

ACHILLE Newsletter

Lettre trimestrielle à l'attention
de la communauté ADOMOCA

Numéro 6, Novembre 2010

Edito

L'atelier ADOMOCA-2 s'est déroulé du 11 au 13 octobre 2010 aux Lecques (Marseille). Il a permis aux 17 participants représentant 7 laboratoires de faire le bilan des résultats issus du programme ADOMOCA (2005-2009) pour s'ouvrir sur les projets qui vont voir le jour au sein d'ADOMOCA-2 (2010-2013). On a pu ainsi voir que les thématiques scientifiques « historiques » autour du transport (troposphère, UTLS et stratosphère) et de la couche d'ozone s'élargissaient vers la qualité de l'air. De plus les molécules étudiées prioritairement basées sur O_3 et CO s'ouvraient elles aussi aux aérosols, COV , H_2O , N_2O et NO_2 . Quant aux outils, la nouvelle version de Valentina (V5) utilise désormais plusieurs méthodes d'assimilation (3D-VAR, 3D-FGAT, 4D-VAR) et permet de prendre en compte un domaine à aire limitée. Les méthodes d'ensemble et de modélisation inverse apparaissent être de plus en plus utilisées dans notre communauté. Les trois prochaines années semblent donc prometteuses pour utiliser d'autres jeux de données (colonnes totales, stations de surface) et optimiser différents paramètres (longueurs de corrélation horizontale et verticale, taille des mailles) afin de répondre efficacement aux problématiques de la chimie atmosphérique.

P. Ricaud et D. Cariolle

Assimilation régionale

Estimation des corrélations d'erreur d'ébauche à l'aide d'une méthode d'ensemble

E. Jaumouillé¹

Bien estimer la matrice de covariance d'erreur d'ébauche est essentiel pour l'assimilation de données. Cette matrice peut s'écrire en fonction de la matrice diagonale des écarts-

¹ CERFACS/SUC CNRS-URA 1875, Toulouse, France.

types et de la matrice des corrélations. Nous nous intéressons ici à cette dernière matrice.

Une estimation de la matrice des corrélations C est obtenue par des statistiques effectuées sur un ensemble de prévisions. Pour construire cet ensemble, les observations d'ozone et les émissions ont été perturbées. Les longueurs de portée ont été calculées à partir d'une corrélation supposée Gaussienne entre un point et son voisin. Pour les longueurs de portée horizontales Ouest-Est (resp. Nord-Sud), on regarde la corrélation entre un point et son voisin à l'est (resp. au Nord); Pour les longueurs de portée verticales, c'est la corrélation entre un point à la surface et son voisin de la couche au-dessus de celle considérée.

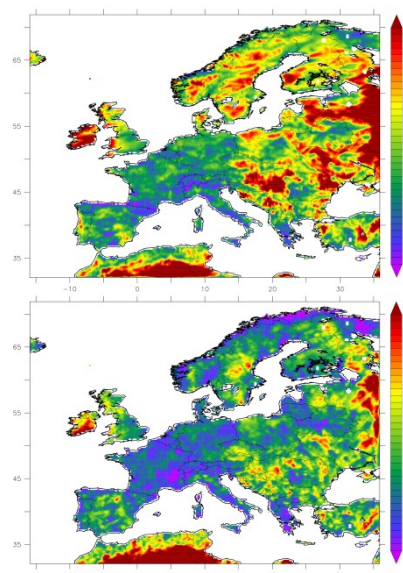
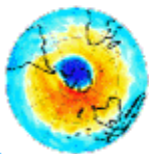


Figure 1: Longueurs de portée diagnostiquées (en km) de la corrélation horizontale d'erreur d'ébauche: longueurs de portée Nord-Sud (haut) et Ouest-Est (bas). Valeurs moyennes sur la période du 1er au 10 Juillet 2010

Nous avons réalisé un ensemble de dix assimilations de l'ozone à la surface sur une période de 10 jours (du 1er au 10 Juillet 2010) et ainsi créé sur la période un ensemble de prévisions comprenant $10 \times 10 \times 24$ réalisations. Nous avons montré que les corrélations sont inhomogènes spatialement et particulièrement plus grandes dans la direction Nord-Sud (voir Figure 1). Les longueurs de portée horizontales Ouest-Est sont comprises entre 9 et 306 km avec une moyenne de 48 km; celles dans la direction Nord-Sud sont entre 16 et 252 km avec une moyenne de 60 km. Les longueurs de portée verticales sont quant à elles du même ordre de grandeur que la couche limite atmosphérique (voir Figure 2).

Le système d'assimilation Valentina a été modifié pour permettre la lecture d'une matrice de corrélation d'erreur d'ébauche



variant en temps sur la journée d'assimilation. Des tests sont actuellement en cours.

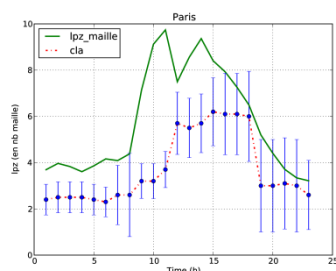


Figure 2: Séries temporelles des longueurs de portée estimées de la corrélation verticale d'erreur d'ébauche et de la hauteur de la couche limite atmosphérique (en nombre de mailles), dans la maille comprenant la ville de Paris. Valeurs moyennes horaires sur la période du 1er au 10 Juillet 2010.

Assimilation des observations d'ozone troposphérique IASI dans le cadre du projet LEFE/ADOMOCA2 : projet d'exercice d'intercomparaison

G. Foret²

Le projet ADOMOCA-2 (LEFE CHAT & ASSIM), par vocation, vise à rassembler la communauté de l'assimilation travaillant dans le domaine de la chimie atmosphérique. Certaines équipes participant à ce projet s'intéressent depuis plusieurs années à l'ozone troposphérique et plus particulièrement aux développements des modèles de chimie-transport qui permettent d'en simuler les concentrations troposphériques et leur évolution. Depuis 2006, l'instrument IASI (embarqué sur la plateforme METOP) permet l'observation des concentrations d'ozone troposphérique avec une résolution spatio-temporelle et une précision rarement atteinte jusqu'à maintenant. La synergie entre de telles observations et les modèles de chimie-transport laisse entrevoir des perspectives prometteuses tant pour le développement de systèmes permettant la caractérisation, la surveillance et la prévision des événements de pollution photochimique que pour l'étude et la compréhension du bilan de l'ozone troposphérique et de ses tendances.

Dans ce contexte, nous proposons de réaliser un exercice d'assimilation des observations d'ozone troposphérique obtenues par IASI dans différents modèles de chimie-transport (MOCAGE, CHIMERE voire POLAIR) et avec différentes méthodes d'assimilation (3D-FGAT, EnKF, ...). L'objectif sera d'évaluer l'apport de ces observations pour contraindre

(et améliorer) les performances des modèles tant pour des questions liées à la qualité de l'air que pour des problématiques liées au climat. L'analyse détaillée des performances relatives de chacun des systèmes d'assimilation utilisés doit également servir à leurs futurs développements.

La première étape va consister à identifier des cas d'études sur lesquels les exercices d'assimilation vont s'appuyer. L'objectif est de sélectionner des situations de pollution photochimique, de foliation de tropopause et si possible des cas de transport à longue distance qui seraient clairement observées par IASI. On veillera également, si possible, à sélectionner des situations pour lesquelles le maximum d'observation indépendantes (profils verticaux MOZAIK-IAGOS, sondes, stations sols) soient disponibles pour évaluer objectivement l'apport de l'assimilation sur les champs d'ozone simulés. Une des forces de cet exercice est la participation des équipes qui « produisent » les données IASI (LISA, LA voire LATMOS), ce qui devrait permettre d'investiguer plus facilement la nature des données (i.e colonnes partielles, profils) et des erreurs associées qui pourront être utilisées pour l'assimilation. Par ailleurs, cet exercice impliquera des équipes qui participent conjointement à des projets nationaux (TOSCA-IASI) voire Européens (FP7/MACC) et pourra servir de démonstrateur et de force de proposition pour ces projets.

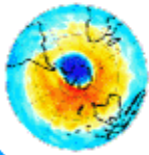
Le calendrier de l'exercice prévoit d'avoir sélectionné les cas d'études pour le printemps 2011 et de réaliser une première analyse des simulations en commun pour l'automne 2011, si possible avant la prochaine réunion annuelle ADOMOCA. A l'heure actuelle, les laboratoires engagés dans l'exercice sont le CERFACS, le CNRM, le Laboratoire d'Aérodynamique et le LISA. Cependant la liste des participants n'est pas close et la contribution et l'investissement de chacun dans l'exercice reste encore à préciser.

Perturbations Monte-Carlo pour l'estimation de l'erreur modèle dans la chaîne d'assimilation CHIMERE-EnKF pour l'analyse et la prévision de la qualité de l'air en Europe

B. Gaubert²

Dans le cadre de la surveillance réglementaire de la pollution à l'ozone, en France (<http://www.prevoir.org/>) ou à l'échelle Européenne (projet GMES/MACC ; <http://www.gmes-atmosphere.eu/>), des algorithmes d'assimilation des observations

² LISA/IPSL, Université Paris Est et 7,CNRS/INSU UMR 7583, Créteil, France.



associés aux modèles de chimie transport régionaux (Blond et al. 2004, Rouil et al. 2008) produisent cartes analysées et prévisions de manière quotidienne et opérationnelle pour l'ozone voire les particules. Dans ce contexte, un filtre de Kalman d'ensemble (Evensen et al. 2003) couplé au modèle CHIMERE est développé au LISA depuis quelques années. Cette méthode permet de disposer d'une représentation explicite de l'erreur du modèle.

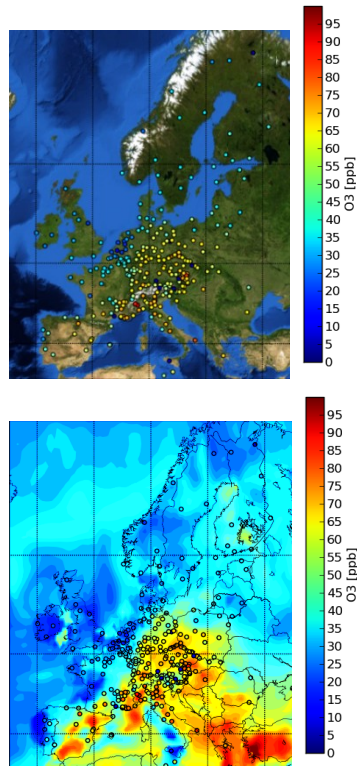


Figure 3. Concentrations d'ozone (ppb) assimilée le 15/07/2007 à 15h (haut) et carte analysée des concentrations d'ozone de surface produite avec le filtre de Kalman d'ensemble (40 simulations Chimere).

Pour cela, on utilise un ensemble de simulations « directes » du modèle qui permettent d'estimer l'incertitude sur les champs simulés et d'actualiser (dans le temps) la matrice de covariance d'erreur nécessaire à l'assimilation des données. Le choix et l'efficacité de la méthode choisie pour générer l'ensemble est bien sûr central. Dans un premier temps, nous avons choisi d'ajouter un bruit « pseudo-aléatoire » gaussien (Evensen et al, 1994) aux champs d'ozone simulés. Cette approche s'est avérée relativement efficace pour corriger les champs d'ozone de surface à partir des observations fournies par les réseaux de mesures européens (Figure 3). Cependant, n'ayant pas de base physique explicite, la covariance spatiale de l'erreur obtenue, si elle permet de corriger le biais du modèle (notamment aux endroits où le réseau de mesure est suffisamment dense), peut induire

de fausses corrélations et ne permet pas toujours de propager les innovations apportées de façon adéquate. Cela se traduit souvent par une plus faible correction des RMSE et surtout des corrélations.

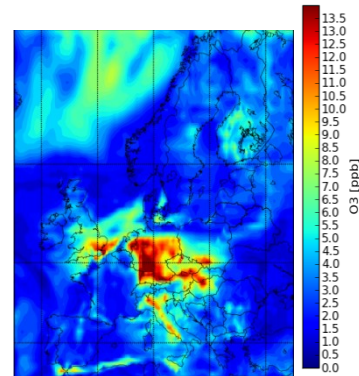
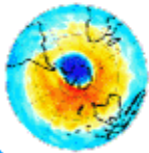


Figure 4 : Dispersion (écart-type) calculée pour les 40 membres de l'ensemble le 15/07/2007 à 15h.

Pour palier cette déficience du système (et à l'instar des systèmes précédemment développés pour la qualité de l'air, Hanea *et al*, 2004), nous avons choisi de perturber les paramètres les plus incertains du système pour générer notre ensemble. Boynard *et al* (2010) ont montré que les émissions anthropiques, les conditions aux limites, la hauteur de la couche limite, les taux de photolyse (et notamment leur atténuation par les nuages), et le dépôt sec permettent (au sens du modèle) d'expliquer 90% de la variabilité de l'ozone. Les premiers résultats de l'implémentation d'une telle approche montrent la cohérence physique de la structure spatiale des erreurs (Figure 4). Néanmoins, la dispersion de l'ensemble obtenu reste trop faible. Pour remédier à cette situation, un premier travail va consister à hybrider cette approche « physique » de perturbations des paramètres à l'ancienne approche. Un deuxième travail sur la classification (Flemming *et al*. 2005) des stations de mesure devrait permettre d'estimer d'une part l'erreur de représentativité spatiale des observations et d'autre part de redéfinir l'amplitude et la variation temporelle de l'erreur modèle à prescrire. Un tel compromis doit permettre de conserver une bonne structure spatiale du champ d'erreur et d'assurer une meilleure dispersion de l'ensemble sans laquelle la contribution des observations dans le processus d'assimilation restera faible. Ce système sera testé à l'échelle d'un été dans le cadre du projet FP7/MACC. Par la suite, l'approche de perturbations des paramètres sera approfondie en utilisant une approche qui consiste à utiliser différents jeux de forçages et/ou de paramétrisations (cf Galmarini *et al*, 2004) pour générer un ensemble plus pertinent.



Assimilation Globale

Vers l'assimilation haute résolution des colonnes totales IASI

B. Pajot³

Un travail important a été mené au CERFACS afin d'assimiler les données d'ozone IASI fournies par le LATMOS/CNRS-ULB. Ce travail est principalement axé sur l'apport d'une transition basse à haute résolution :

- du modèle d'une part : pour cela, une étude a été réalisée par le biais de deux assimilations d'un jeu de super-observations moyennées sur grille T42 (~2.8°), l'une avec le modèle MOCAGE sur grille T42 et l'autre avec MOCAGE sur grille T170 (~0.7°) ;
- des super-observations d'autre part : ceci a été réalisé par le biais de deux assimilations avec le modèle MOCAGE sur grille T170,

³ CERFACS/SUC CNRS-URA 1875, Toulouse, France.

l'une avec un jeu de observations T42⁴ et l'autre avec des observations T170.

La 1^{ère} difficulté rencontrée concernait la restitution de l'information provenant de colonnes totales. En effet, les *Averaging Kernels* n'ont pas été utilisés lors de l'assimilation de ces colonnes totales. En conséquence, la répartition verticale de l'incrément d'ozone est déterminée à la fois par la matrice de covariance d'erreur d'ébauche et par le poids donné à chaque niveau du modèle lors de l'intégration d'un profil pour en faire une colonne. Une 1^{ère} série d'expériences a été menée avec des écarts-types d'erreur d'ébauche proportionnels à la valeur de l'ébauche. Les champs de colonnes totales d'ozone obtenus étaient réalistes (car contraints par les observations), mais la répartition verticale était erronée (Figure 5). Au fur et à mesure des cycles d'assimilation, l'incrément piquait de plus en plus étroitement à la hauteur du maximum d'ozone. S'en suivait un profil d'ozone très resserré autour de ce maximum.

⁴ Par abus de langage, nous appellerons observations T42 les super-observations moyennées sur grille T42. De même pour les super-observations moyennées sur grille T170.

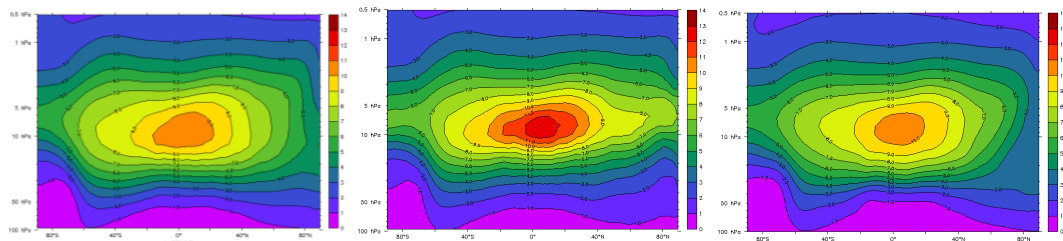
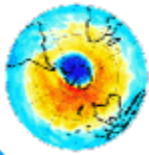


Figure 5 : Distribution des champs d'ozone zonaux moyennés sur les 2 dernières semaines de septembre 2008 (en ppmv) ; à gauche, issue des analyses opérationnelles du CEPMMT, au centre et à droite, issue des analyses d'assimilations avec modèle et super-obs. sur grille T170 avec covariances d'erreur d'ébauche en % de l'ébauche au centre et covariances d'erreur d'ébauche diagnostiquées à droite.

Pour expliquer ce phénomène, regardons la distribution de l'incrément dans le cas de l'assimilation d'une seule observation (Figure 6). Lorsque l'on choisit l'écart-type d'erreur d'ébauche proportionnel à l'ébauche, l'incrément est maximum au voisinage du maximum d'ozone, mais son extension verticale est plus faible que celle du profil de l'ébauche. D'où à terme un incrément qui se répand de moins en moins sur les niveaux du modèle. Ainsi dans cette configuration, l'assimilation a apporté une information incorrecte. Par contre, l'utilisation de covariances d'erreur d'ébauche appropriées a permis d'obtenir un incrément avec une répartition verticale plus conforme (Figure 6). Les champs d'ozone fournis par cette

configuration sont beaucoup plus raisonnables (Figure 5).

L'assimilation des colonnes étant désormais correcte, nous avons pu étudier les transitions hautes et basses résolutions. Cet article ne présente cependant que des résultats préliminaires de la seconde partie de l'étude : la transition de l'assimilation des observations IASI T42 à celle des observations T170. Quel que soit le jeu d'observations assimilé, la répartition de l'ozone et sa concentration sont corrigées par rapport au free run. Mais si la comparaison des analyses aux profils MLS et à des ballons sondes montre une réduction des écarts-types par rapport au free run (Figure 7), des biais supérieurs sont obtenus pour certaines altitudes (en-dessous de 20 hPa pour



MLS et entre 100 et 500 hPa pour les ballons sondes), et de manière contre-intuitive, l'assimilation des observations T170 accentue cette différence par rapport à celle des observations T42.

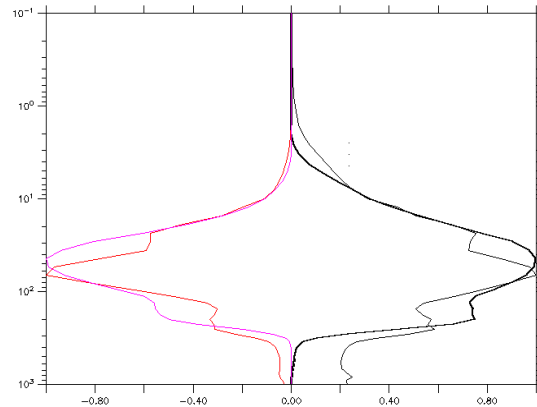


Figure 6 : Représentations de profils (pression partielle) normés par leur maximum à la coordonnée 79.53° de latitude et 11.25° de longitude. En trait noir et fin : ébauche de l'ozone ; en trait noir et épais : écarts-types d'erreur d'ébauche ; en rouge : incrément d'ozone pour l'assimilation d'une observation IASI avec écarts-types d'erreur d'ébauche proportionnels à l'ébauche ; en rose : incrément d'ozone pour l'assimilation d'une observation avec écarts-types d'erreur d'ébauche imposés.

Une explication avancée lors d'une discussion au colloque ADOMOCA d'octobre 2010 était la « surreprésentation » des observations, par le biais d'une longueur de portée trop élevée, pour le processus de minimisation de la fonction coût. Mais une assimilation sans diffusion de l'incrément a montré que cette hypothèse était fautive. Par ailleurs, le jeu d'observations assimilé ne possédant pas de filtre « contrôle-qualité », certaines données étant donc erronées, une autre hypothèse a été formulée : la présence de biais plus faibles pour l'assimilation des observations T42 pourrait s'expliquer par la moyenne faite lors de la création du jeu, les observations erronées étant alors lissées quand elles persistent en T170. Les observations étant acceptées ou rejetées selon leur écart à un seuil de rejection que l'on fixe en %, les mêmes expériences ont ainsi été reconduites en ramenant ce seuil de 20 à 10%. Mais les résultats montrent que cette hypothèse ne peut expliquer à elle seule la dégradation des biais. De nombreuses pistes pour clarifier la question sont en cours d'étude. Affaire à suivre...

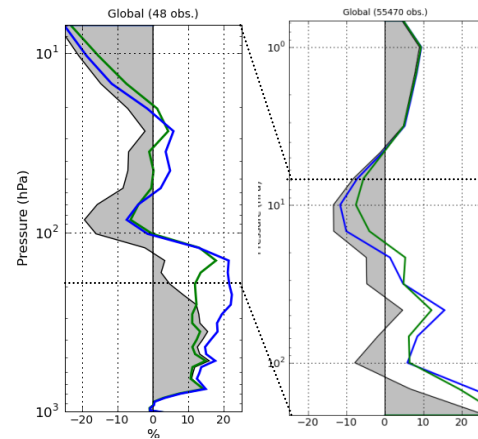


Figure 7 : Biais globaux (en %) des analyses, issues de l'assimilation des observations T42 (vert), des observations T170 (bleu) et du free run (zone grisée) avec modèle haute résolution, par rapport à des ballons sondes (gauche) et aux profils MLS (droite), pour le mois de septembre 2008.

Données IASI

Détection des variations d'ozone troposphérique sur l'Asie du sud à l'aide des données SOFRID-IASI

B. Barret⁵

Les données d'O₃ restituées à partir des radiances IASI à l'aide du SOFRID (Software for a Fast Retrieval of IASI Data) ont été utilisées pour caractériser la variabilité de l'O₃ troposphérique au-dessus de l'Inde et de l'océan indien pendant la saison post-mousson de 2008.

Les données d'O₃ IASI-SOFRID ont tout d'abord été validées à l'aide de radiosondages des réseaux WOUDC et SHADOZ. L'analyse du contenu en information des données a montré que IASI permettait de déterminer indépendamment une colonne « troposphérique » (surface-225 hPa) et une colonne UTLS (225-70 hPa) aux tropiques. La validation porte donc sur ces deux colonnes significatives (cf. Figure 8).

⁵ Laboratoire d'Aérodynamique, UMR 5560 CNRS/Université Paul Sabatier, Observatoire de Midi-Pyrénées, Toulouse France.

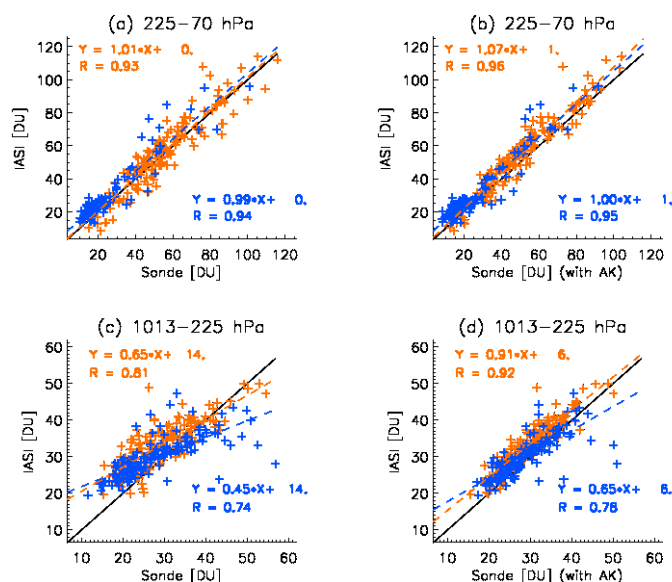
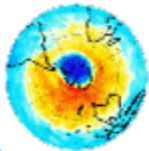


Figure 8 : graphique de corrélation entre les colonnes d'O₃ IASI-SOFRID et WUDC-SHADOZ pour la période Jul.-Dec. 2008. (a) colonnes UTLS (b) colonnes UTLS avec convolution des profils sonde par les noyaux moyens IASI-SOFRID (c) comme (a) pour les colonnes troposphériques (d) comme (c) pour les colonnes troposphériques (bleu) basses latitudes (orange) hautes latitudes.

L'accord entre les données d'O₃ IASI-SOFRID et les radiosondages est excellent dans l'UTLS avec des coefficients de corrélation et des pentes de corrélation proches de l'unité, indépendamment de la latitude et de la prise en compte du lissage par les noyaux moyens. Cela montre la grande sensibilité du sondeur IR thermique à cette gamme d'altitude pour laquelle le contraste thermique avec la surface est le plus important. IASI possède donc un grand potentiel pour documenter les échanges d'O₃ entre la troposphère et la stratosphère. L'accord reste très bon pour la troposphère avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0.74. Néanmoins, concernant cette gamme d'altitude, la différence entre (c) et (d) montre l'impact plus important du lissage des profils par les noyaux moyens et donc la moindre sensibilité de IASI dans la troposphère par rapport à l'UTLS.

Les données du programme MOZAIC à Hyderabad ont aussi permis de valider les données IASI en Inde centrale. Ces données ont en particulier mis en évidence des chutes importantes (à deux reprises) du contenu en O₃ troposphérique dans cette région pendant la saison post-mousson normalement caractérisée par des niveaux de pollution élevés. L'analyse de la météorologie de cette région nous a permis de mettre en évidence que les fortes

diminutions d'O₃ étaient corrélées au passage de tempêtes tropicales originaires du golf du Bengale au-dessus de l'Inde. Des analyses supplémentaires avec le modèle de dispersion lagrangien FLEXPART ont clairement permis de mettre en évidence que les valeurs d'O₃ anormalement faibles dans la troposphère libre au-dessus d'Hyderabad provenaient du transport d'air marin de la couche limite marine du golf de Bengale associées aux tempêtes tropicales (pour plus de détails, cf. Barret et al., soumis à ACP, 2010).

Les données IASI-SOFRID permettent d'étendre la caractérisation de l'impact des tempêtes sur le contenu en O₃ troposphérique à l'échelle continentale. Les périodes qui correspondent à des conditions saisonnières « normales » (Figure 9(a) et (c)) sont caractérisées par des valeurs d'O₃ élevées de la mer d'Arabie au golf de Bengale avec l'ITCZ qui joue un rôle de barrière entre les masses d'air marin propres au sud et les masses d'air polluées du nord. Par contre, le passage des tempêtes tropicales est suivi d'une forte diminution de l'O₃ troposphérique sur une zone qui s'étend du golf de Bengale à la côte ouest de l'Inde jusqu'à 25°N.

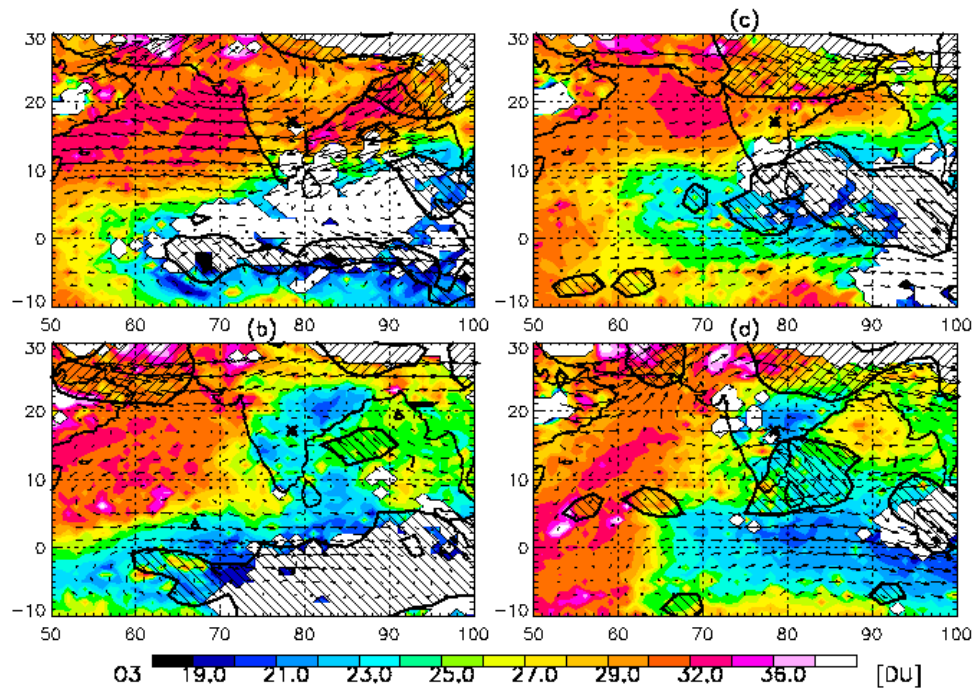
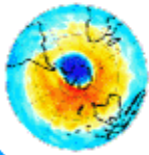


Figure 9 : colonnes troposphériques (surface-225 hPa) d'O₃ IASI-SOFRID avec les vents horizontaux (500-650 hPa) représentés par des flèches noires et les vitesses verticales (en coordonnée de pression) en contours noirs hachurés à (i) 45° dans le sens des aiguilles d'une montre pour ascension ($\omega < -0.075$ Pa/s) (ii) 45° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour descente ($\omega > 0.075$ Pa/s). Hyderabad est représentée par un astérisque noire. Pour (a) 10-11-12 Nov. 2008 (b) 16-17-18 Nov. 2008 (c) 24-25-26 Nov. 2008 (d) 28-29-30 Nov. 2008. Les vents Arpege correspondent à des moyennes pour les 5 jours précédents les périodes représentées.

Le cas d'étude présenté ici a mis en évidence que l'échantillonnage spatio-temporel inégal des données IASI permet de caractériser la variabilité méso échelle de l'O₃ troposphérique avec une fréquence quasi-journalière. Ces données globales permettront de déterminer le « temps chimique » et d'améliorer sa prévision au travers de leur introduction dans des systèmes d'assimilation. Néanmoins, comme le montrent les résultats de validation des colonnes troposphériques (Figure 8) et des profils complets (cf. Barret et al., 2010), les **données de caractérisation** (noyaux moyens, matrices d'erreur) doivent **absolument** être fournis et utilisés pour valider un modèle ou bien assimiler les données de manière **pertinente**.

Lien ADOMOCA sur ETHER :

<http://munk.ipsl.jussieu.fr/etherTypo/index.php>

Menu Activités puis Assimilation

Contact

massart@cerfacs.fr

Prochaine lettre : Mai 2011