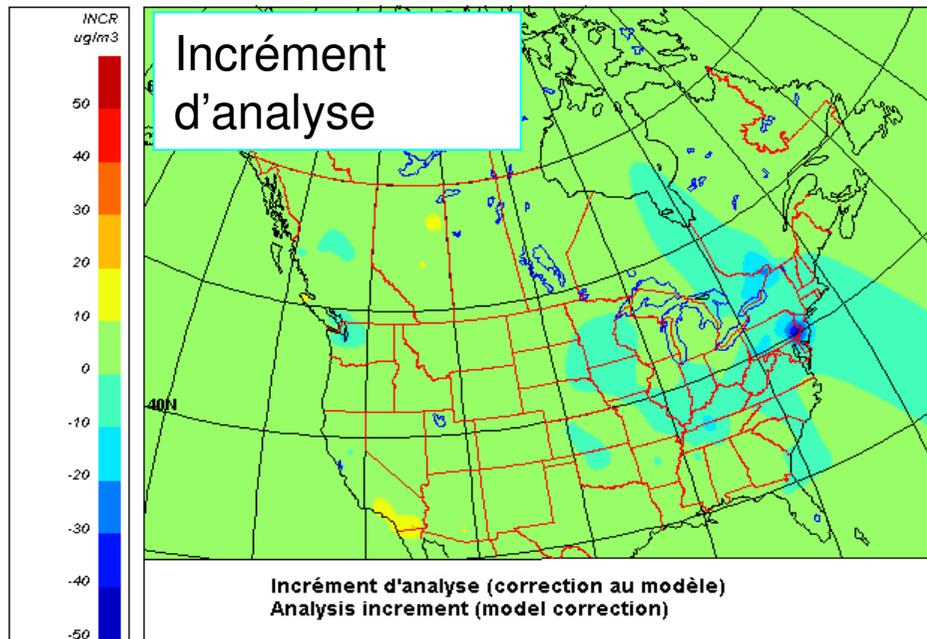
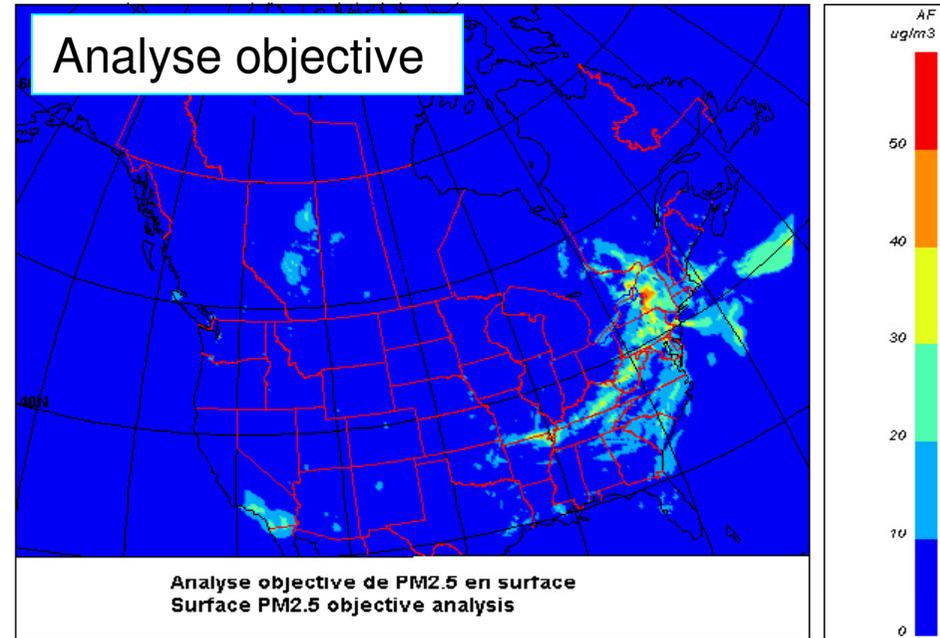
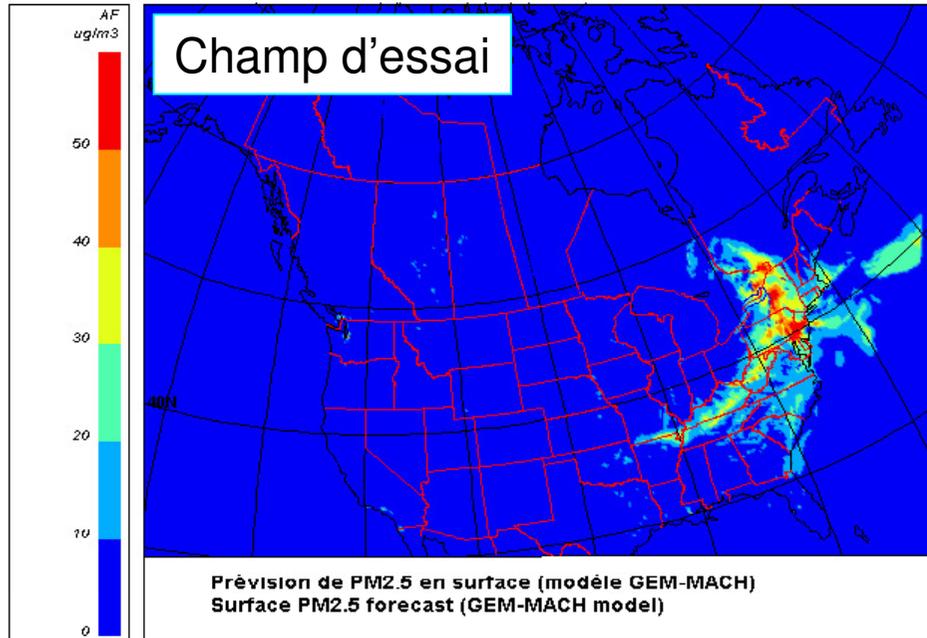


M
A
E
S
T
R
O

OZONE



PM2.5



Vérification & validation

(faits avec GEM-MACH15)

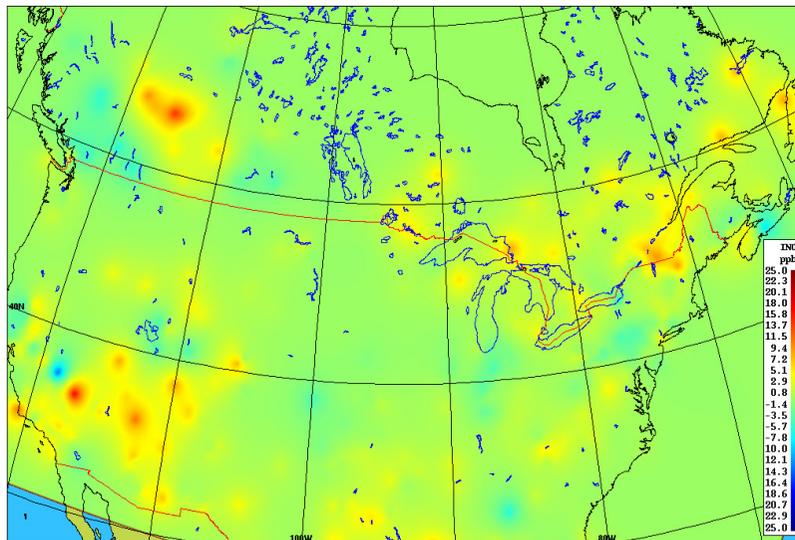
- 1) inspection des incréments d'analyse
- 2) vérification interne: vérif avec obs vues par analyse (monitoring)
- 3) vérification externe: validation croisée ou validation avec des observations indépendantes de l'analyse
(90%-10% O₃ ;PM2.5 AIRNOW data et stations canadiennes)
3 validation tests (1,11,21,31....4,14,24....7,17,27,....)

- **Métriques:**
 - Moy OmP**: pour détecter les erreurs systématiques (biais)
 - Std dev OmP**: pour détecter les erreurs aléatoires (précision)
 - FC2**: pour évaluer la fiabilité (Chang & Hanna, 2004)
FC2 est la fréquence des valeurs correctes avec un facteur 2.
(pas sensible aux outliers, erreurs compensatoires,etc)
FC2= fréquence O/P entre 0.5 et 2.0

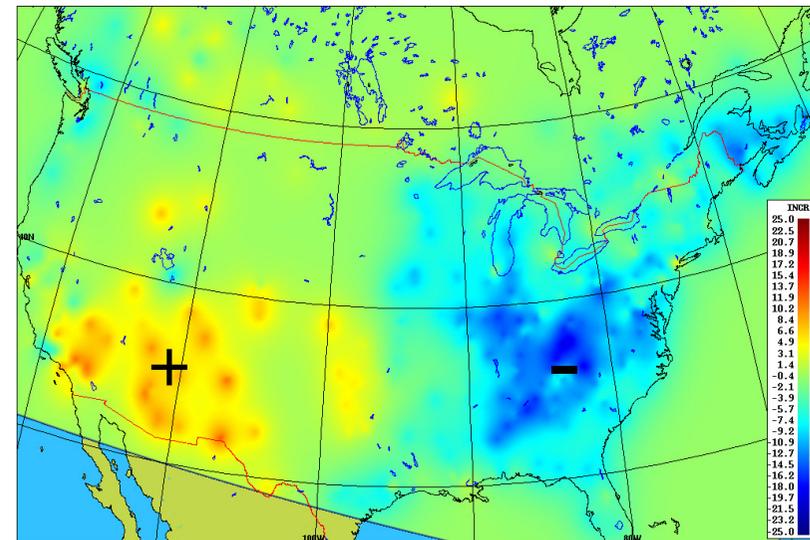
Inspection des incréments d'analyse

OZONE

January 2012



July 2011

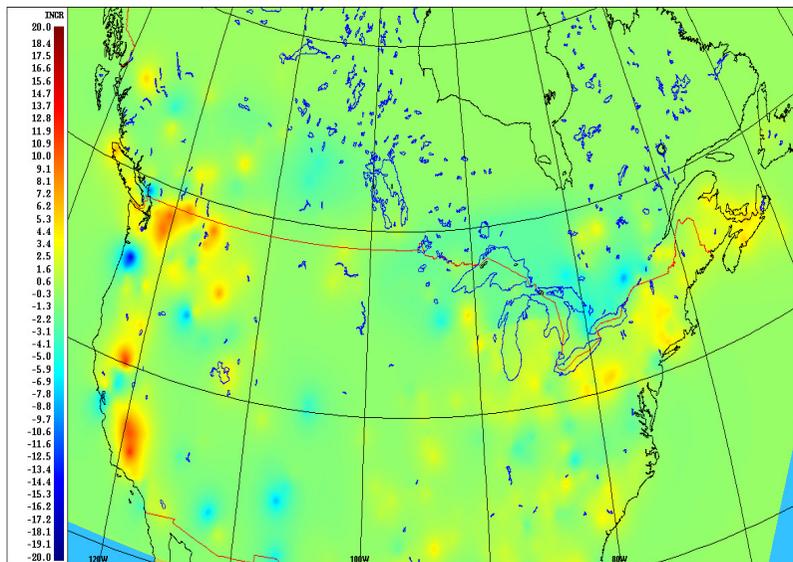


- Variabilité spatiale et saisonnière
- Dipôle
- Identification de bugs

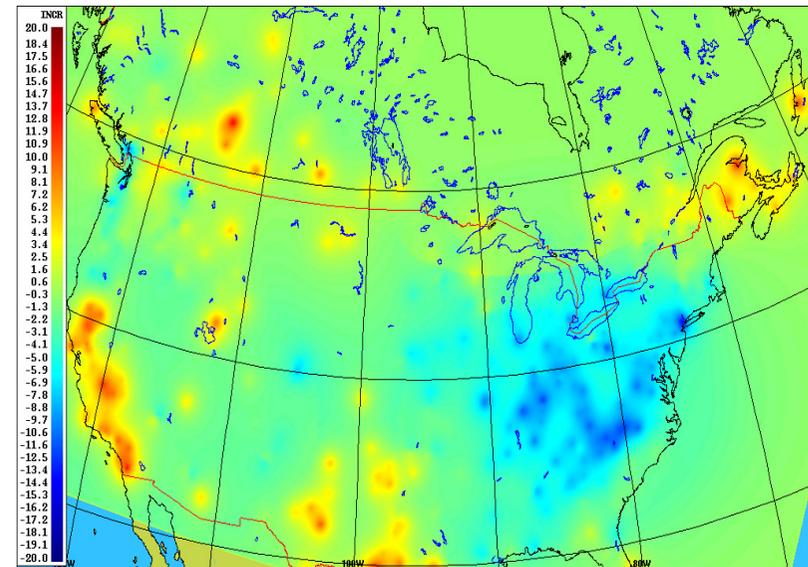
Inspection des incréments d'analyse

PM2.5

January 2012

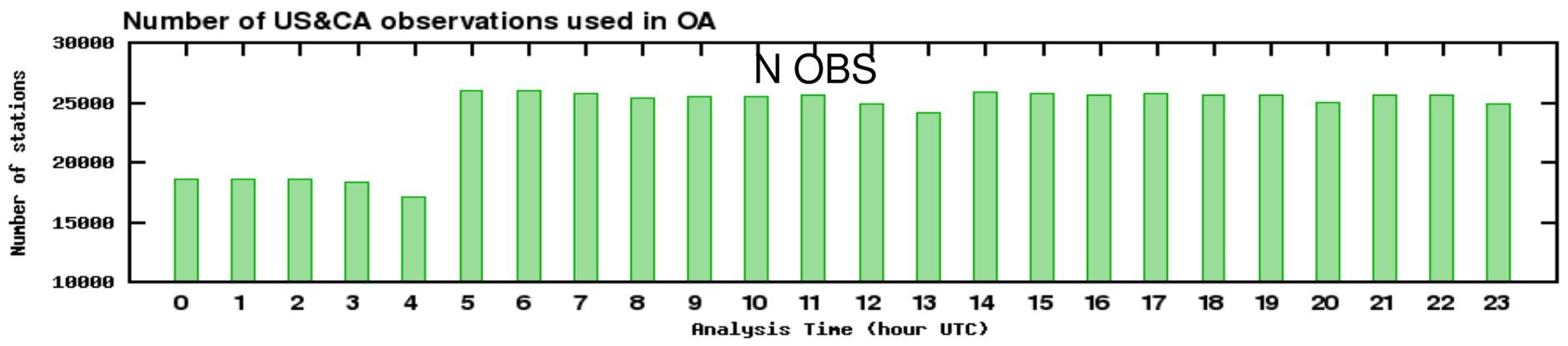
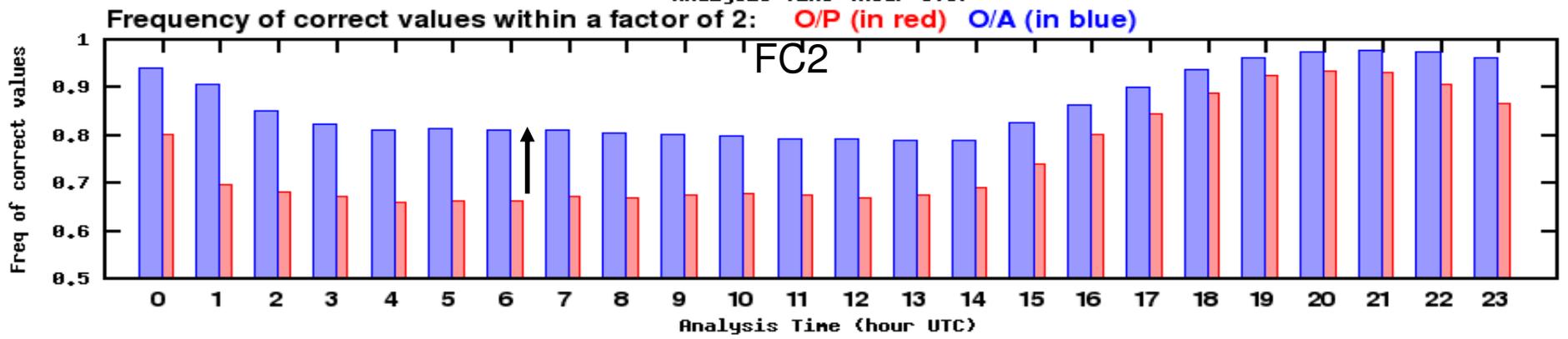
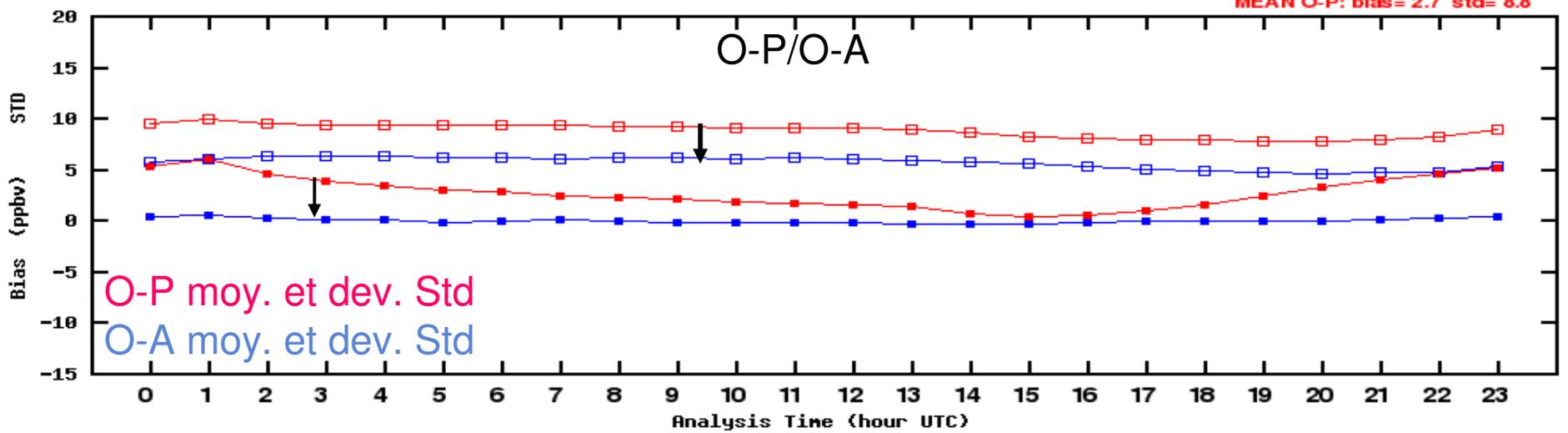


July 2011



Monthly Mean: OZONE CA & US stations, NA: January 2012 OZONE -JANVIER

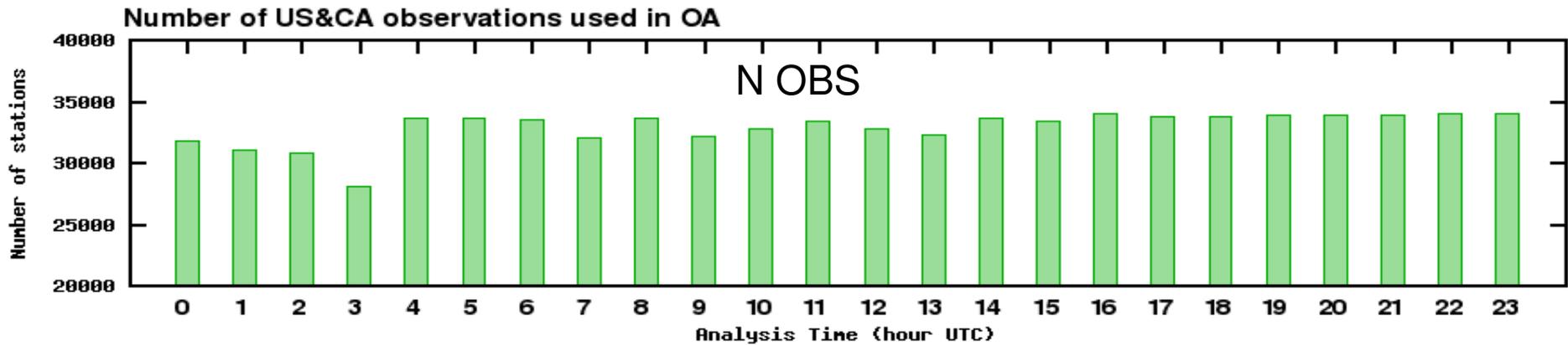
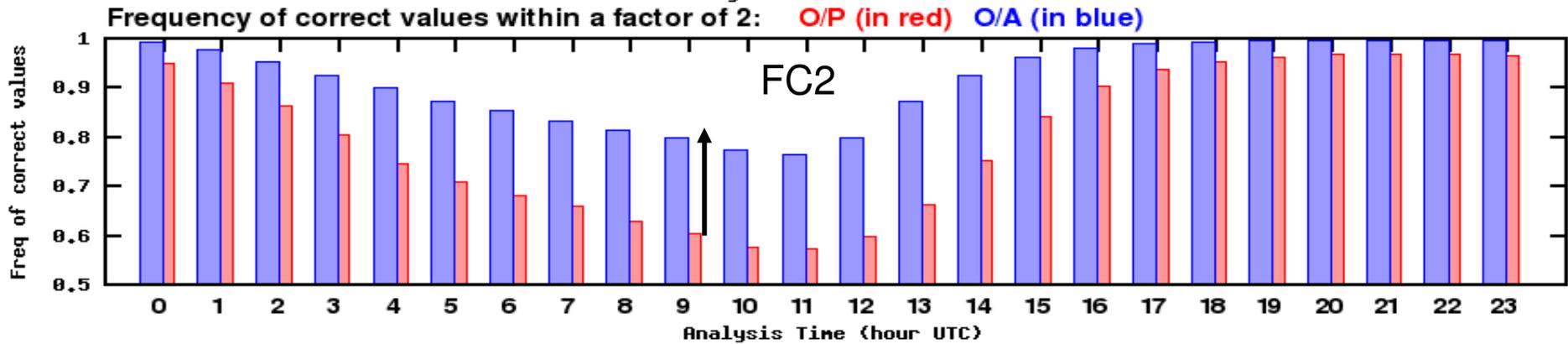
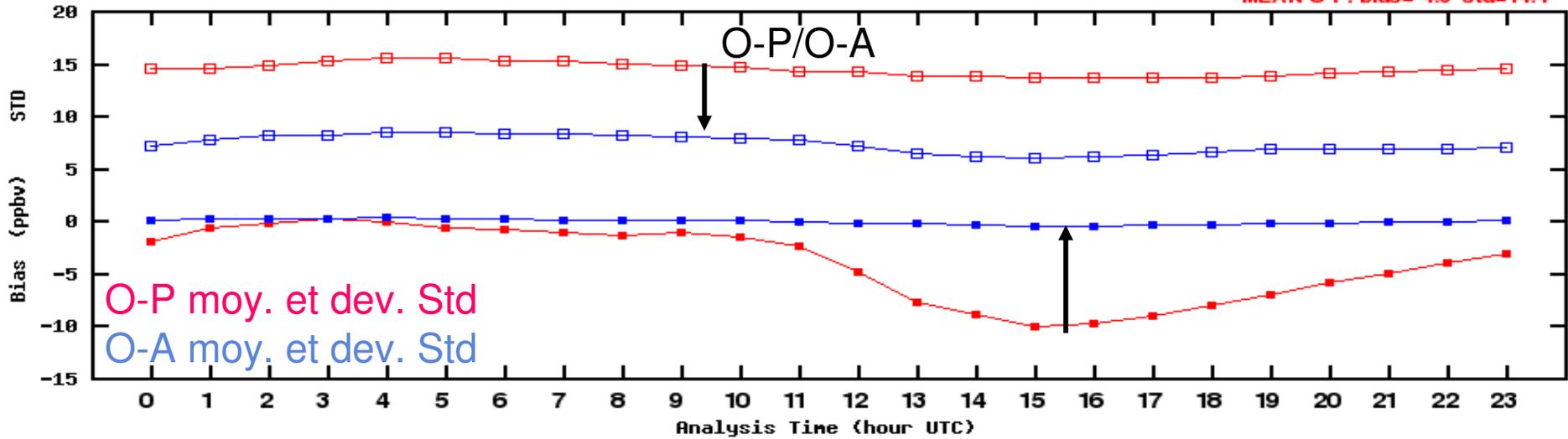
MEAN O-A: bias=-0.1 std= 5.6
 MEAN O-P: bias= 2.7 std= 8.8



Monthly Mean: OZONE CA & US stations, NA: July 2011

OZONE -JUILLET

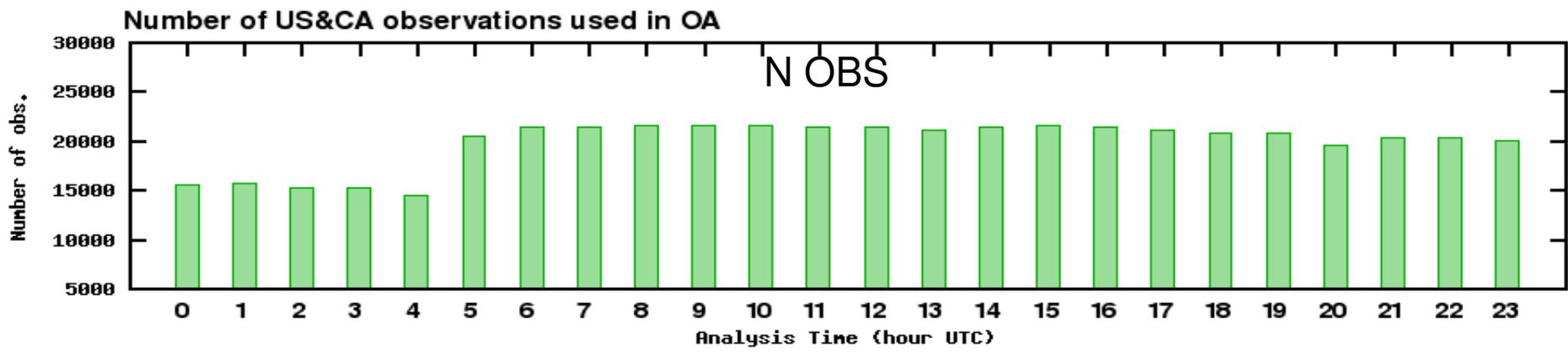
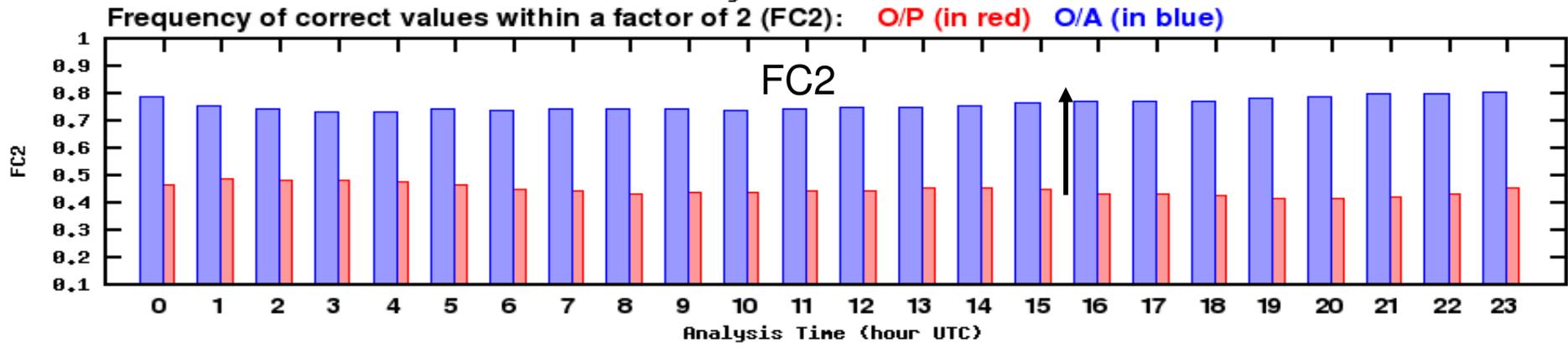
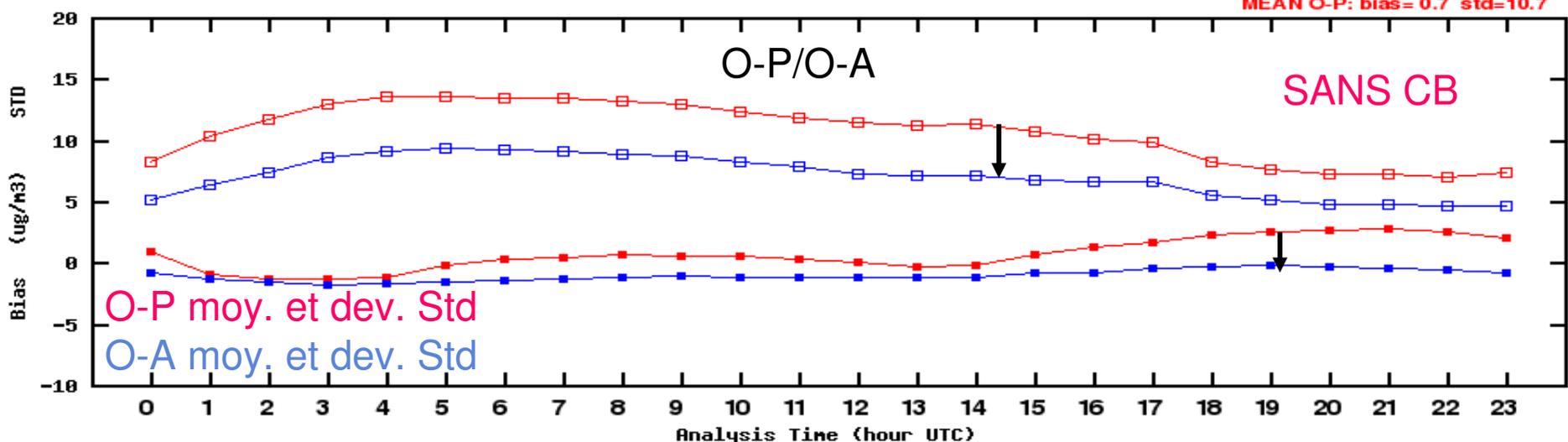
MEAN O-A: bias=-0.1 std= 7.3
MEAN O-P: bias=-4.0 std=14.4



Monthly Mean: PM2.5 CA & US stations, NA: January 2012

PM2.5 - JANVIER

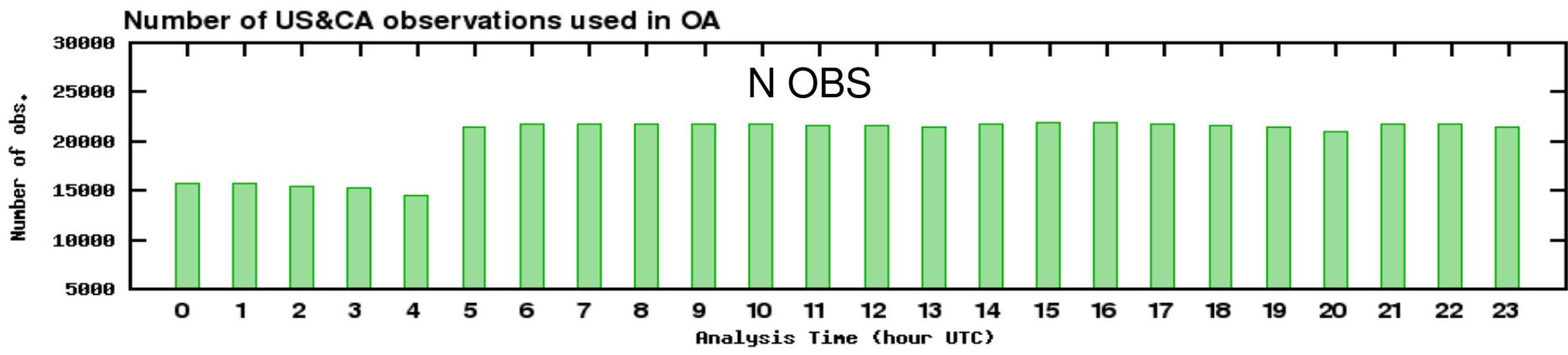
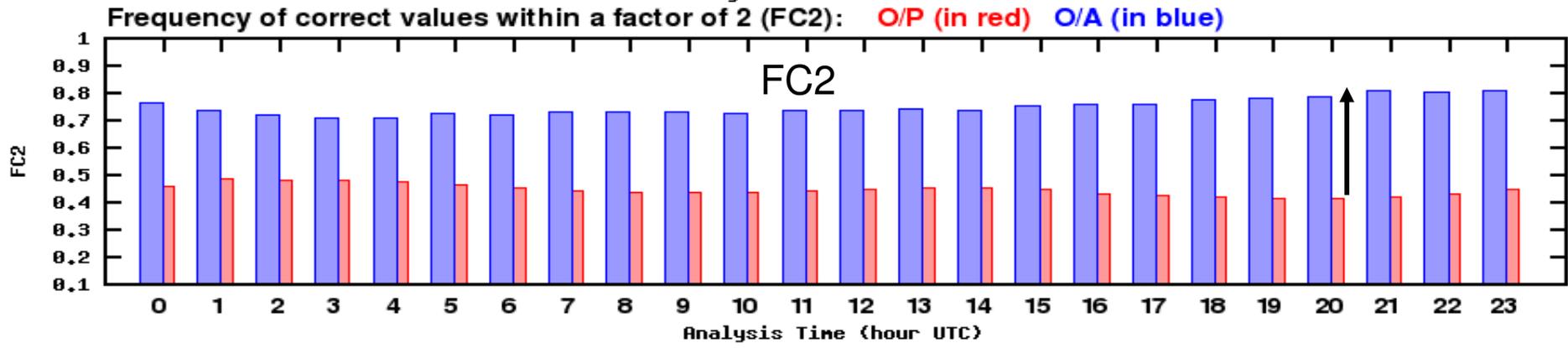
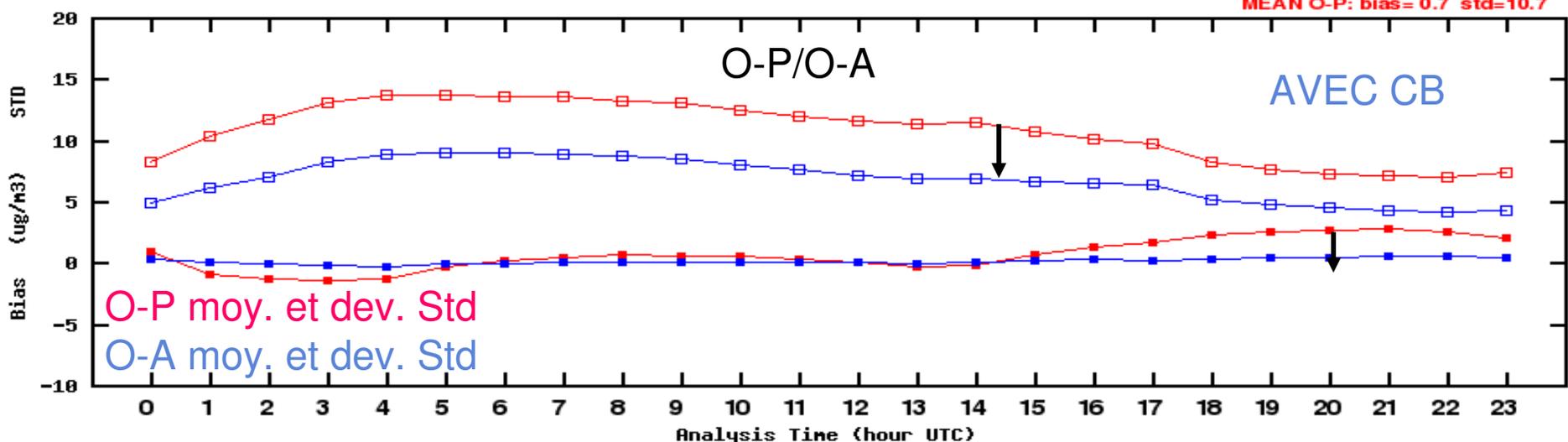
MEAN O-A: bias=-1.0 std= 7.0
 MEAN O-P: bias= 0.7 std=10.7



Monthly Mean: PM2.5 CA & US stations, NA: January 2012

PM2.5 - JANVIER

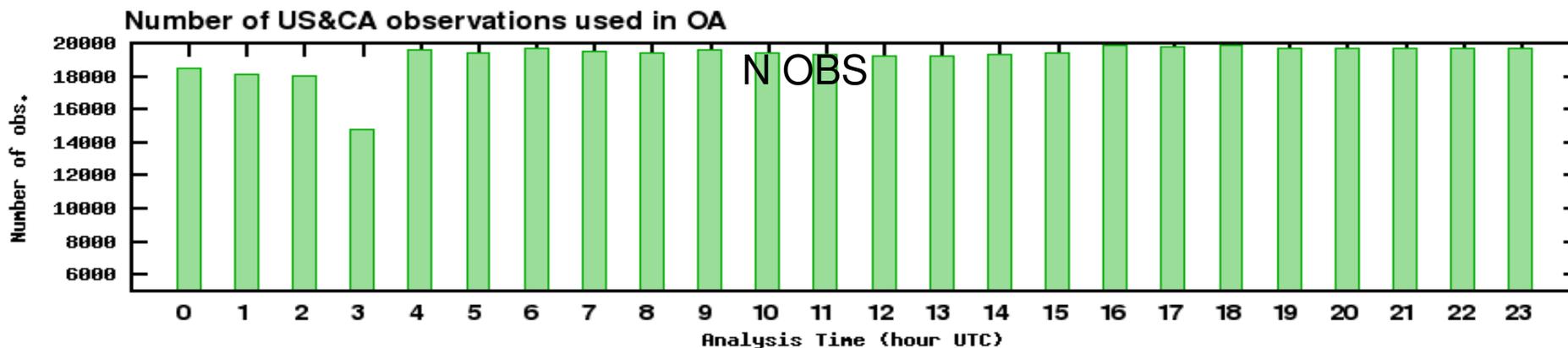
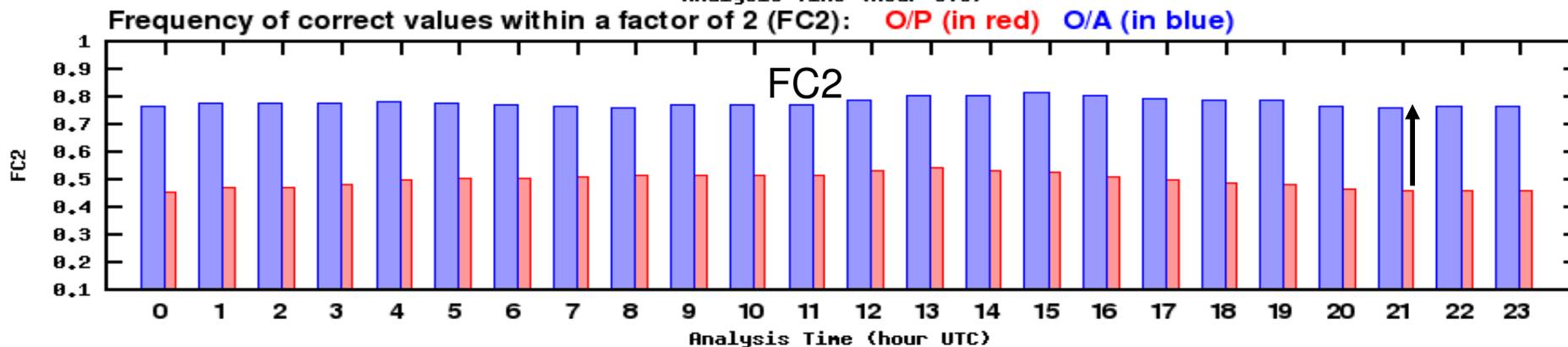
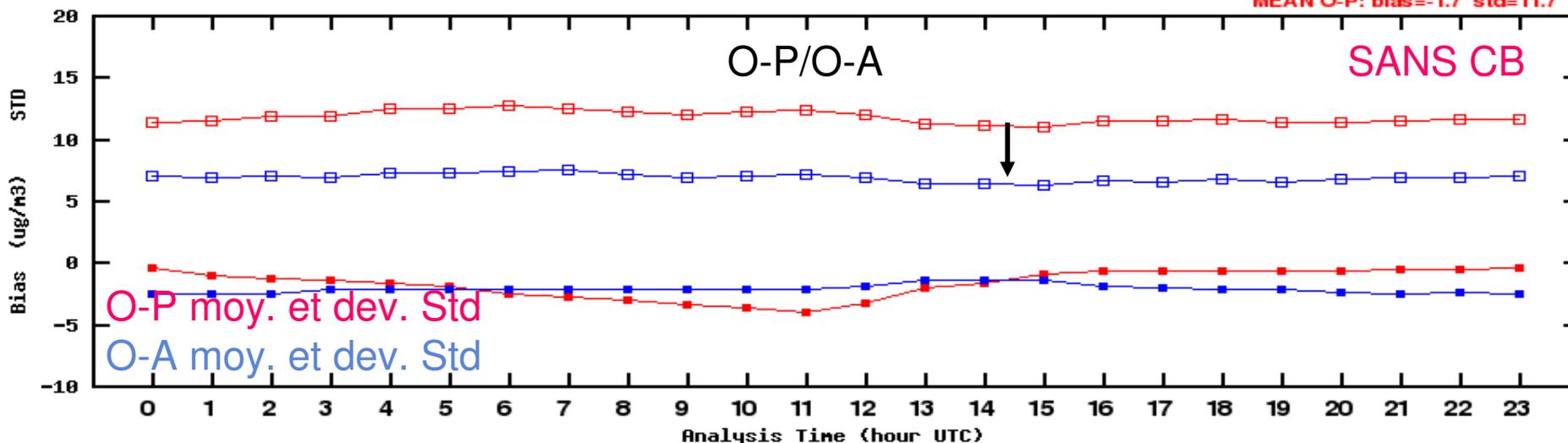
MEAN O-A: bias= 0.1 std= 6.7
 MEAN O-P: bias= 0.7 std=10.7



Monthly Mean: PM2.5 CA & US stations, NA: July 2011

PM2.5 - JUILLET

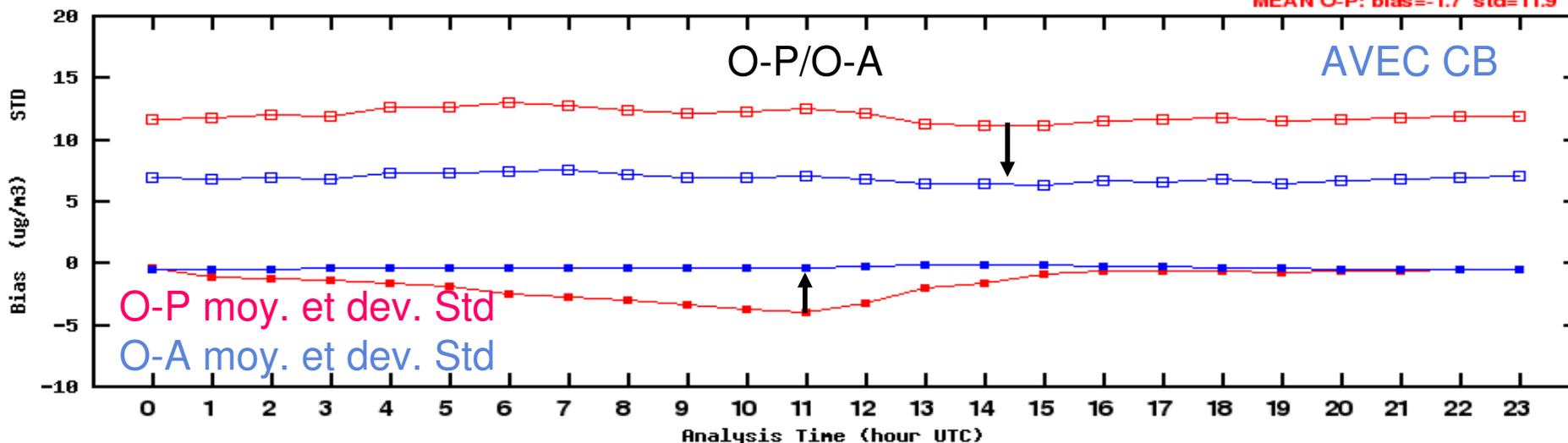
MEAN O-A: bias=-2.2 std= 6.9
MEAN O-P: bias=-1.7 std=11.7



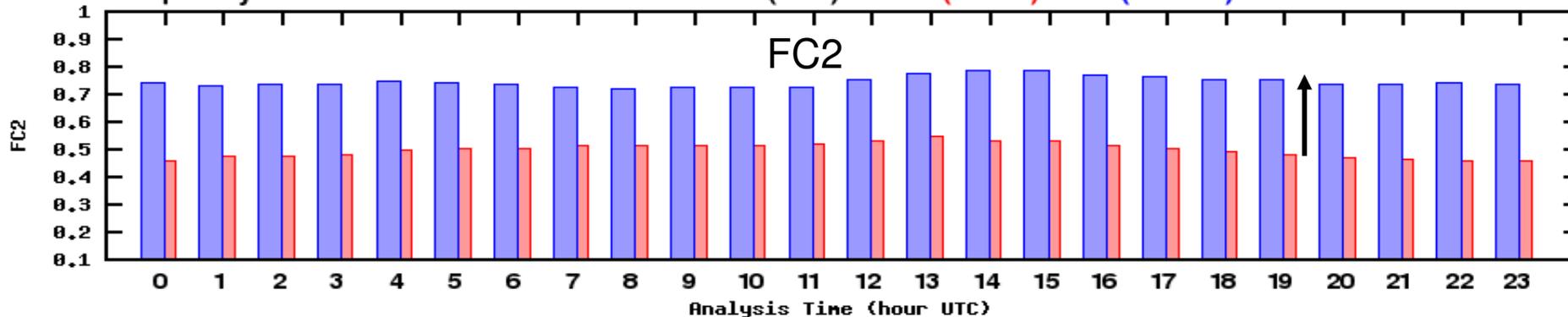
Monthly Mean: PM2.5 CA & US stations, NA: July 2011

PM2.5 - JUILLET

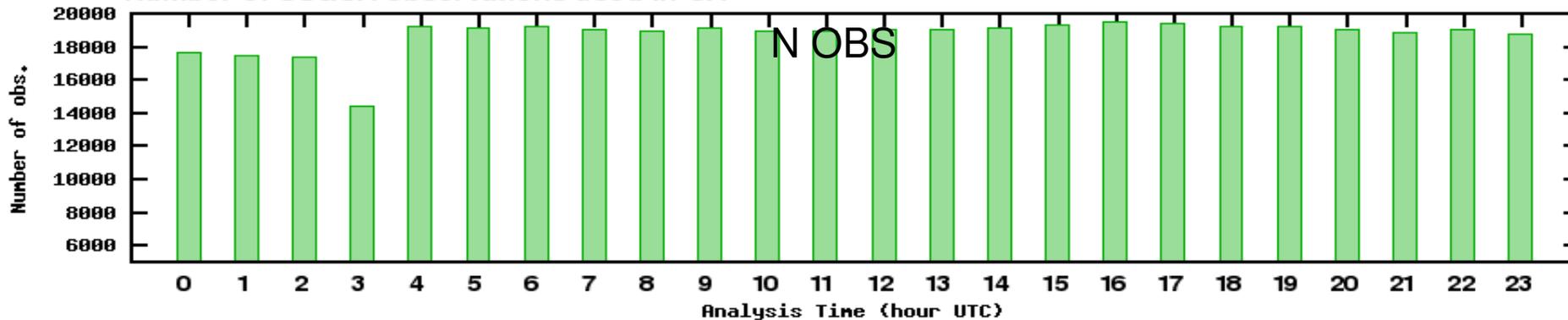
MEAN O-A: bias=-0.4 std= 6.8
 MEAN O-P: bias=-1.7 std=11.9



Frequency of correct values within a factor of 2 (FC2): O/P (in red) O/A (in blue)



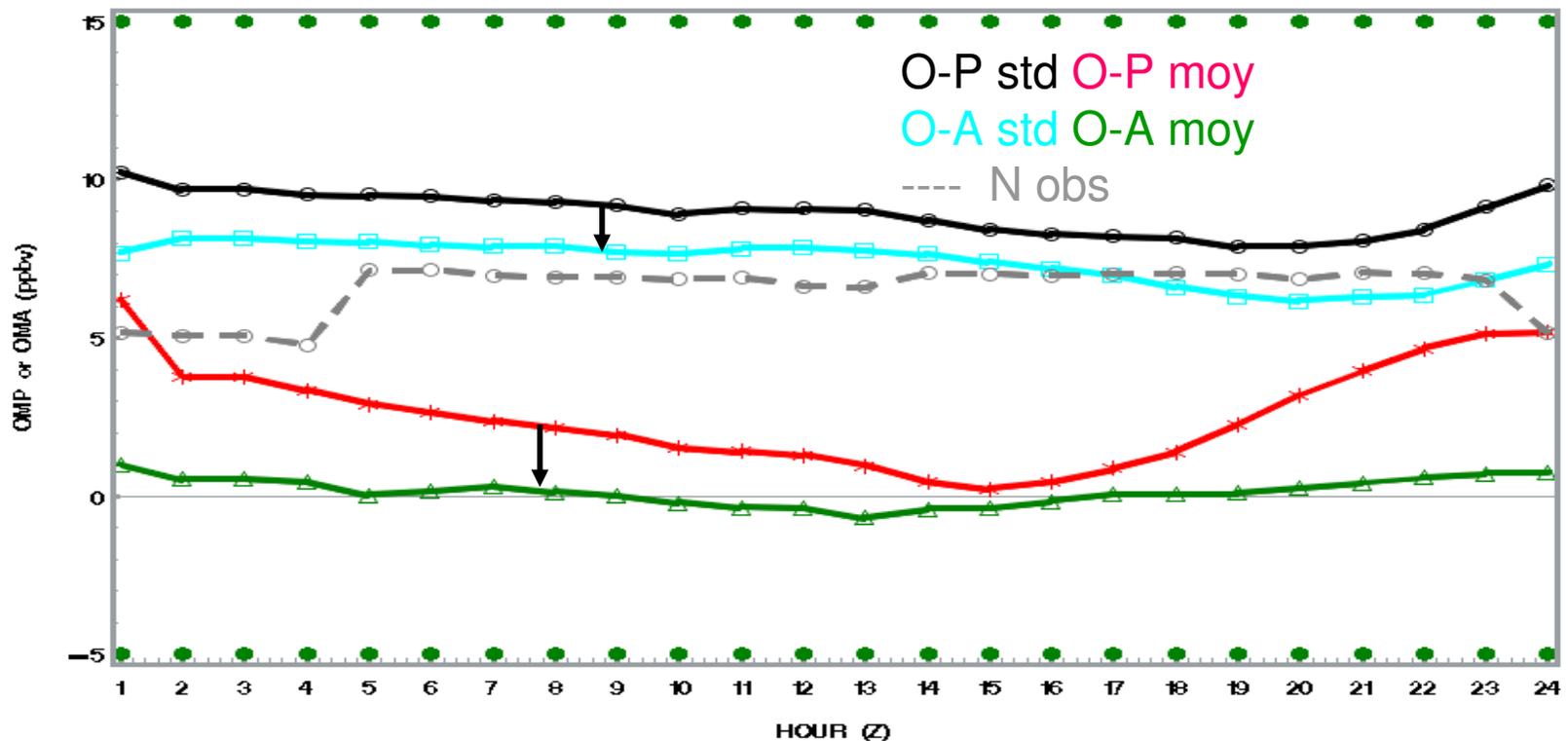
Number of US&CA observations used in OA



Ozone – janvier 2012

Validation croisée

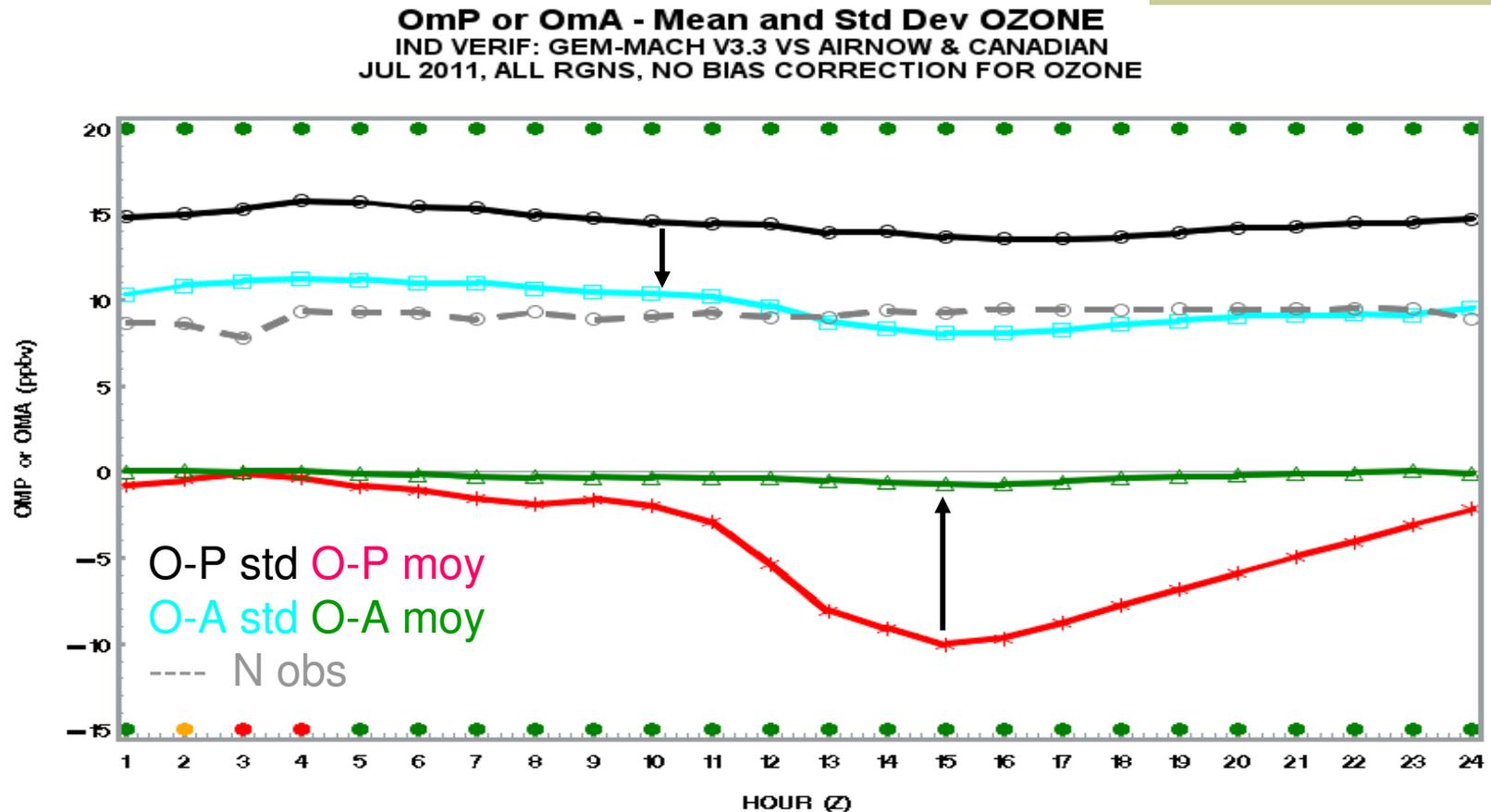
OmP or OmA - Mean and Std Dev OZONE
 IND VERIF: GEM-MACH V3.3 VS AIRNOW & CANADIAN
 JAN 2012, ALL RGNS, NO BIAS CORRECTION FOR OZONE



GRAY DASHED CURVE IS NB DATA (X 1000)
 F-TEST and T-TEST: GREEN $p < 0.05$, YELLOW $p < 0.10$, RED $p > 0.10$

Ozone – juillet 2011

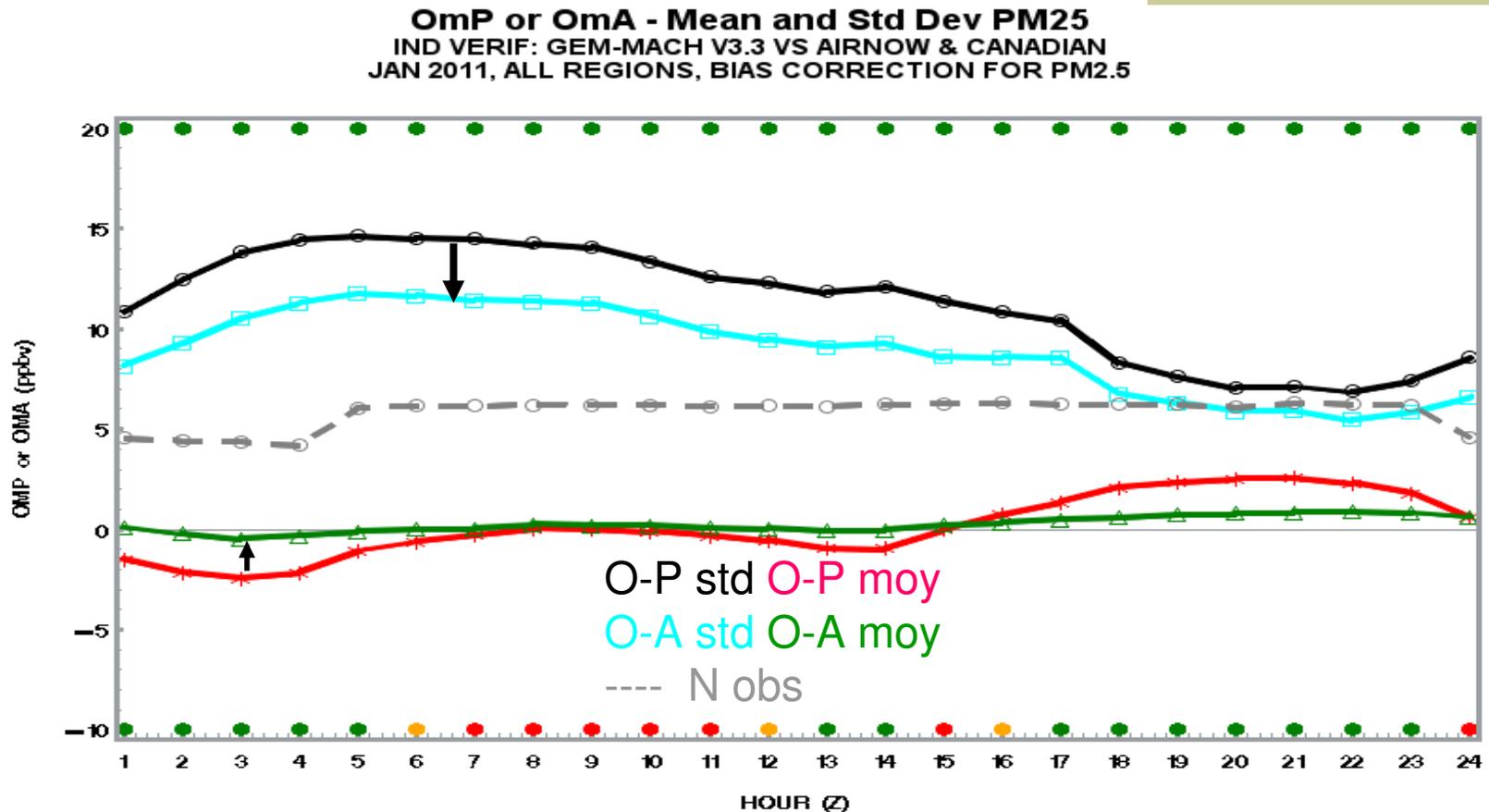
Validation croisée



GRAY DASHED CURVE IS NB DATA (X 1000)
F-TEST and T-TEST: GREEN $p < 0.05$, YELLOW $p < 0.10$, RED $p > 0.10$

PM2.5 – Jan 2012

validation croisée (avec correction de biais)

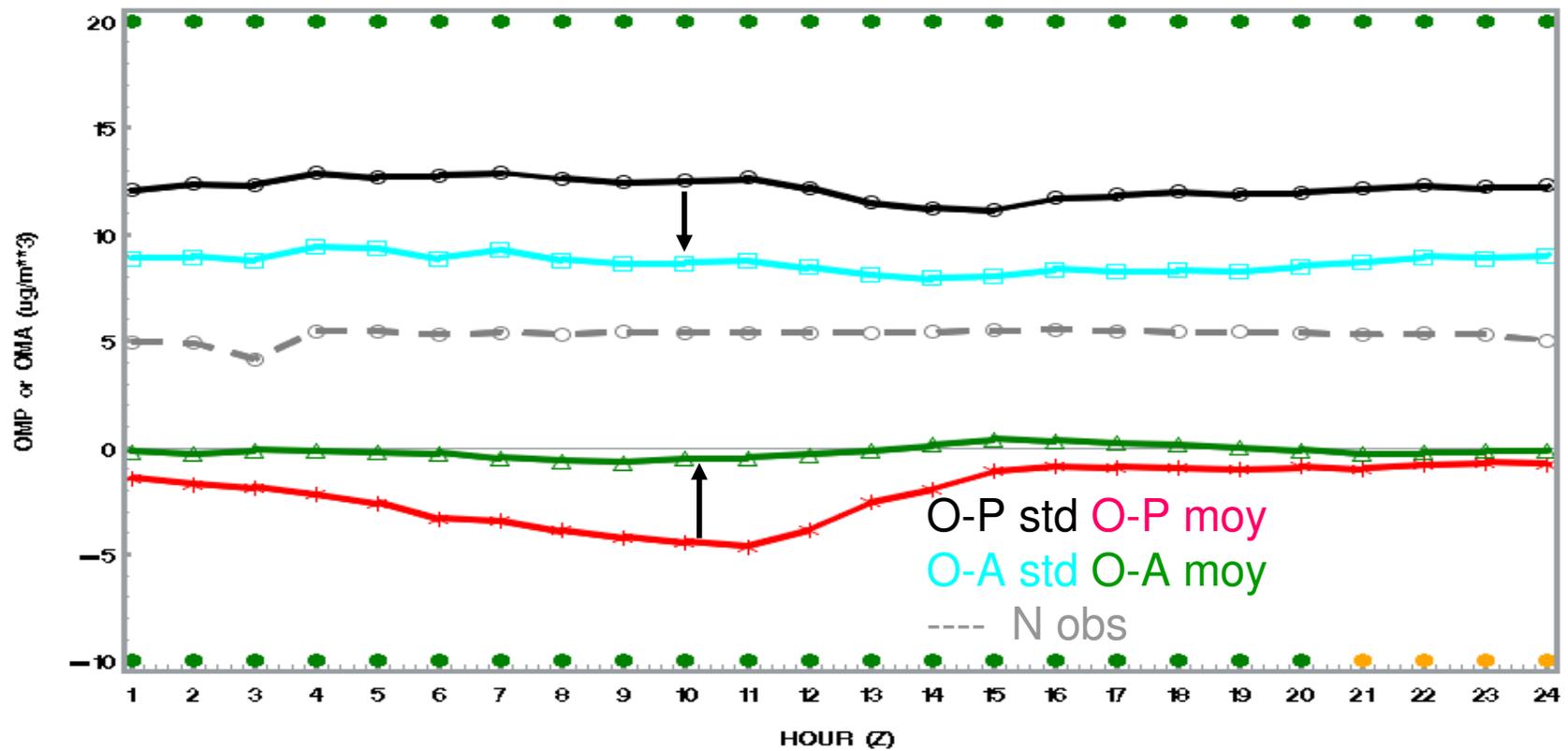


GRAY DASHED CURVE IS NB DATA (X 1000)
F-TEST and T-TEST: GREEN $p < 0.05$, YELLOW $p < 0.10$, RED $p > 0.10$

PM2.5 – juillet 2012

validation croisée (avec correction de biais)

OmP or OmA - Mean and Std Dev PM25
IND VERIF: GEM-MACH V3.3 VS AIRNOW & CANADIAN
JUL 2011, ALL NA, BIAS CORRECTION FOR PM2.5



GRAY DASHED CURVE IS NB DATA (X 1000)
F-TEST and T-TEST: GREEN $p < 0.05$, YELLOW $p < 0.10$, RED $p > 0.10$

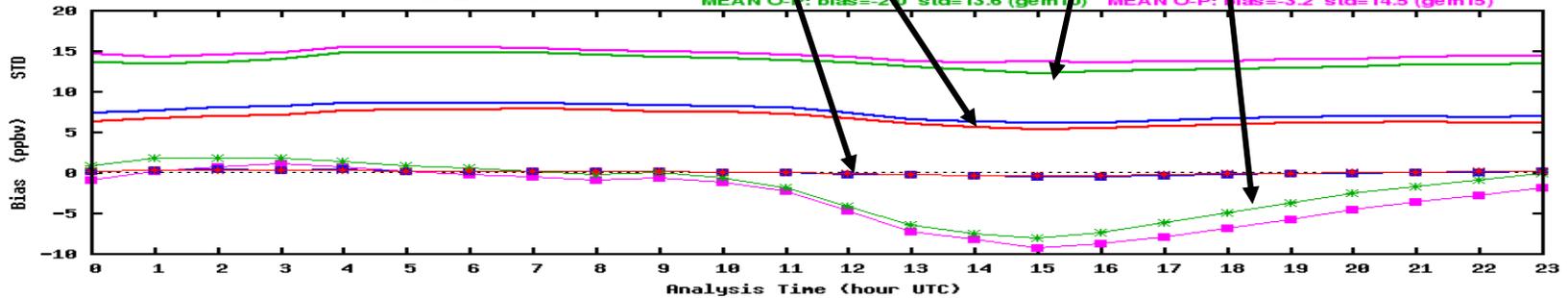
Impact du passage au GEM-MACH10 vs GEM-MACH15

GEM-MACH10 OmA

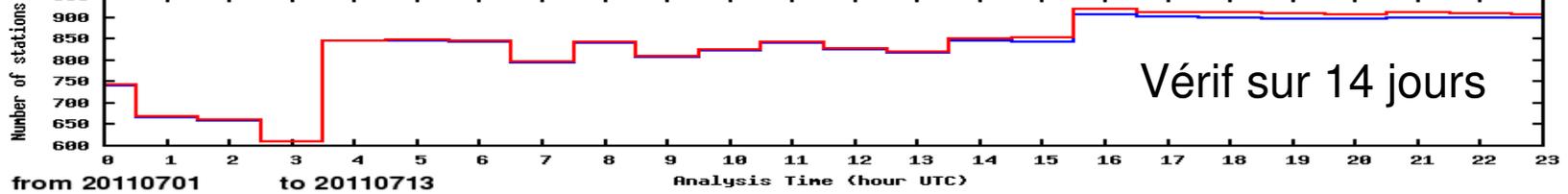
GEM-MACH10 OmP

OZONE, All Stations NA:

Ozone

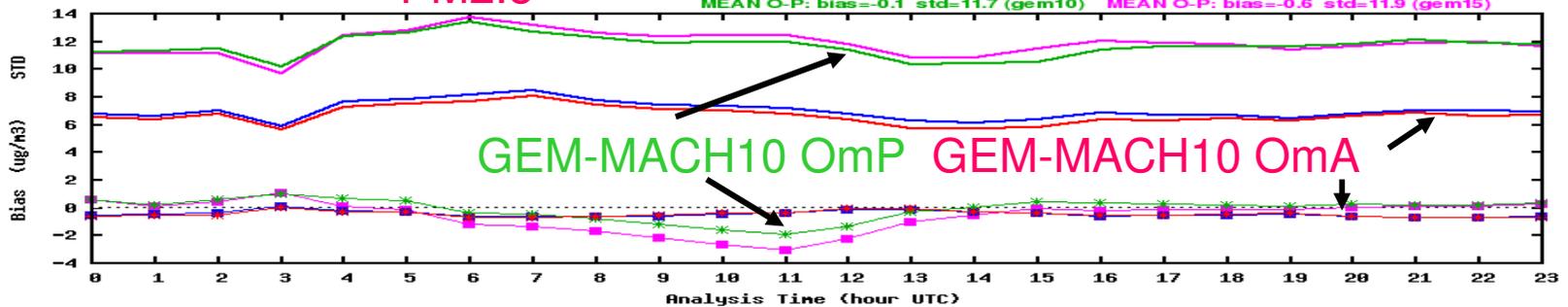


Number of US&CA stations used in AO: NA

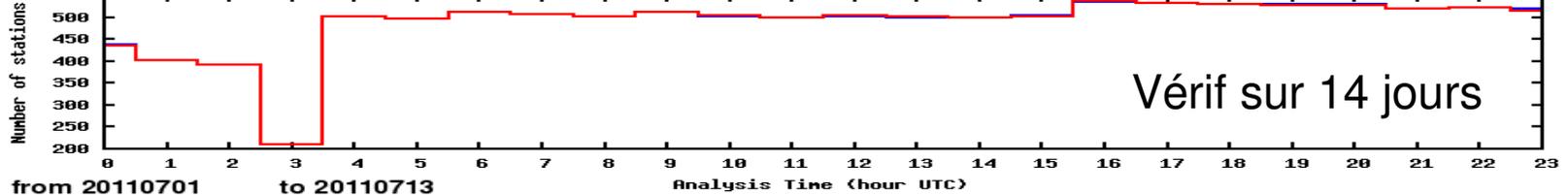


PM2.5, All Stations NA:

PM2.5



Number of US&CA stations used in AO: NA



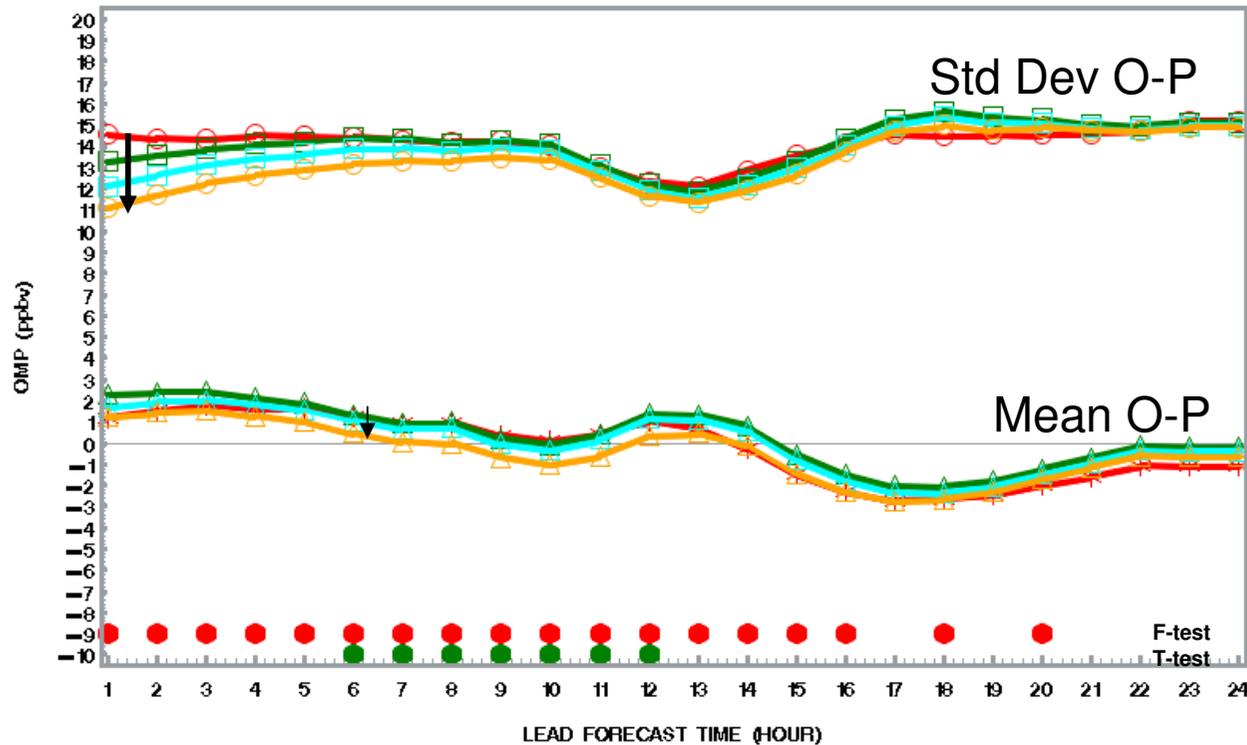
Applications

- Premier pas vers un projet d'assimilation chimique multivariée qui utiliserait aussi des données satellitaires
- Informer le public et les prévisionnistes en temps réel des conditions de pollution atmosphérique sur tout le territoire canadien et américain en offrant une analyse aux heures (near real time) et avec le moins de biais possible
- Développer une carte de la cote air-santé (CAS) en combinant les analyses objectives d'ozone, d'aérosols et d'oxyde d'azote
- Données pour les projets d'études épidémiologiques (ex. avec Jeff Brook et Santé Canada)
- Analyse climatologique de la pollution de surface – étude de tendance
- Avec des incréments d'analyse 3D produire de meilleures prévisions de qualité de l'air

Impact of data assimilation on AQ forecast

↓ gain

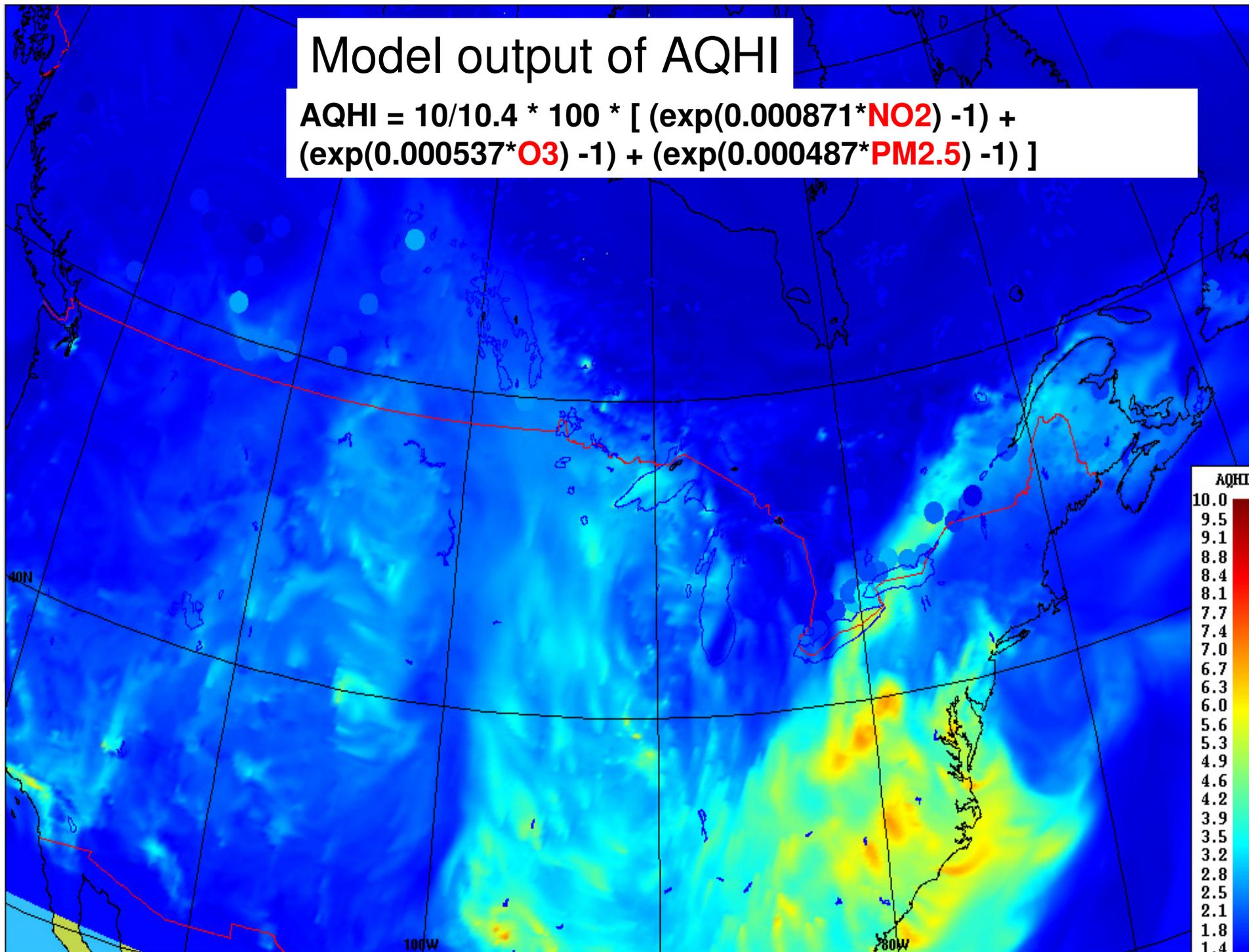
OmP - Mean and Std Dev Ozone - 00Z run
 IMPACT OF DATA ASSIMILATION: MODEL V3.3.0 + SFC OZONE OBS
 ALL NA MAY 23-30 2011 N ~ 5900 (HOURLY)



RED: NO ASSIMILATION, GREEN: ASSIMILATION SURF ONLY (NO VERTICAL PROJECTION)
 CYAN: ASSIMILATION + VERTICAL PROJECTION 4 LEVELS
 ORANGE: ASSIMILATION + VERTICAL PROJECTION 8 LEVELS

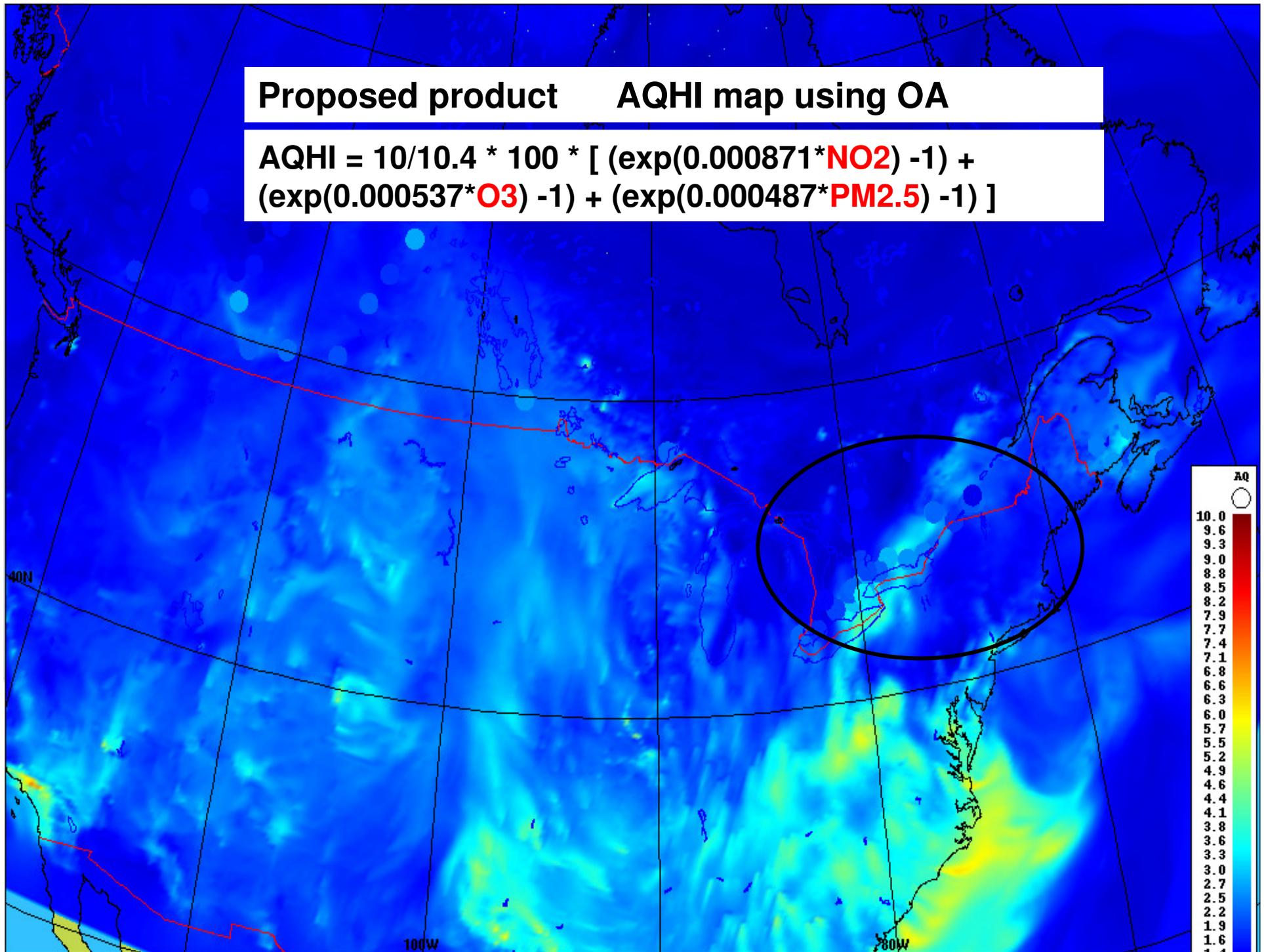
Model output of AQHI

$$\text{AQHI} = 10/10.4 * 100 * [(\exp(0.000871 * \text{NO}_2) - 1) + (\exp(0.000537 * \text{O}_3) - 1) + (\exp(0.000487 * \text{PM}_{2.5}) - 1)]$$



Proposed product AQHI map using OA

$$\text{AQHI} = 10/10.4 * 100 * [(\exp(0.000871 * \text{NO}_2) - 1) + (\exp(0.000537 * \text{O}_3) - 1) + (\exp(0.000487 * \text{PM}_{2.5}) - 1)]$$



Sommaire et conclusion

- Proposition CPOP: O₃ et PM_{2.5} OA
- Premier pas vers l'assimilation chimique (surface)
- Fournir un carte d'analyse OA des polluants chimiques (prévisionniste)
- L'analyse objective augmente significativement la précision et la fiabilité et réduit considérablement le biais dans toutes les régions et toutes les saisons pour O₃ et PM_{2.5} (par rapport aux sorties de modèles GEM-MACH)
- Plusieurs échelles sont en jeu pour les stats d'erreur et la correction de biais
- Le schème de correction de biais est un succès pour les PM_{2.5} (janvier et juillet). Pour l'ozone, il n'est pas nécessaire.
- Le passage à GEM-10km est réalisé avec succès
- Multitude d'applications (nowcasting, initialisation de modèle, mapping de CAS, climatologie des polluants, etc.)

Travaux futurs

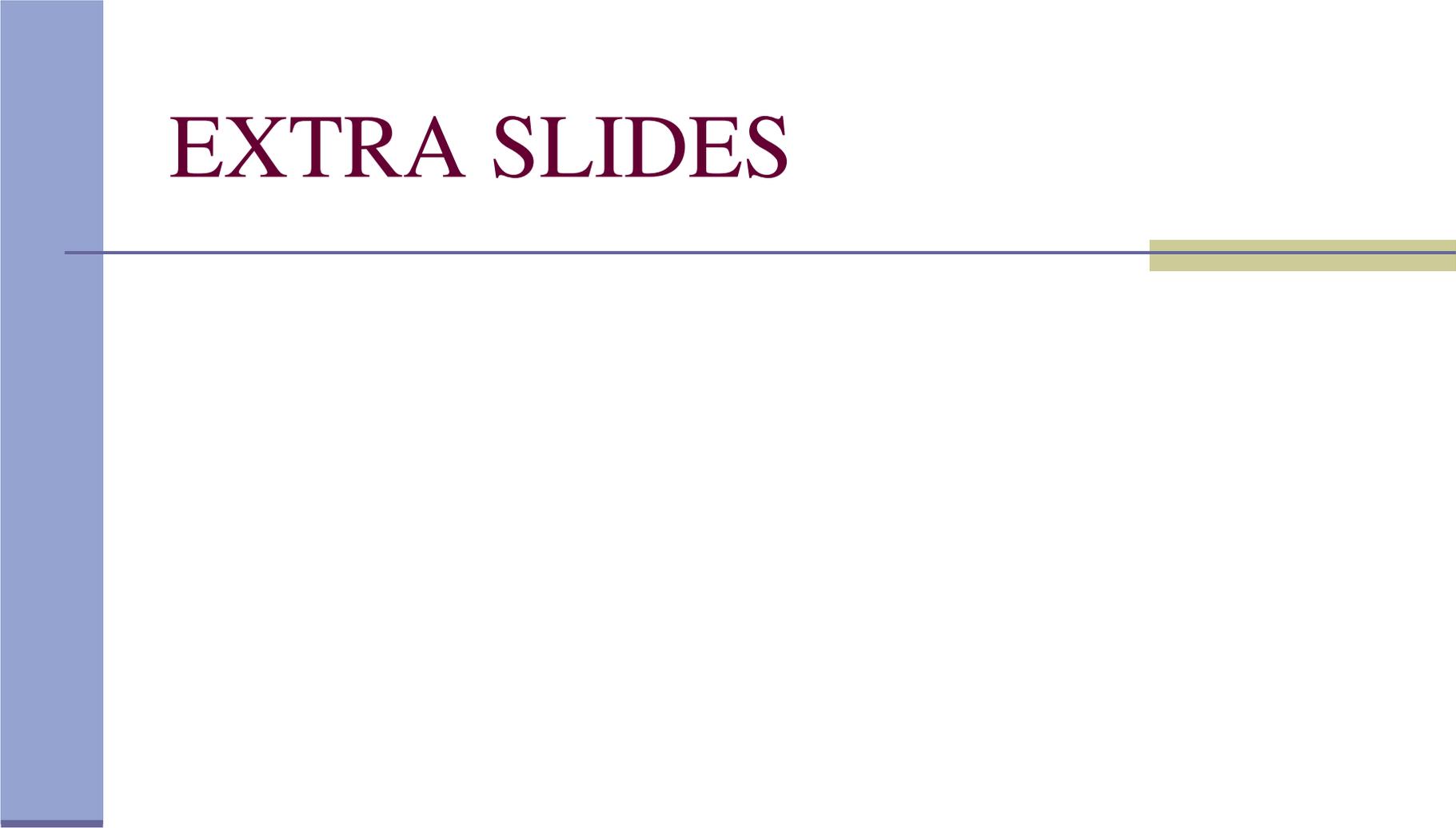
- AO pour NO₂ (2012)
- Analyse 3D. Changer le OI en utilisant des corrélations à support compact et batch processing (2012-2013)
- Assimilation multivariée des champs de surface (O₃, PM2.5 et NO₂) (2012-2013)
- Prévision d'ensemble basée sur l'analyse objective des polluants chimiques (2012-2014)
- Passage à l'assimilation avec les filtres de Kalman d'ensembles (long terme)

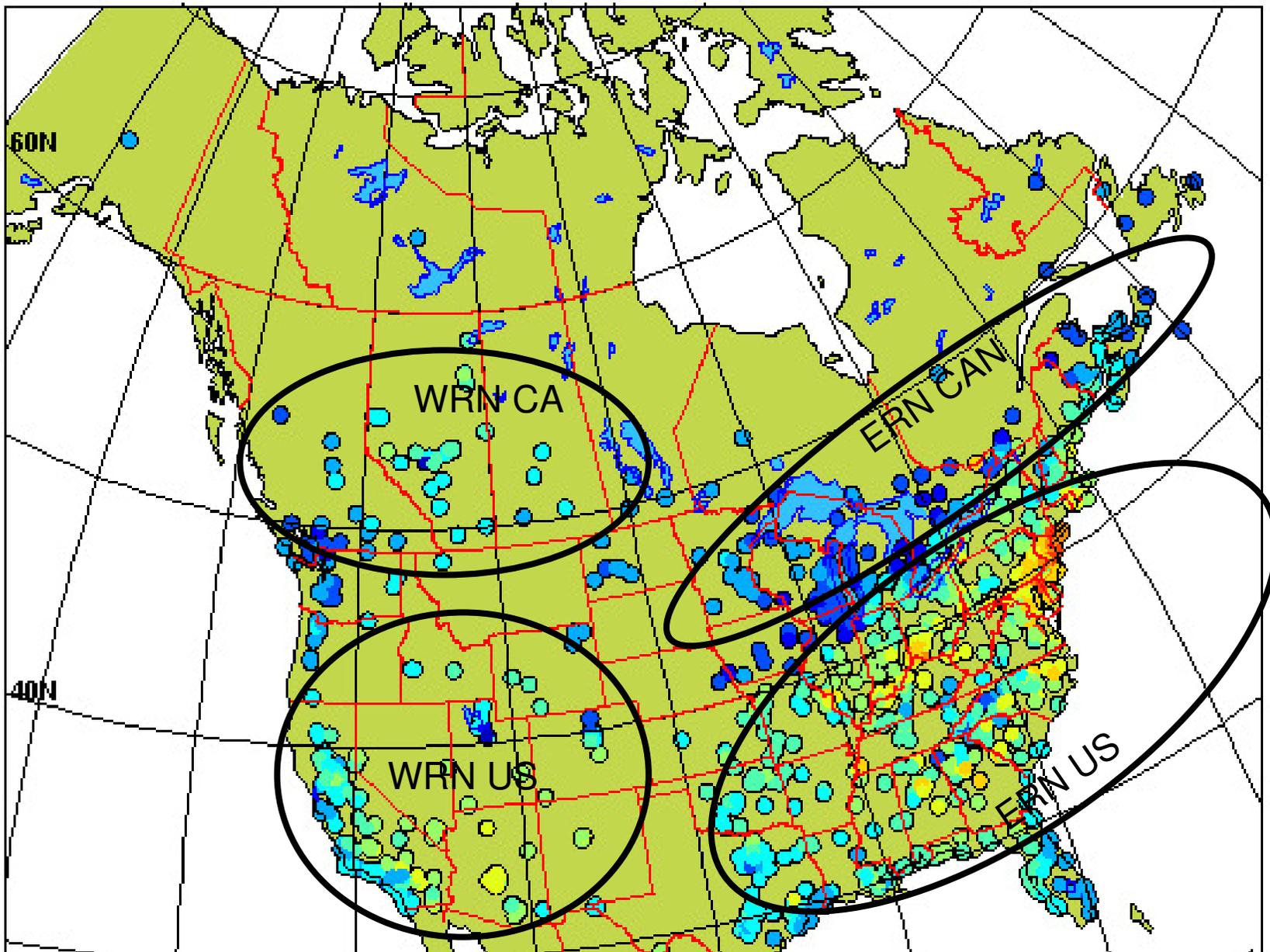
Références

- Site AQHI: <http://aqhi.cmc.ec.gc.ca/>
- Cartes d'analyse objective:
- http://iweb.cmc.ec.gc.ca/~afsd003/analyseobjective_sql/

- A. Robichaud et R.Ménard. Rapport interne. <http://web-mrb.cmc.ec.gc.ca/mrb/rpn/publications/fr/2003.php>
- **Ménard R. and A. Robichaud, 2005. The Chemistry-Forecast System at the Meteorological Service of Canada. pp. 297-308. ECMWF Annual Seminars**
- http://iweb.cmc.ec.gc.ca/~arqjaro/arqj_Webpage.html
- Ménard et Robichaud, 2012. Objective analysis and assimilation of AIRNow surface observations. Mon. Wea. Rev. (en préparation)

EXTRA SLIDES

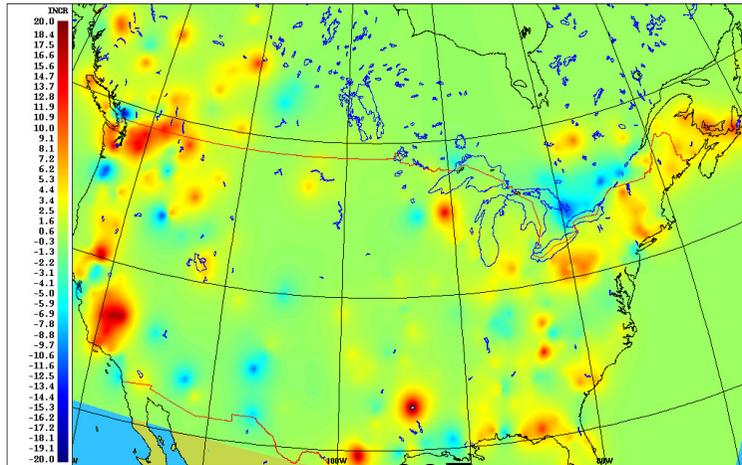




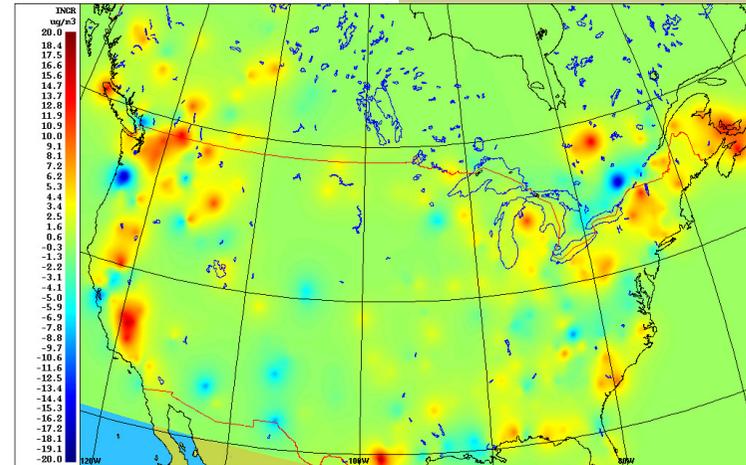
Obs sites and regional avg for 4 regions



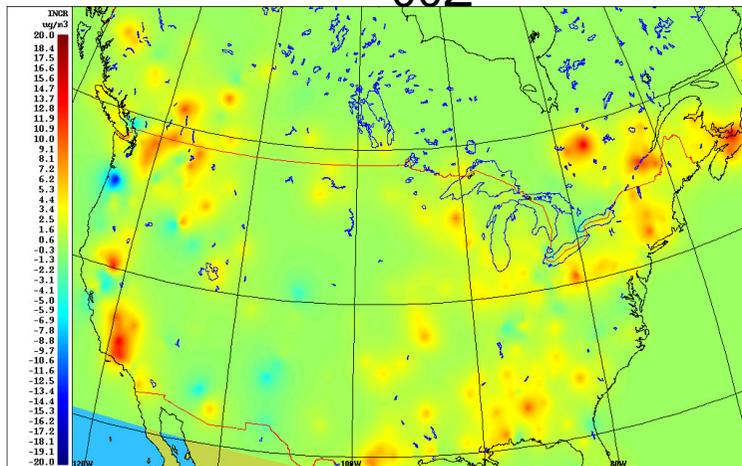
Moy ANAL INCR PM2.5, Sans BC Jan 2012



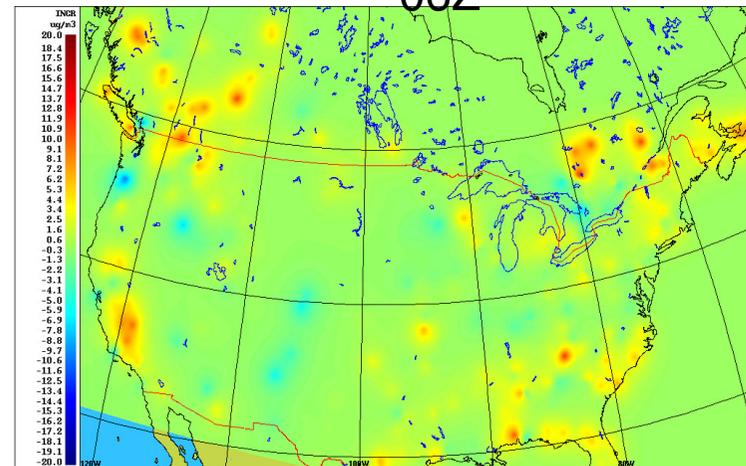
00Z



06Z

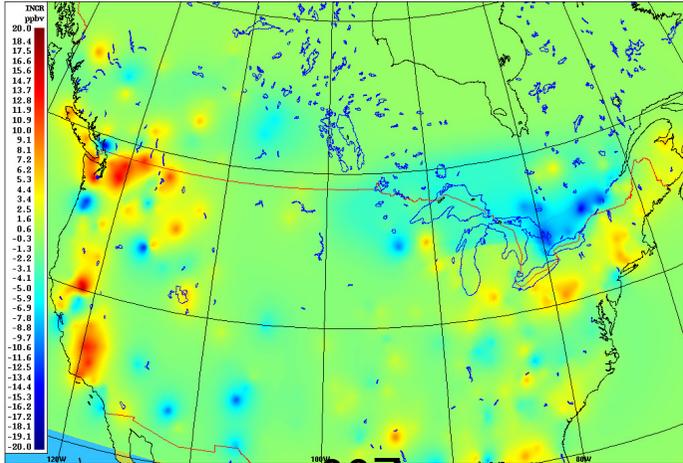


12Z

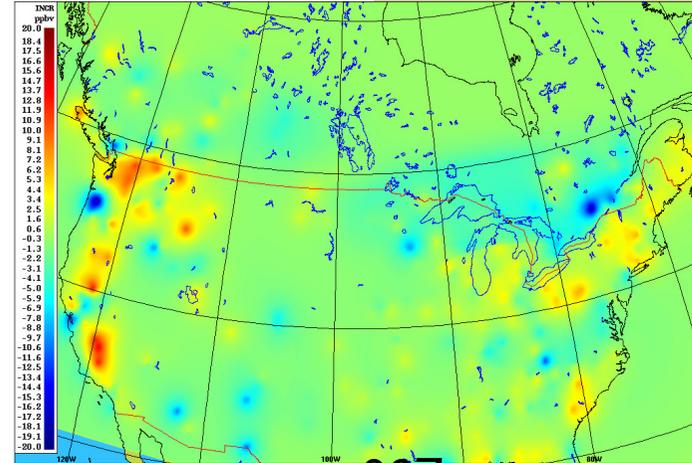


18Z

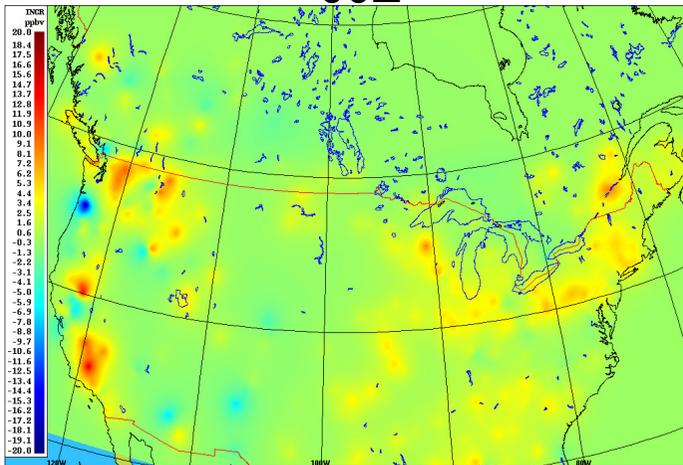
Moy ANAL INCR PM2.5, Avec BC Jan 2012



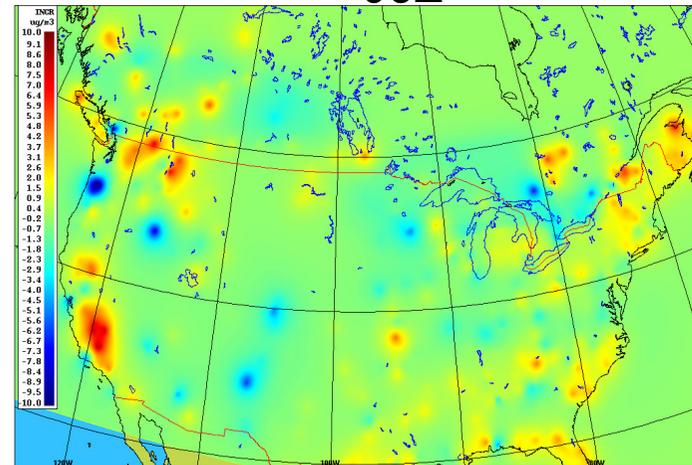
00Z



06Z



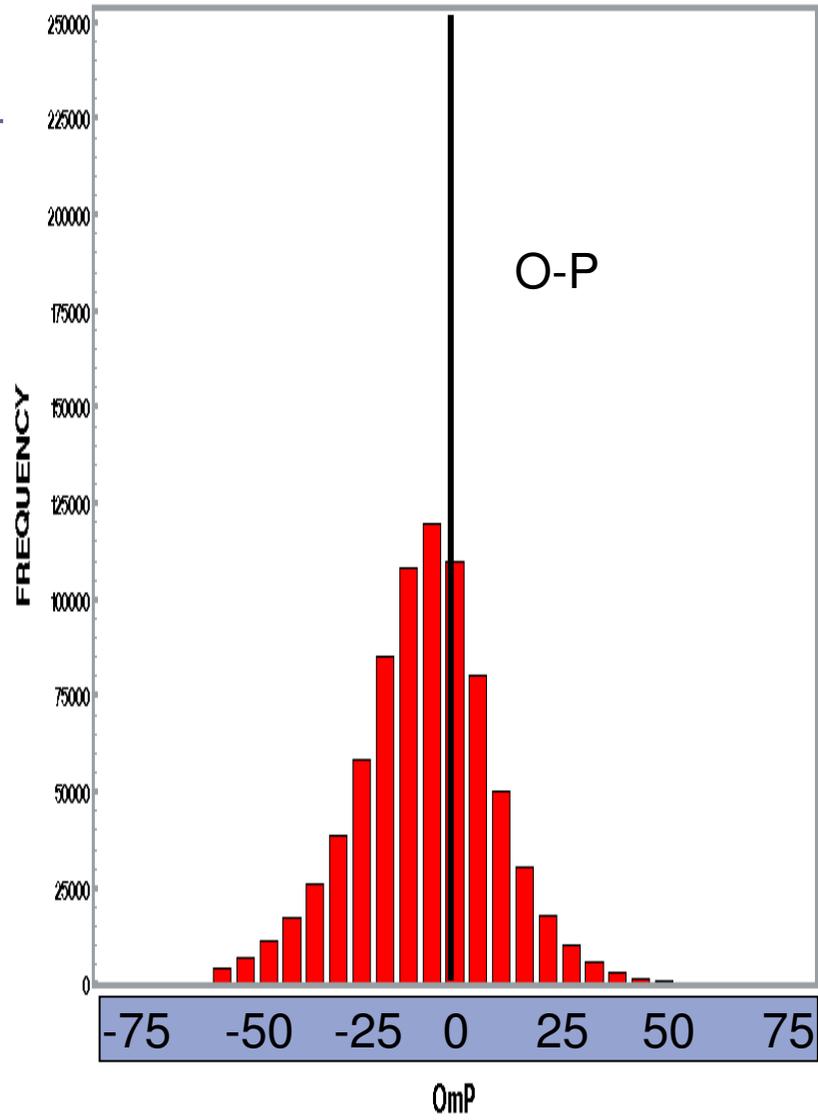
12Z



18Z

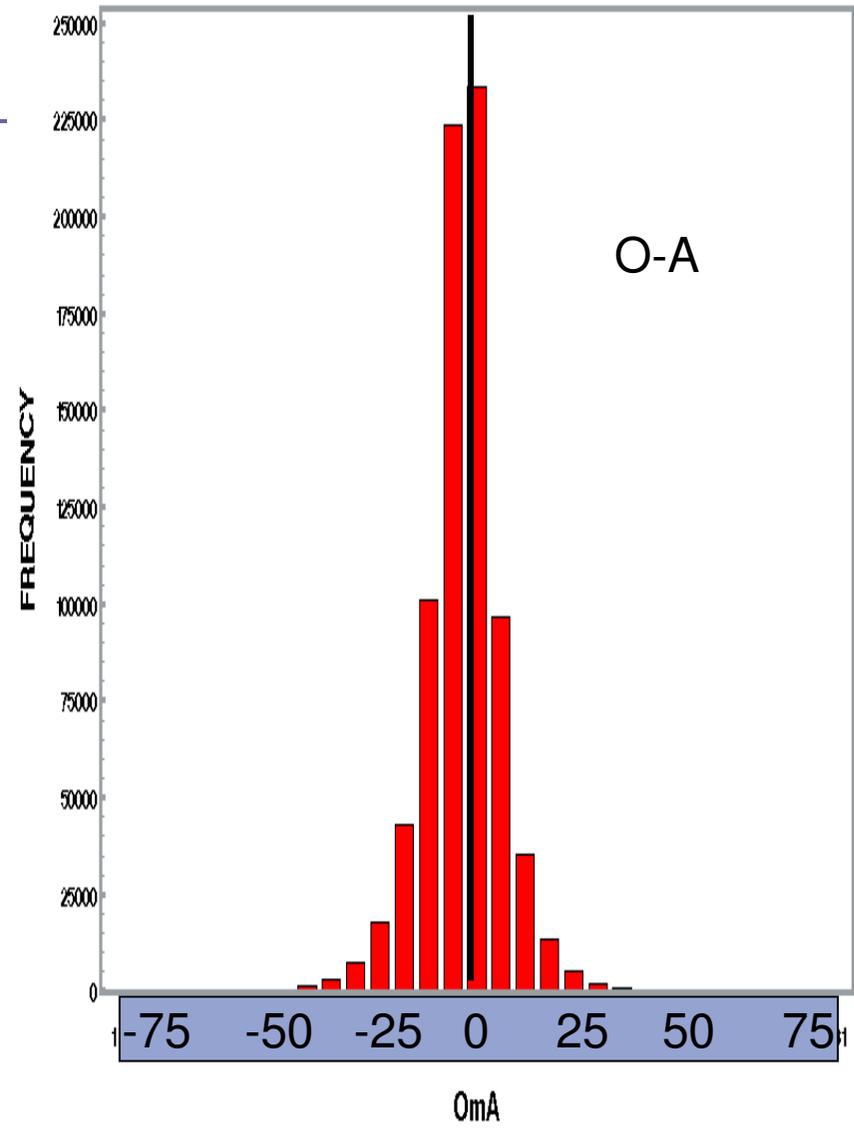
MEAN COUNT OF OmP OZONE

JULY 2011

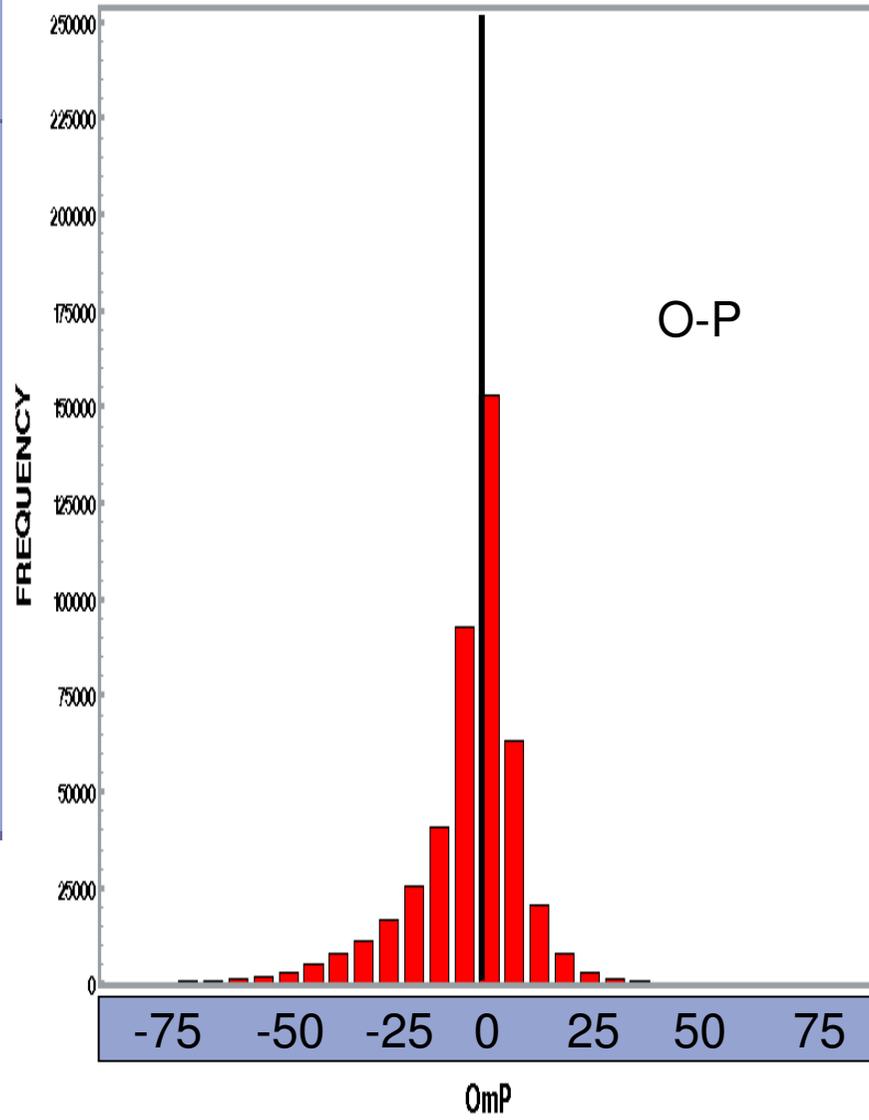


MEAN COUNT OF OmA OZONE

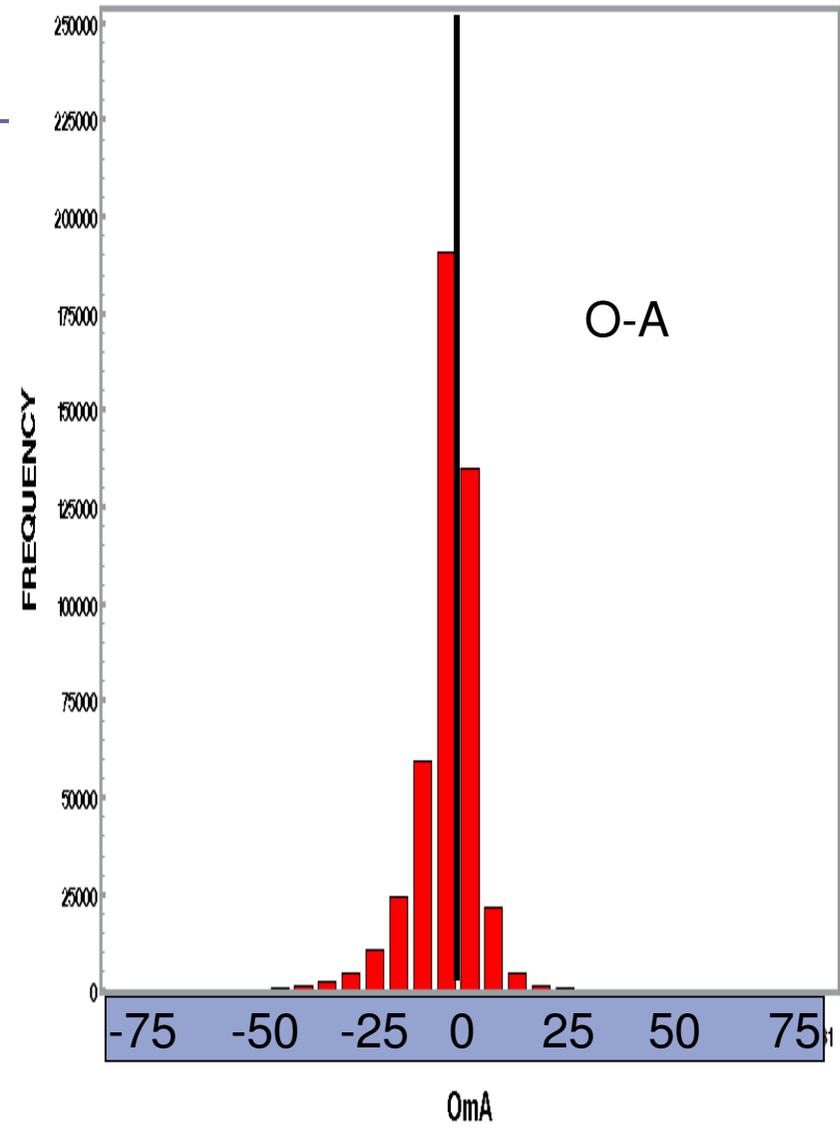
JULY 2011



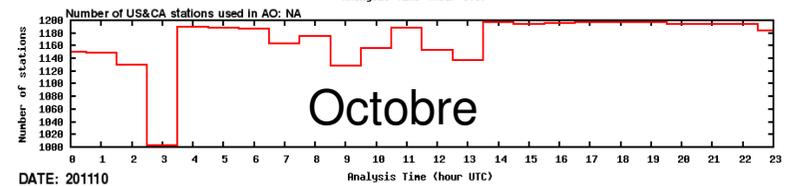
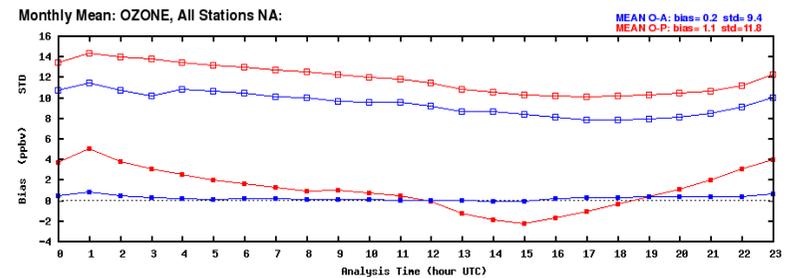
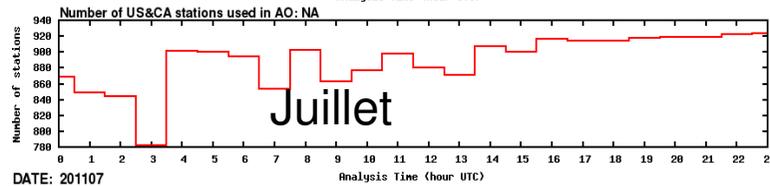
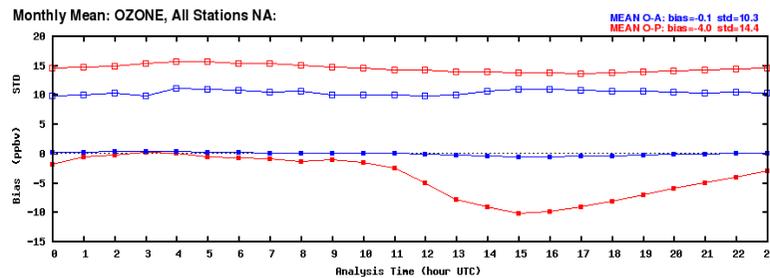
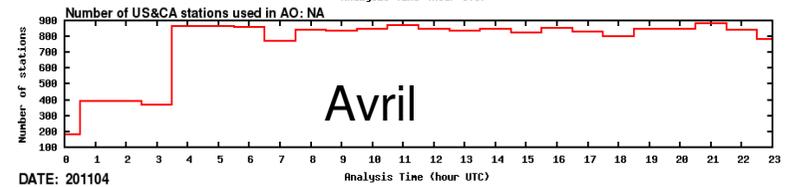
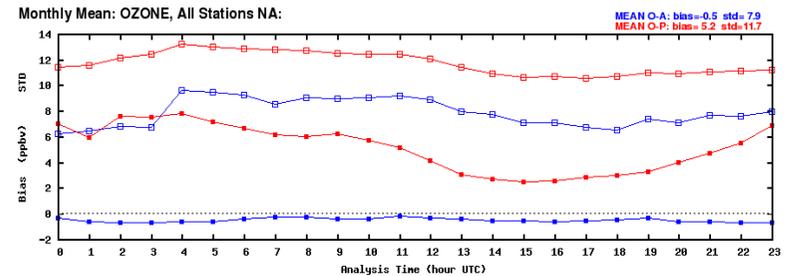
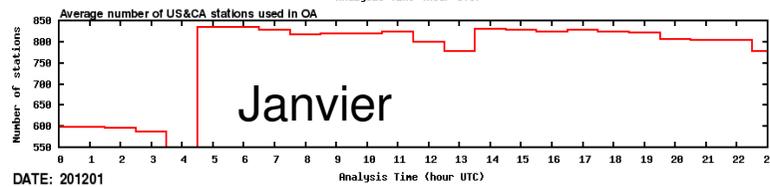
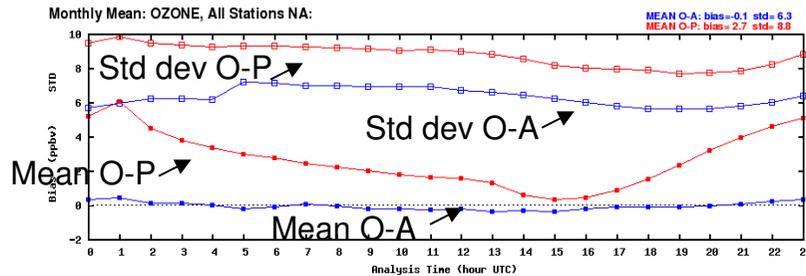
MEAN COUNT OF OmP PM25
JULY 2011



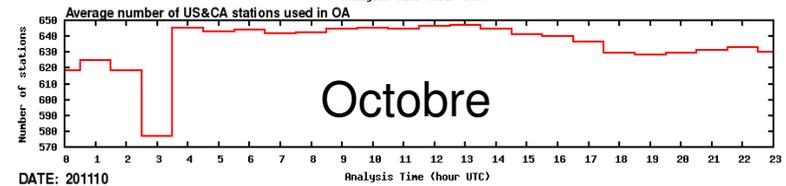
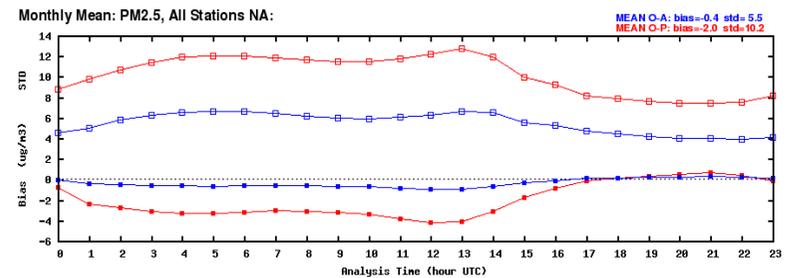
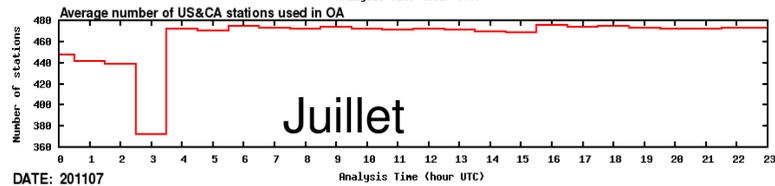
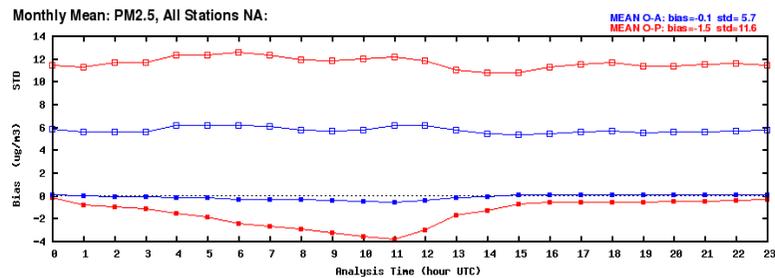
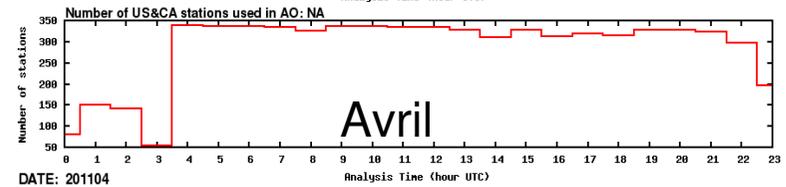
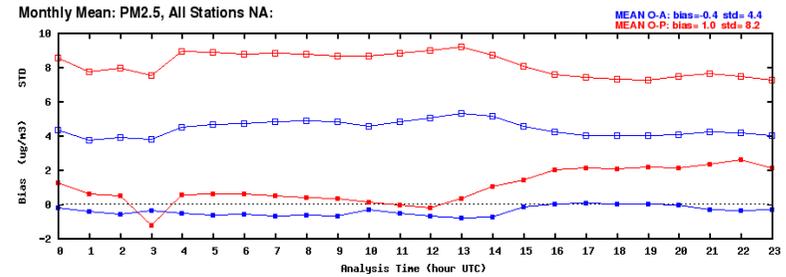
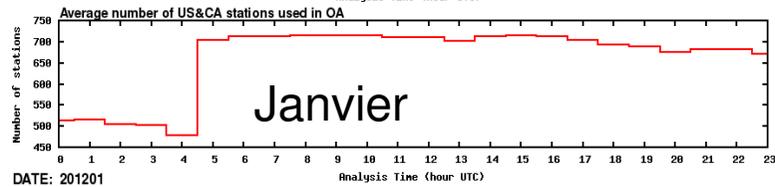
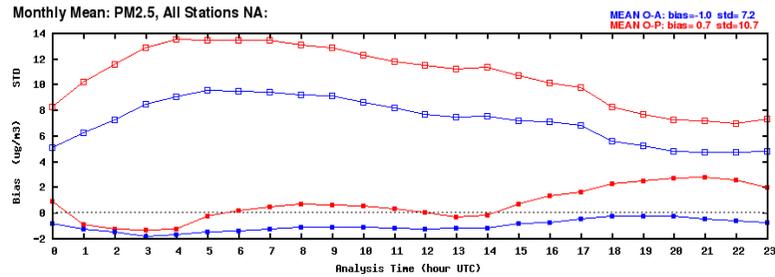
MEAN COUNT OF OmA PM25
JULY 2011



Ozone monitoring (Yulia Z, CMDA)



PM2.5



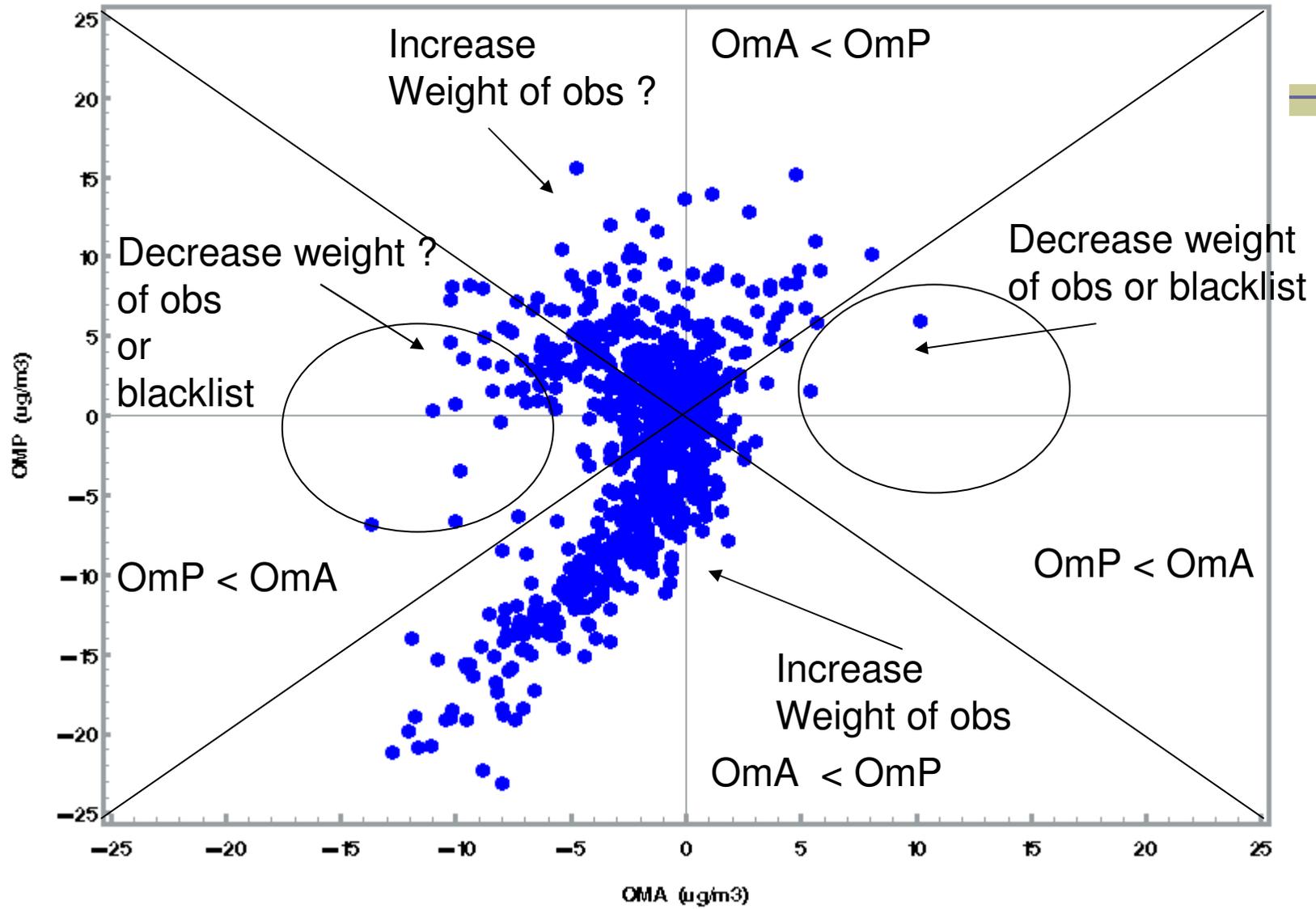
3 types de tuning (a priori, on the fly, a posteriori)

- Essai et erreur (stats d'erreur)
- Adaptive «on the fly » based on some diagnosis (chi-squared $X^2 = NS$) (used for climatology or long re-analysis periods)
- A posteriori (O-A vs O-P): testing
 - Blacklisting for stations $O-A > O-P$ (PM2.5)
 - DesRoziers tuning diagnostic (?)

A posteriori tuning

JULY 2011 (HOURLY)

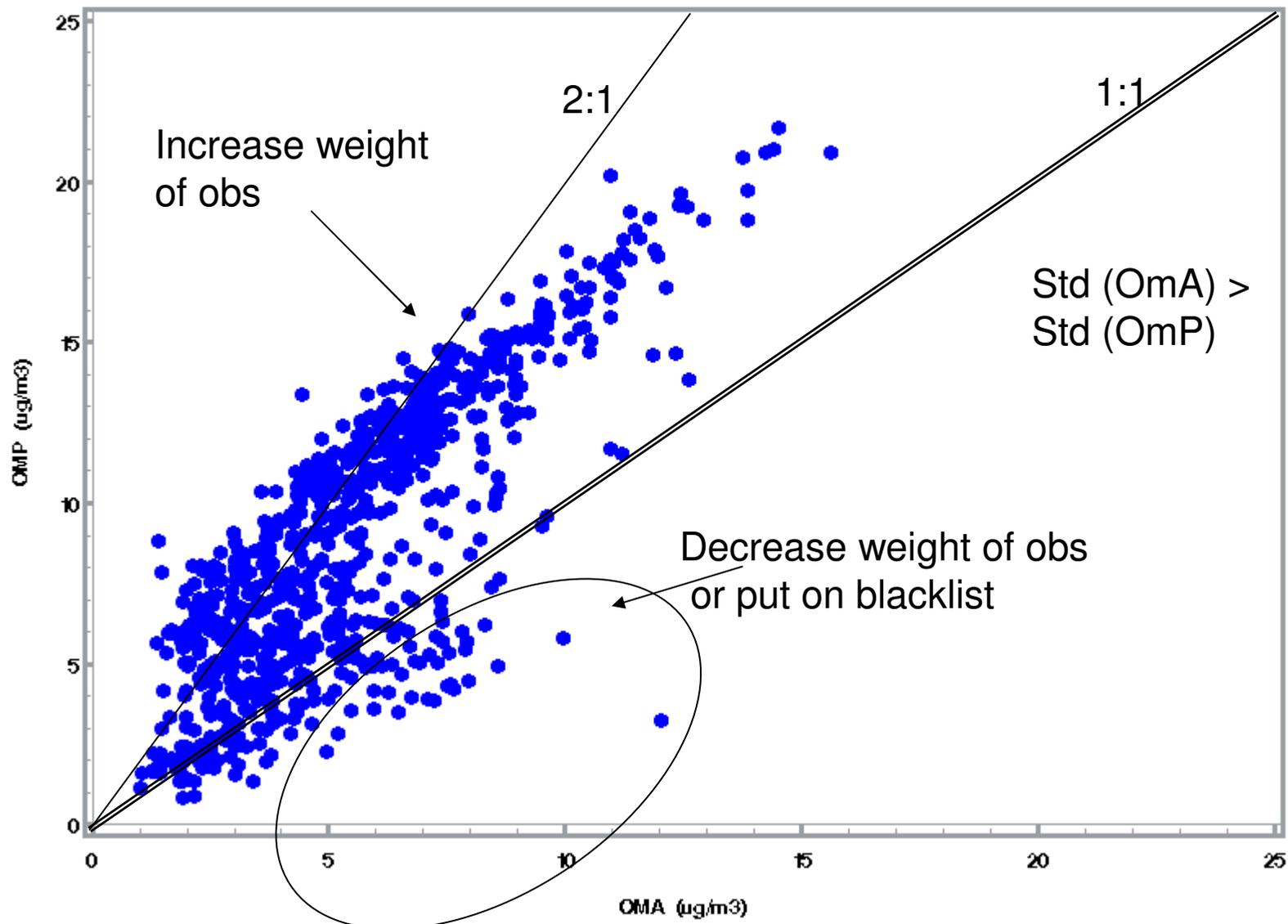
PM2.5

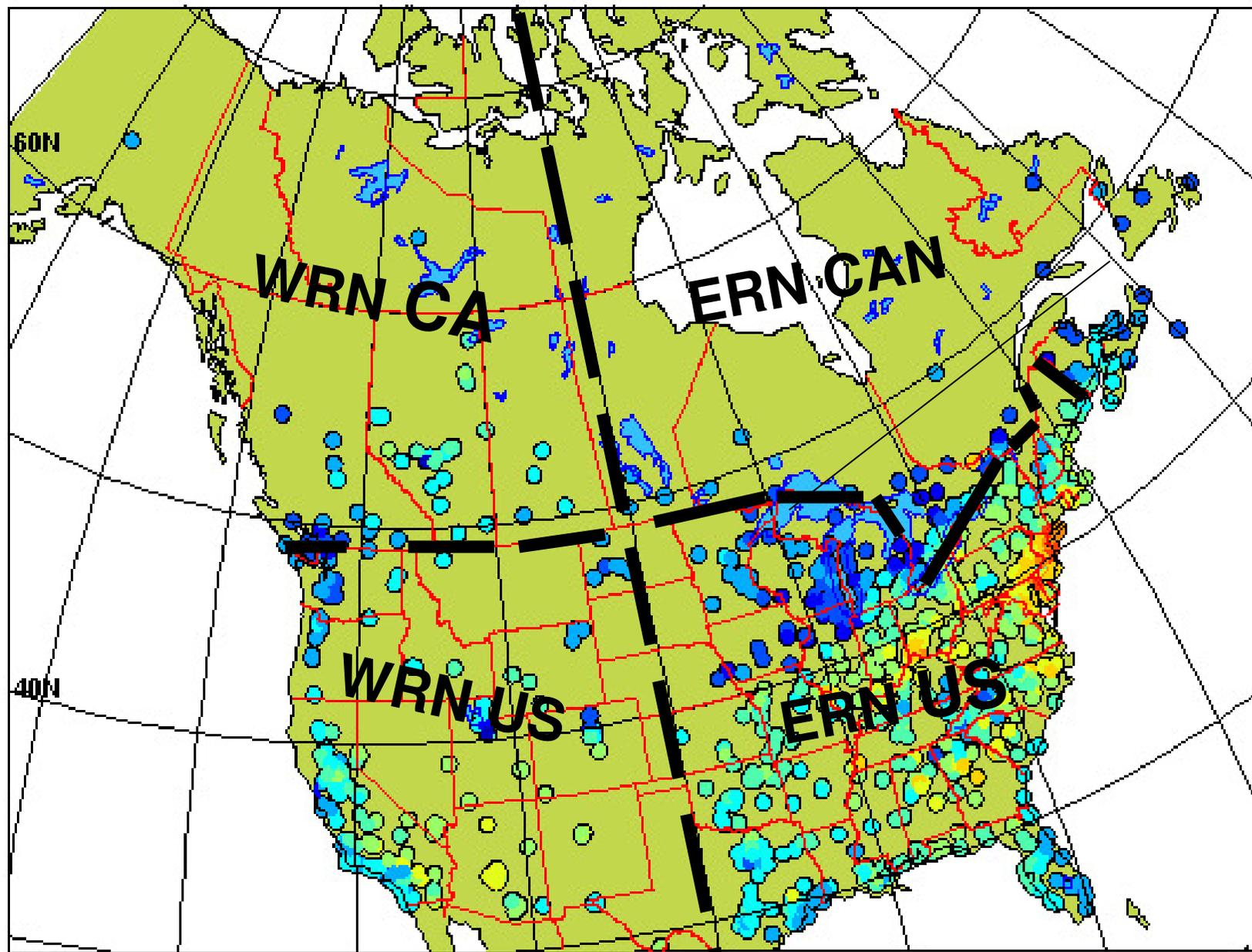


A posteriori tuning

JULY 2011 (HOURLY)

PM2.5

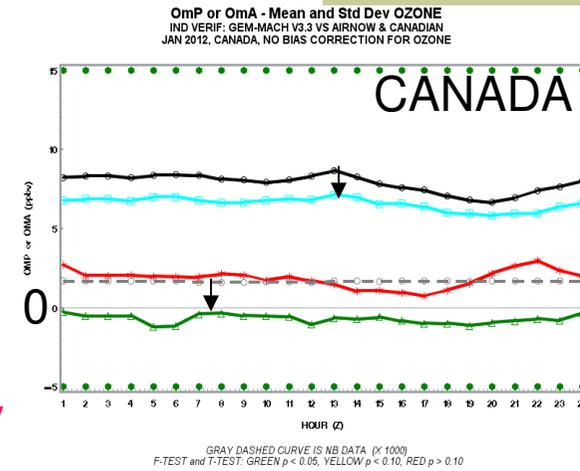
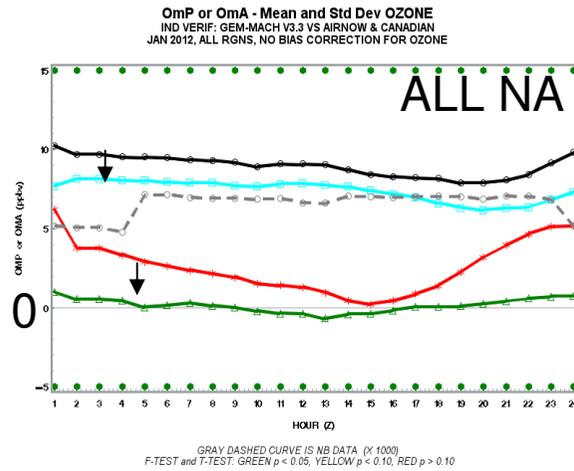




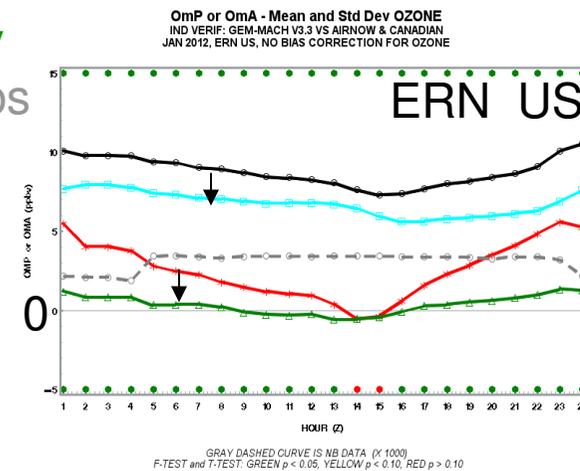
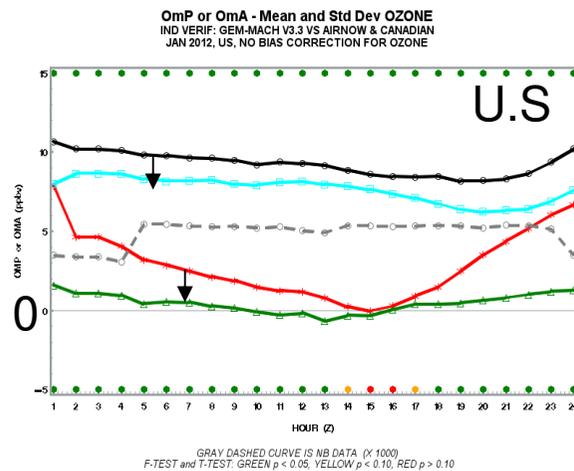
Régions pour la validation croisée

Ozone – Jan 2012

Validation croisée

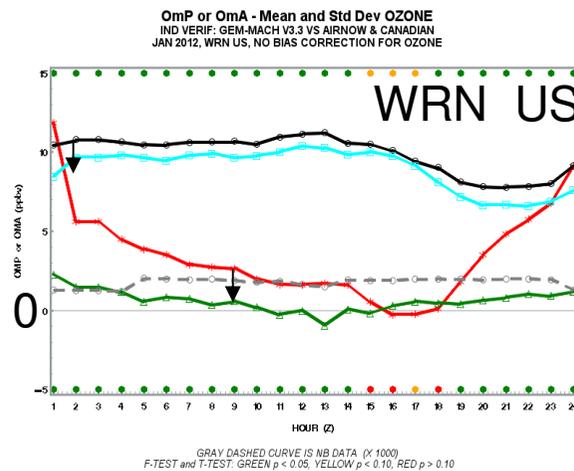
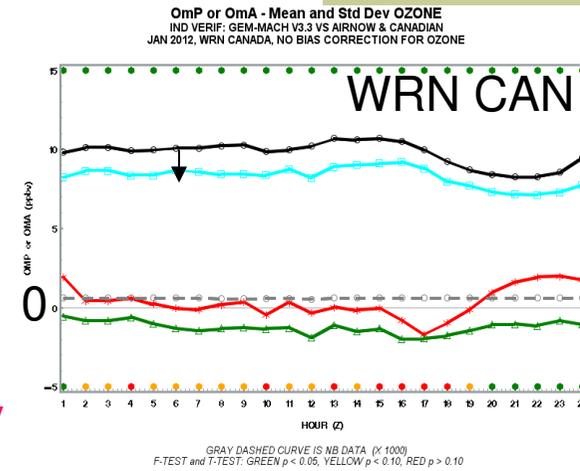
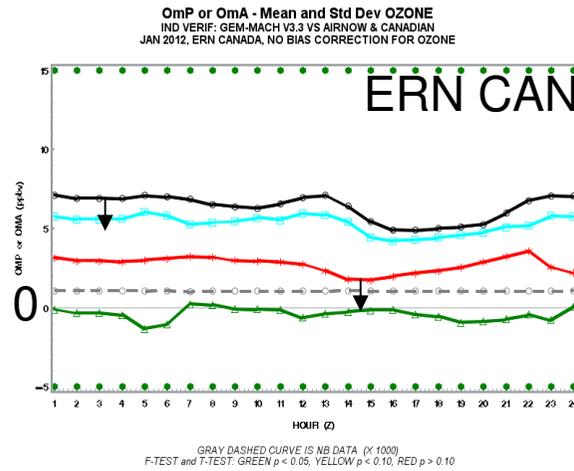


O-P std
O-P moy
O-A std
O-A moy
---- N obs



Ozone – Jan 2012

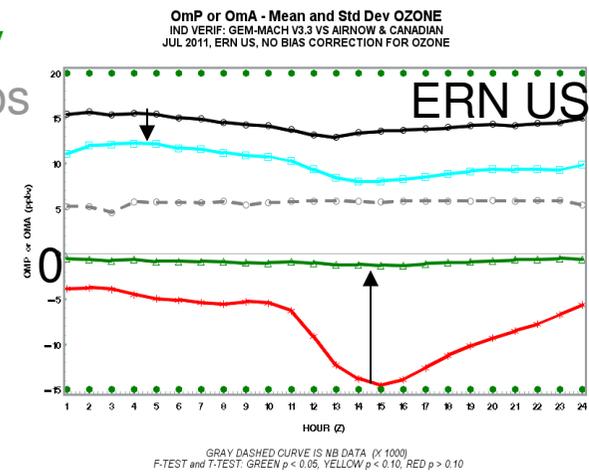
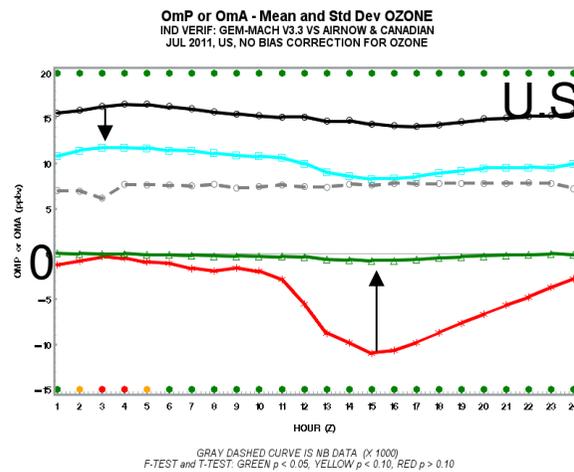
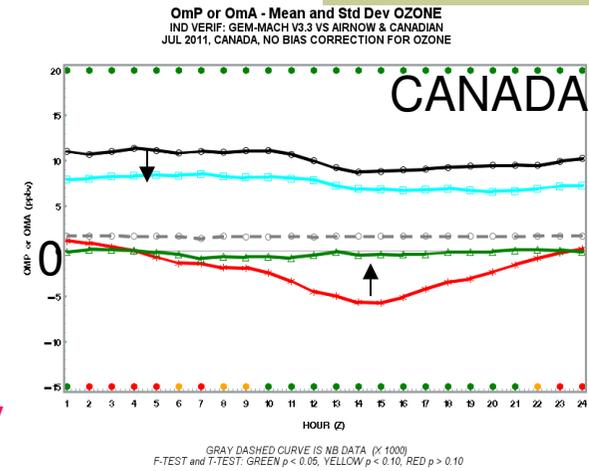
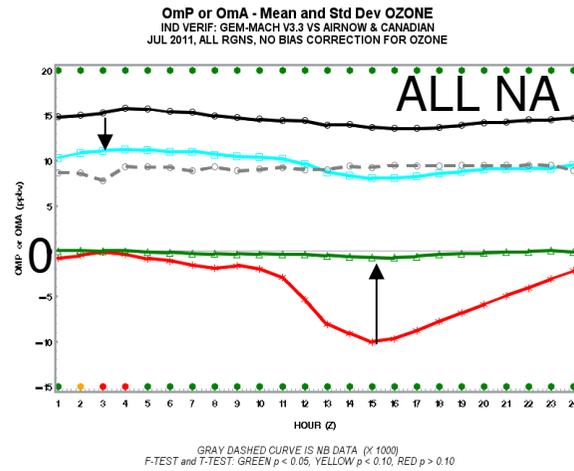
Validation croisée



O-P std
 O-P moy
 O-A std
 O-A moy
 ---- N obs

Ozone – Juillet 2011

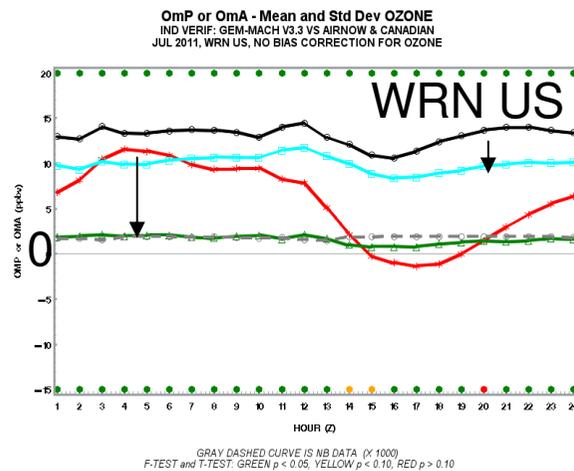
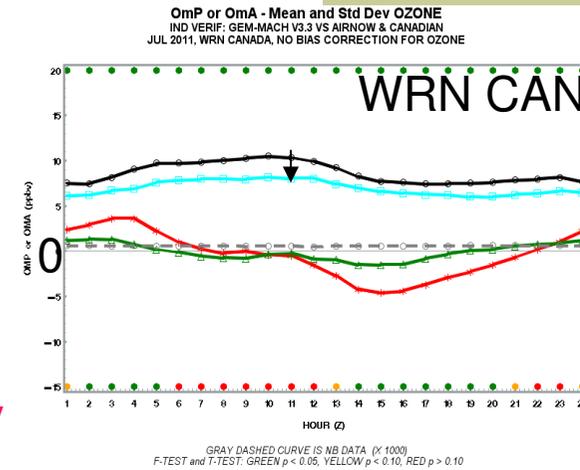
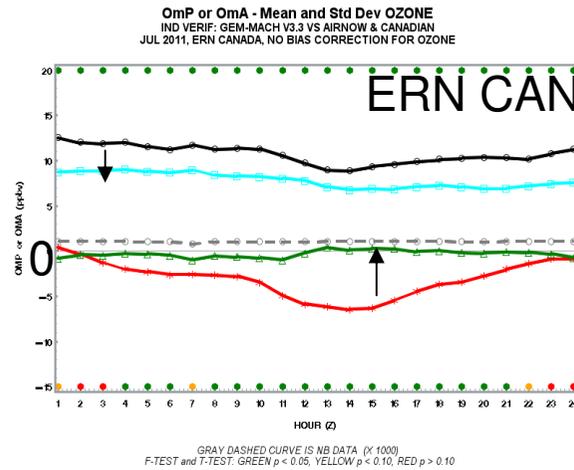
Validation croisee



O-P std
O-P moy
O-A std
O-A moy
---- N obs

Ozone – Juillet 2011

Validation croisée

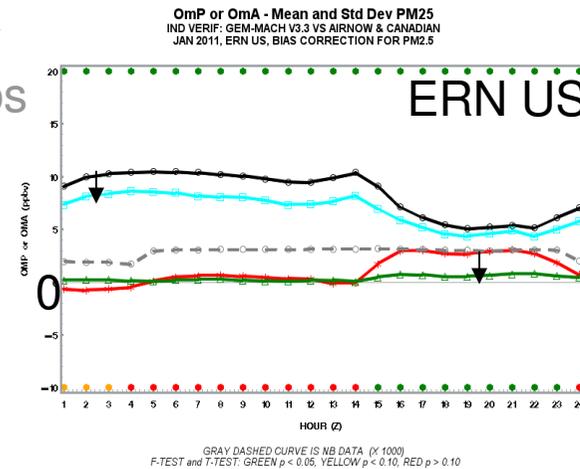
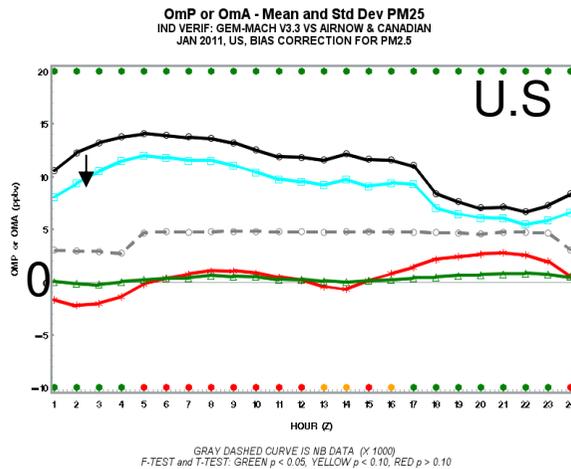
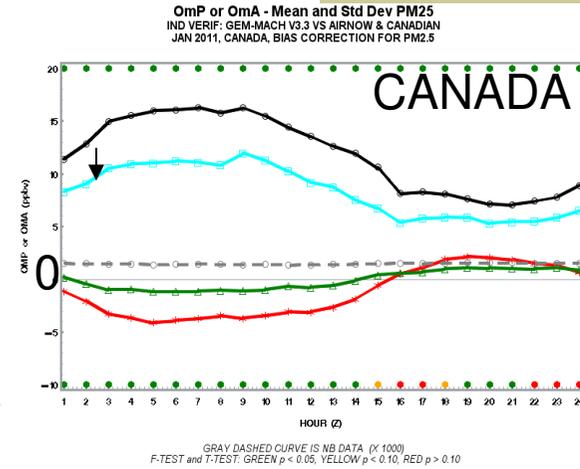
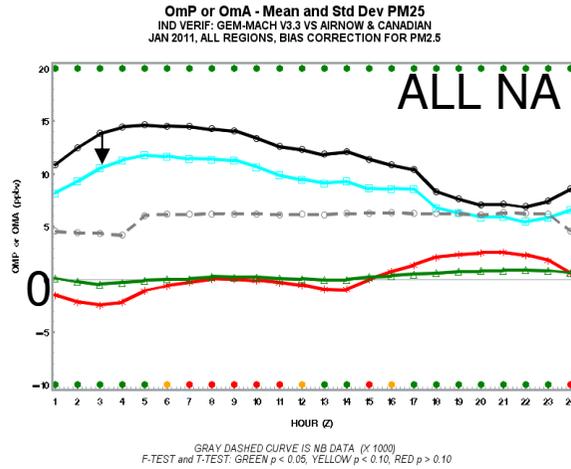


O-P std
 O-P moy
 O-A std
 O-A moy
 ---- N obs

PM2.5 – Jan 2012

AVEC CORRECTION DE BIAIS

Validation croisée

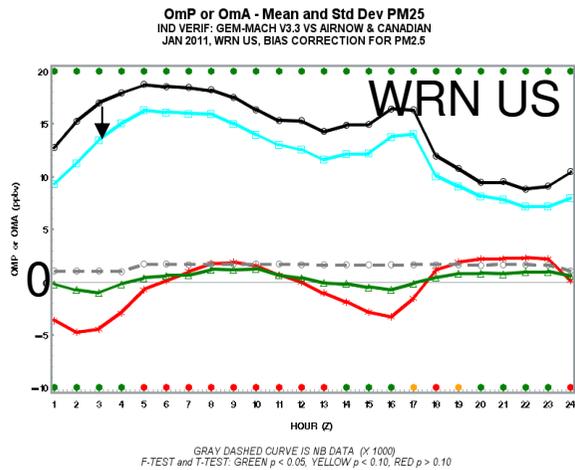
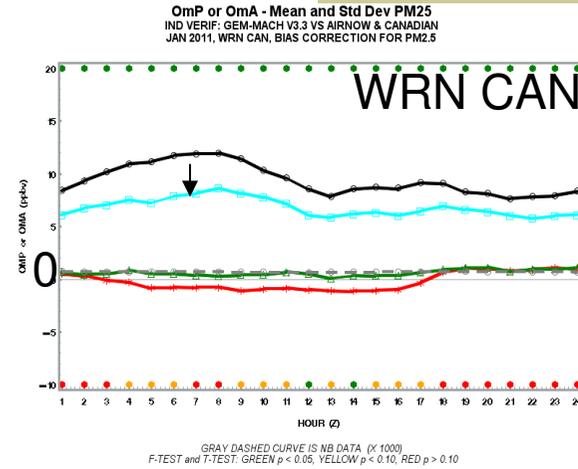
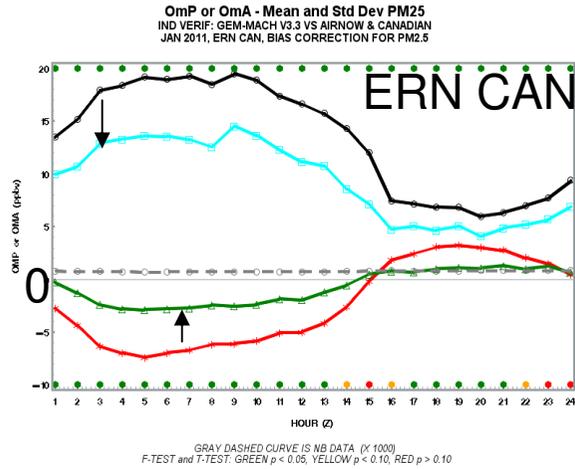


O-P std
O-P moy
O-A std
O-A moy
---- N obs

PM2.5 – Jan 2012

AVEC CORRECTION DE BIAIS

Validation croisée

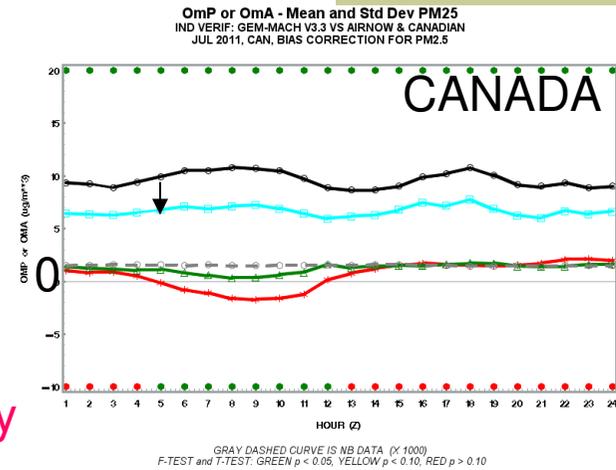
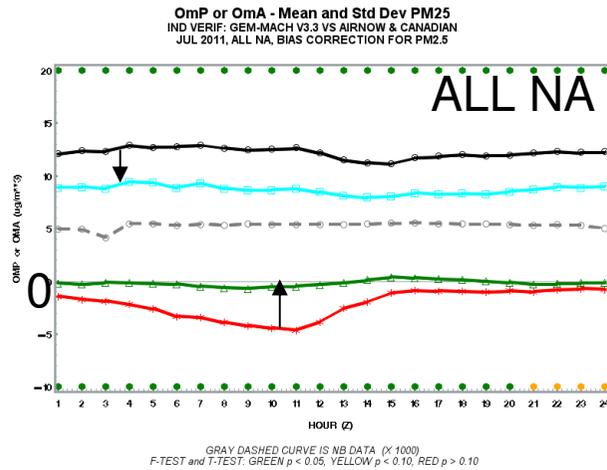


O-P std
 O-P moy
 O-A std
 O-A moy
 ---- N obs

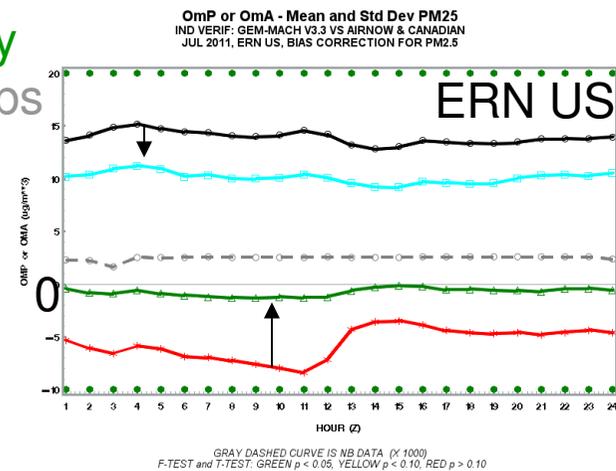
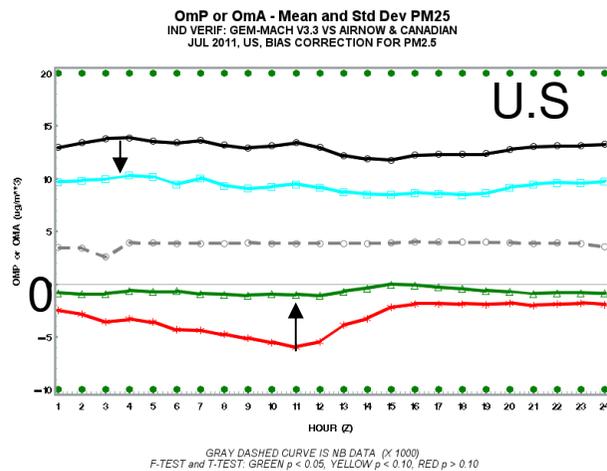
PM2.5 – Juillet 2012

AVEC CORRECTION DE BIAIS

Validation croisée



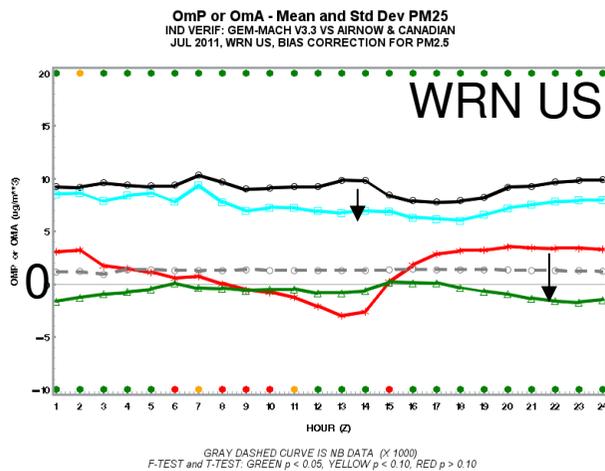
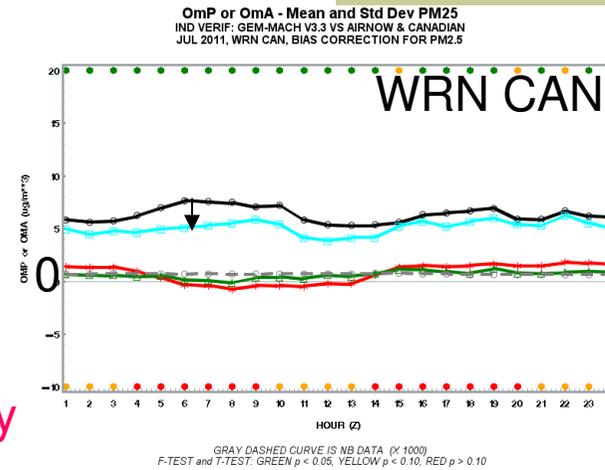
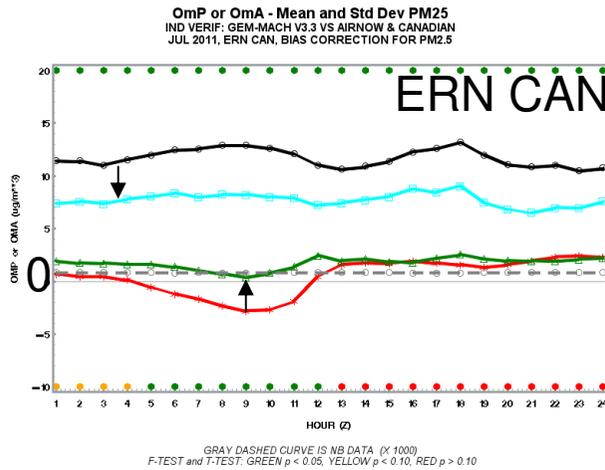
O-P std
O-P moy
O-A std
O-A moy
---- N obs



PM2.5 – Juillet 2012

AVEC CORRECTION DE BIAIS

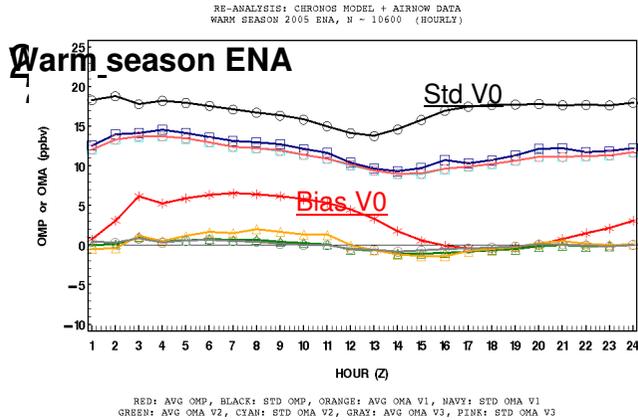
Validation croisée



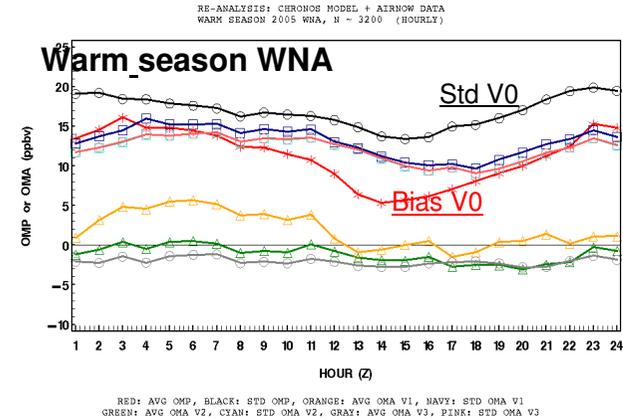
O-P std
 O-P moy
 O-A std
 O-A moy
 ---- N obs

CROSS VALIDATION O₃ (2005)

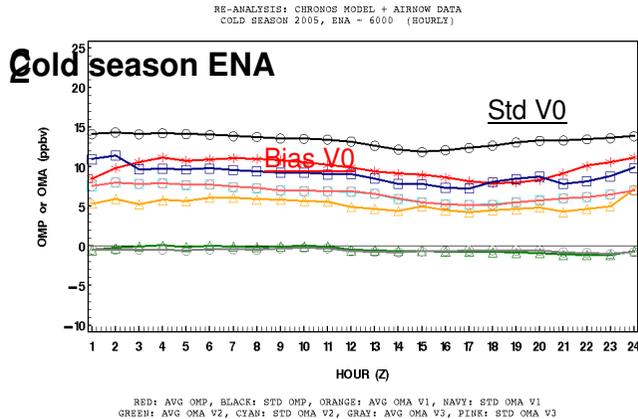
Omp or OmA — Mean and Std Dev Ozone



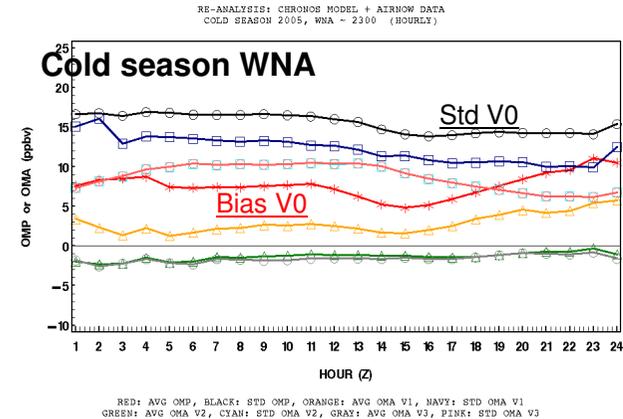
Omp or OmA — Mean and Std Dev Ozone



Omp or OmA — Mean and Std Dev Ozone

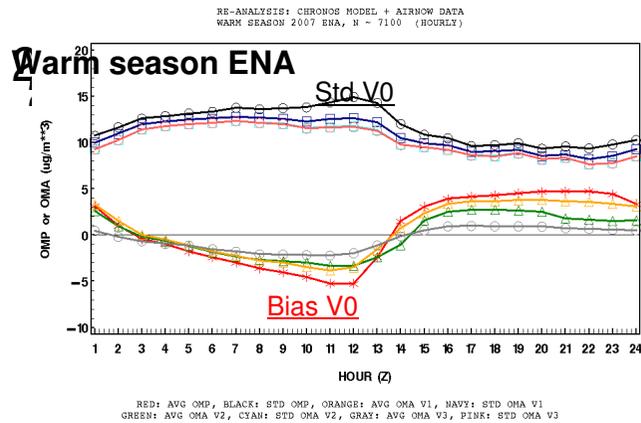


Omp or OmA — Mean and Std Dev Ozone

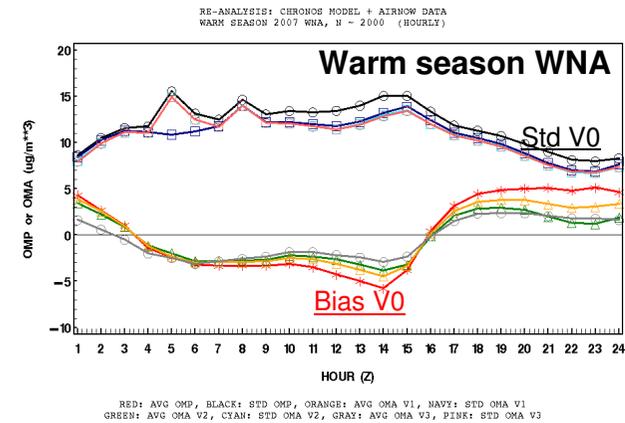


CROSS VALIDATION CHECK 2007 - PM2.5 (AIRNOW)

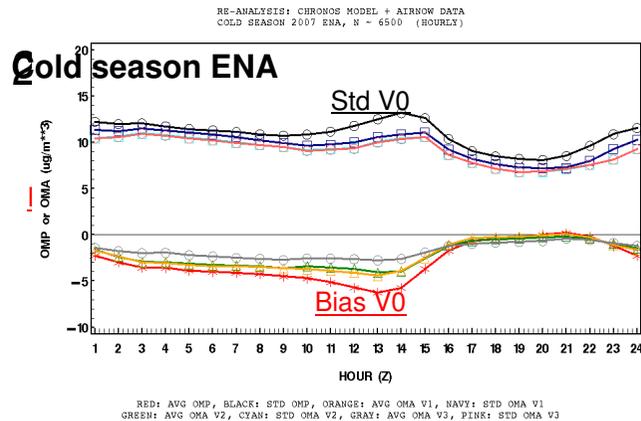
OmP or OmA – Mean and Std Dev PM2.5 with ind.obs



OmP or OmA – Mean and Std Dev PM2.5 with ind. obs



OmP or OmA – Mean and Std Dev PM2.5 with ind. obs



OmP or OmA – Mean and Std Dev PM2.5 with ind. obs

