

ACHILLE Newsletter

Lettre trimestrielle à l'attention
de la communauté ADOMOCA

Numéro 2, Juin 2009

Edito

Le Colloque bilan LEFE (Les Enveloppes Fluides et Environnement) de l'INSU vient de se réunir à Brest du 27 au 29 mai. Le programme ADOMOCA a fait l'objet d'une présentation orale. Les membres des Comités Scientifiques ont souligné le caractère novateur et structurant de notre projet, mettant en avant le développement d'outils mis à disposition de la communauté (partie LEFE-ASSIM du projet) afin de répondre à des questions scientifiques d'actualité de la basse troposphère à la stratosphère (partie LEFE-CHAT du projet). Le présente lettre donne les dernières avancées récentes des outils en particulier avec le développement d'une assimilation 4D-VAR insérée dans la chaîne Valentina ainsi que les travaux techniques et scientifiques autour des mesures de l'instrument IASI sur MetOp.

P. Ricaud et D. Cariolle

Coordinateurs ADOMOCA

L'algorithmique de l'assimilation

Optimisation de Valentina

Depuis la dernière parution de la newsletter d'Achille, la chaîne Valentina a été l'objet de quelques retouches d'ordre informatique pour en optimiser la consommation mémoire, en particulier sur des plates-formes à mémoire distribuée. Ces modifications concernent en particulier la synchronisation entre les unités de propagation temporelle directe et rétrograde des incréments et la branche qui traite les observations et la réécriture des communications entre les unités parallèles qui modélisent la matrice de covariance d'erreurs d'ébauche **B** et la branche qui les pilote.

Pour des machines scalaires à mémoire partagée on peut tirer bénéfice de l'alternance des tâches parallélisées avec OpenMP (notamment le modèle Mocage) et des tâches parallélisées avec MPI (notamment les unités

qui modélisent **B**). La gestion des ressources OpenMP dépendant du compilateur, il a fallu imposer explicitement qu'à la sortie des régions multi-threads les ressources soient libérées.

Quelques développements récents spécifiques au 4D-VAR et à Mocage peuvent aussi être utiles pour le 3D-FGAT. En particulier, les coefficients d'interpolation lagrangienne de Mocage peuvent être stockés en mémoire pour alimenter la partie dynamique des modèles linéaire tangent et adjoint pour le 4D-VAR. Il est donc possible, avec un petit surcoût mémoire de les utiliser pour le 3D-FGAT pendant le run d'analyse ou lors des mises à jour non linéaires de la boucle externe qui recouvrent le même intervalle temporel que le run d'ébauche.

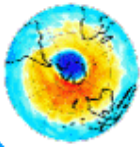
A. Piacentini

Développements pour l'aire limitée

Le travail de mise en place d'une chaîne pour les domaines à aire limitée se poursuit. Les limitations des performances sur machine vectorielle dues à la faible longueur des vecteurs dans l'algèbre linéaire requise pour l'approximation de la matrice de covariance d'erreurs d'ébauche **B** continuent de constituer un problème majeur. Une étude approfondie menée en collaboration avec L. Giraud de l'ENSEEIHIT a permis de conclure que toutes les solutions qui pourraient s'appliquer sans une refonte complète de cette partie du code risqueraient d'induire un surcoût comparable au gain en performances. Il convient d'attendre la mise en route stable de la nouvelle plateforme NEC SX9 de Météo-France avant de procéder ultérieurement à l'estimation du coût de cette partie du code en fonction du conditionnement de la matrice **B**. Il est important (et rassurant) de savoir que les premières études sur le SX8r ont montré que si la matrice est bien conditionnée, le coût descend de façon importante. Ceci ajoute encore un argument en faveur de l'estimation fine des longueurs de corrélation de l'erreur d'ébauche (par méthode d'ensemble ou NMC par exemple) dont le conditionnement de **B** dépend presque entièrement.

Une première version de l'interfaçage entre le modèle Mocage à aire limitée et l'assimilation Valentina a été implémentée dans une version beta actuellement en phase de validation.

A. Piacentini



Résurrection du 4DVAR

L'utilisation du 3D-FGAT de Valentina couplé à Mocage 60 niveaux, avec une fenêtre d'assimilation de 3 heures, a récemment montré ses limites lors de l'utilisation de la boucle externe (voir la lettre Achille n°1). En effet, dans la haute stratosphère – basse mésosphère, la dynamique est trop rapide pour être négligée sur des échelles de temps de 3 heures, hypothèse sous-jacente de l'algorithme du 3D-FGAT. Deux solutions sont alors envisageables : réduire la durée de la fenêtre d'assimilation ou changer de méthode. Pour cette seconde solution, nous avons donc ressuscité les développements de la méthode 4D-VAR effectués il y a maintenant plusieurs années. L'implémentation de cette méthode dans Valentina a été réalisée dernièrement spécifiquement pour Mocage, dans un souci d'optimisation (mémoire et temps de calcul).

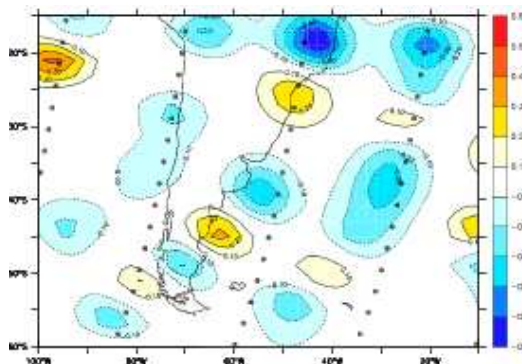


Figure 1 : zoom de l'incrément (en ppmv) du 4D-VAR de Valentina à 10 hPa pour le 27 août 2007 lors de l'assimilation des données MLS dans Mocage. Les points noirs représentent les lieux des mesures.

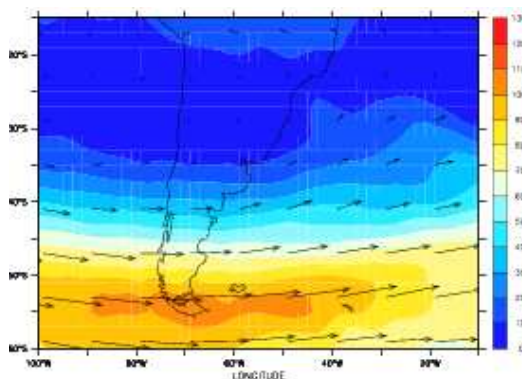


Figure 2 : zoom de la coupe horizontale de l'intensité du vent (en m/s) à 10 hPa le 27 août 2007. Les flèches représentent les vecteurs vitesses.

Elle est maintenant opérationnelle et en cours de validation. Les premiers résultats sont encourageants comme en témoigne la Figure 1. En effet, les incréments sont centrés autour des lieux d'observations dans les régions où la

dynamique est lente (voir Figure 2) et ils sont décalés dans les régions où la dynamique est rapide.

S. Massart

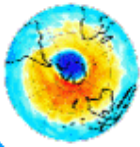
Contrôle spectral pour l'assimilation dans Valentina

Les données de nouvelle génération comme celles fournies par l'instrument IASI (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge) ont une résolution horizontale inférieure à 50 kms. Or la résolution actuelle de la grille horizontale globale du CTM Mocage utilisée dans le système d'assimilation Valentina est de $2^\circ \times 2^\circ$ (soit environ 250 kms). Une première solution pour procéder à l'assimilation des données haute résolution consiste à prendre la valeur moyenne des observations sur les cellules du modèle (super-observations). Afin d'éviter la perte d'informations résultante, on préférerait augmenter la résolution du modèle, ce qui est coûteux en temps de calcul et en mémoire. L'assimilation dans l'espace spectral, qui est en train d'être mise en place, a pour but de réduire l'explosion du coût numérique induite par cette augmentation de résolution du modèle.

Un champ physique quelconque défini sur l'ensemble de la sphère Terre peut se décomposer en une somme infinie d'harmoniques sphériques. Il est alors représenté par une suite de coefficients dits spectraux, que l'on tronque en fonction de l'erreur de représentation prête à être admise. Pour une discrétisation spatiale en n points en latitude et en $2n$ points en longitude, la taille du contrôle en spectral sans troncature est de $n(n+1)$ alors qu'elle est de $2n^2$ en points de grille. Même si on perd en précision, l'assimilation dans l'espace spectral permet donc de réduire significativement la taille du contrôle, réduisant ainsi la consommation en mémoire et accélérant la convergence de l'optimisation. Son implémentation dans le système d'assimilation Valentina s'appuie sur les routines du package *Spherepack*¹ pour la décomposition d'un champ initialement défini sur une grille de Gauss.

L'objectif à terme est de développer une assimilation permettant d'exploiter au mieux les données IASI avec une stratégie multi-échelle pour y parvenir. Le processus d'assimilation se ferait successivement sur une grille T42 (64 points de discrétisation en

¹ <http://www.cisl.ucar.edu/css/software/spherepack/>



latitude), puis sur une grille T85 (128 points) et enfin sur une grille T170 (256 points) en utilisant l'algorithme de la boucle externe (c.f. la lettre Achille n°1). La première assimilation avec une troncature T42 générerait les structures du champ étudié de plus haute énergie. Les étapes suivantes avec les troncatures T85 et T170 seraient alors plus rapides (les principales structures de l'incrément étant déjà créées).

La première étape, qui consiste à adapter Valentina pour optimiser le contrôle exprimé dans l'espace des harmoniques sphériques, est maintenant presque achevée. Reste à la valider pour une grille fixe (T42 dans un premier temps) et à comparer les résultats avec ceux issus d'une optimisation, plus commune, en points de grille.

B. Pajot

La science

Etude des échanges dynamiques entre les hautes et moyennes latitudes pendant l'hiver boréal 2004/2005

L'hiver boréal 2004/2005 a été marqué par des températures stratosphériques polaires exceptionnellement froides. De telles conditions pouvaient laisser attendre un épisode marqué de destruction d'ozone, qui ne s'est finalement pas révélé dans les observations. Cette situation n'était qu'imparfaitement comprise à l'aide des simulations du modèle chimique Mocage et que partiellement documentée dans les mesures ; l'assimilation est un outil idéal pour combiner les informations du modèle et des observations, afin de reconstituer le déroulement de l'hiver. Ainsi cette étude (El Amraoui et al., 2008) vise la compréhension des conditions dynamiques qui ont fait que la destruction chimique pendant l'hiver 2004/2005 n'était pas identique à celle observée au cours de l'hiver boréal 1999/2000 malgré le fait que les deux hivers avaient des conditions météorologiques similaires dans la basse stratosphère (voir Figure 3).

Les mesures d'ozone (O_3) et du protoxyde d'azote (N_2O) du sondeur américain Aura/MLS ont été assimilés dans Mocage-Palm dans l'objectif de (i) décrire plus précisément les processus dynamiques à l'aide de N_2O étant donné que c'est un traceur des masses d'air dans la basse stratosphère, et (ii) de quantifier la perte photochimique d'ozone à l'intérieur du vortex. À noter que la grande difficulté de l'estimation de la perte chimique

d'ozone à l'intérieur du vortex consiste à prendre en compte les variations d'ozone d'origine dynamique dont les mouvements de subsidence diabatique sont beaucoup plus importants dans le vortex qu'en dehors.

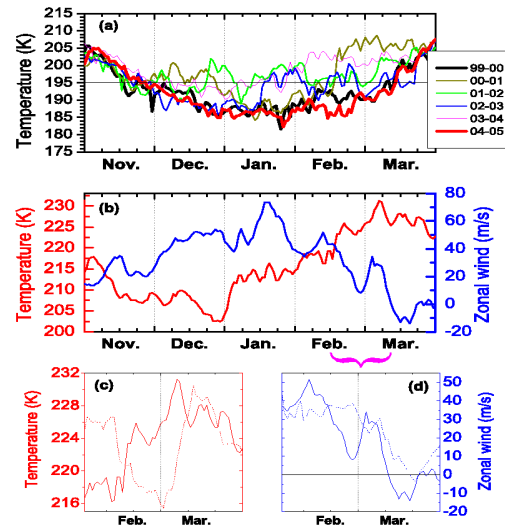


Figure 3 : (a) Températures minimales au nord de 40°N à partir des données ECMWF sur le niveau 475K pour les 6 hivers boréaux : de 1999/2000 jusqu'à 2004/2005. L'hiver 2004/2005 est presque similaire à l'hiver 1999/2000 qui reste exceptionnellement froid par rapport aux autres hivers. (b) Evolution temporelle de la moyenne zonale de la température (rouge) et le vent zonal (bleu) à 10 hPa et 60°N. (c) et (d) comparaison entre les deux hivers 1999/2000 (pointillé) et 2004/2005 (trait complet) de l'évolution temporelle de la température et du vent zonal. Les deux dernières figures représentent seulement février et mars où l'effet de mélange était important durant l'hiver 2004/2005.

Les analyses de N_2O ont permis d'étudier en détail la dynamique du vortex polaire. L'étude conjointe des analyses d' O_3 et de N_2O a finalement permis d'identifier les phénomènes dynamiques (subsidence diabatique et transport méridien) particuliers qui expliquent quantitativement la faible destruction chimique d'ozone en comparaison avec celle de l'hiver 1999/2000. En effet, le calcul de la diffusivité effective à partir des analyses de N_2O a montré que les phénomènes de mélange entre le vortex polaire et les latitudes moyennes étaient plus importants que la subsidence diabatique entre début Janvier et fin Mars 2004 (voir Figure 4). Les effets de mélange ainsi identifiés expliquent quantitativement la relativement faible destruction chimique d'ozone en comparaison avec celle de l'hiver boréal 1999/2000. Les analyses d' O_3 ont montré un maximum de perte chimique de l'ozone de l'ordre de 1,5 ppmv sur la surface isentropie 425K tenant en compte l'effet de la subsidence diabatique.

L. El Amraoui

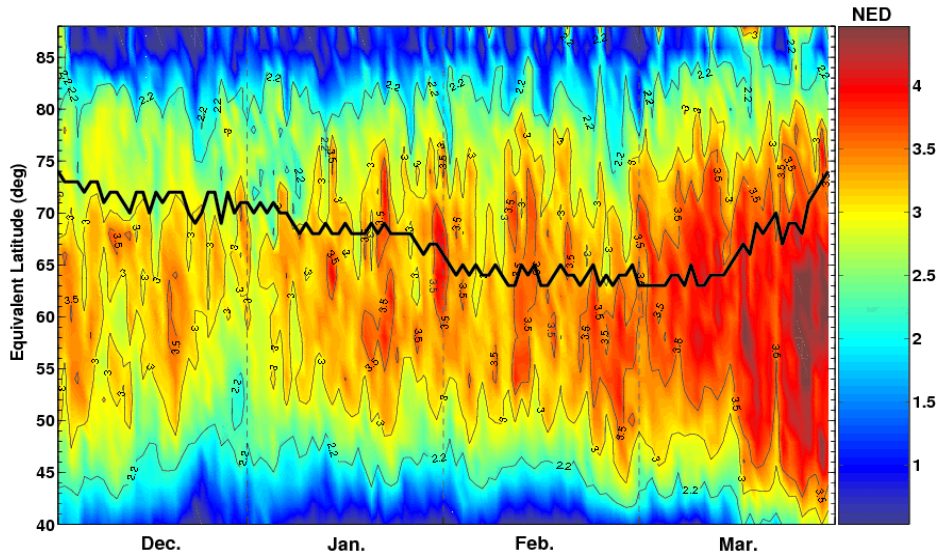
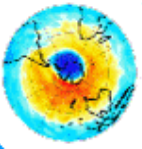


Figure 4 : Evolution temporelle du logarithme de la diffusivité effective normalisée (NED) sur le niveau isentropie 500K déduite à partir des analyses de N_2O . Le trait noir correspond à une estimation de la position du vortex polaire à partir de la vorticité potentielle. A noter que les faibles valeurs de NED correspondent au faible mélange et vice-versa. Clairement, le mélange entre le vortex et les moyennes latitudes est important à partir de fin janvier jusqu'à fin mars. Ce mélange a ramené de l'air riche en ozone depuis les moyennes vers les hautes latitudes, ce qui explique la faible perte chimique de l'ozone à l'intérieur du vortex pendant cet hiver.

Une validation des données IASI par assimilation dans Valentina

L'interféromètre IASI (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge) mesure depuis 2007 les radiations infrarouges émises depuis la surface de la Terre et l'atmosphère. Grâce à sa très haute résolution spectrale, cet instrument fournit des données de très bonne qualité de température, d'humidité ainsi que des principaux composés chimiques de l'atmosphère. Même si IASI a initialement été dessiné pour améliorer la prévision météorologique à court terme, ses données peuvent aussi être utilisées pour suivre l'évolution des espèces chimiques atmosphériques.

L'étude publiée dans [Massart *et al.* 2009] contribue à la validation des colonnes totales d'ozone de IASI produites au Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) à partir de l'inversion des radiances par une approche en réseaux de neurones. Les données IASI ont été comparées à des colonnes totales d'ozone issues d'analyses Valentina effectuées à partir de l'assimilation simultanée des profils d'ozone de l'instrument MLS et des colonnes totales de l'instrument SCIAMACHY. Des comparaisons sur 5 mois de données (d'août à décembre 2007) ont en particulier permis d'estimer la précision moyenne des données IASI à environ 6%.

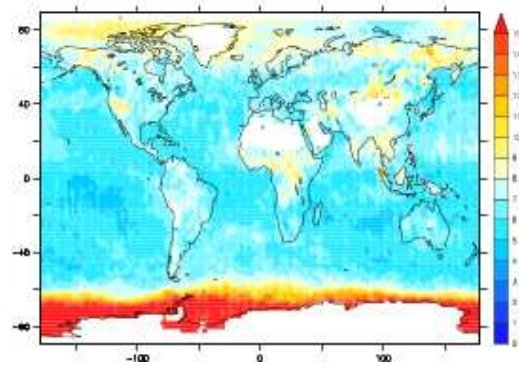


Figure 5 : estimation de la précision moyenne (en %) des colonnes totales d'ozone IASI issues du LATMOS pour les données de nuit. L'estimation est réalisée sur la période d'août à décembre 2007.

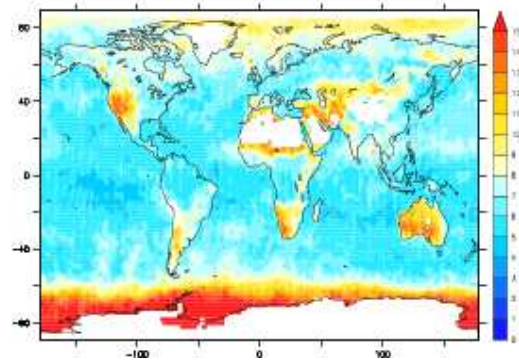
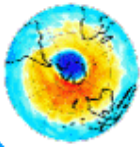


Figure 6 : estimation de la précision moyenne (en %) des colonnes totales d'ozone IASI issues du LATMOS pour les données de jour. L'estimation est réalisée sur la période d'août à décembre 2007.



Cependant il existe des disparités entre les régions et entre les données de jour et de nuit (Figure 5 et Figure 6). La précision est globalement meilleure la nuit durant laquelle le contraste thermique est plus important que pendant le jour. Dans les deux cas, la précision est moins bonne dans les régions désertiques (plus particulièrement le jour) et les régions polaires.

S. Massart

Restitution rapide des profils d'ozone à partir des radiances IASI avec SOFRID: premiers résultats et validation.

L'instrument IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer), lancé en octobre 2006 à bord du premier satellite MetOp, permet de mesurer le contenu troposphérique en ozone (O_3) et en monoxyde de carbone (CO). Notre projet a pour objectif de restituer les profils verticaux d' O_3 et de CO à partir des radiances mesurées par IASI assez rapidement pour traiter les données de manière quasi opérationnelle.

Le **SO**ftware for a **F**ast **R**etrieval of IASI **D**ata (**SOFRID**) développé au Laboratoire d'Aérodologie à cet effet, est construit à partir du code de transfert radiatif opérationnel RTTOV et du module de restitution 1D-Var du pôle EUMETSAT/NWPSAF. Les paramètres météorologiques tels que la température et l'humidité atmosphérique et de surface sont calculés à partir des analyses ECMWF pour chaque pixel IASI. Les restitutions utilisent la méthode d'estimation optimale [Rodgers, 2000] basée sur une combinaison statistique de la mesure (radiances mesurées et matrice de bruit) et d'une information *a priori* (profil moyen et matrice de covariance). Notre information *a priori* provient d'une base de données de profils d' O_3 construits à partir de radiosondages du réseau WOUDC complétés en altitude par des observations du sondeur Aura/MLS [Froidevaux *et al.*, 2008]. Les restitutions d' O_3 sont faites à partir de la fenêtre spectrale $980-1100\text{ cm}^{-1}$ qui contient la bande d'absorption de l' O_3 à $9.6\ \mu\text{m}$. Dans le but d'éviter des interférences, les régions spectrales avec de fortes absorptions de H_2O ont été exclues. La matrice de covariance de bruit est choisie diagonale avec une valeur de bruit unique de $0.35\text{ mW}/(\text{m}^2.\text{cm}^{-1}.\text{str})$ qui correspond à l'écart type moyen du résidu entre le spectre observé et le spectre ajusté.

Le SOFRID permet de caractériser les profils restitués en calculant les matrices de covariance d'erreur, les fonctions de lissage et

le nombre d'éléments d'information indépendants contenus dans la mesure ou Degrees of Freedom for signal (DFS) [Rodgers, 2000]. Un exemple de fonctions de lissage pour 3 couches atmosphériques est montré sur la Figure 7. Cet exemple correspond à un DFS total de 2.8 avec 0.7 dans la troposphère (en-dessous de 350 hPa) et 0.95 dans l'UTLS (350-100 hPa). Le contenu en information troposphérique élevé provient du fort contraste thermique entre la surface et la première couche atmosphérique de la scène observée (10°K). Au-dessus de l'Europe, le DFS moyen est proche de 2.5 avec des valeurs plus faibles et moins d'information dans la troposphère au nord.

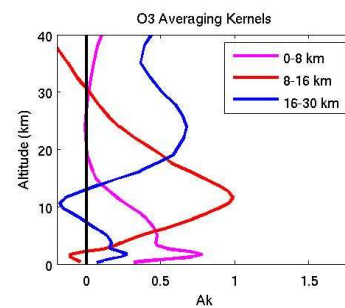


Figure 7: fonctions de lissage de l' O_3 pour un pixel mesuré le 18/07/2007 sur le sud de l'Europe.

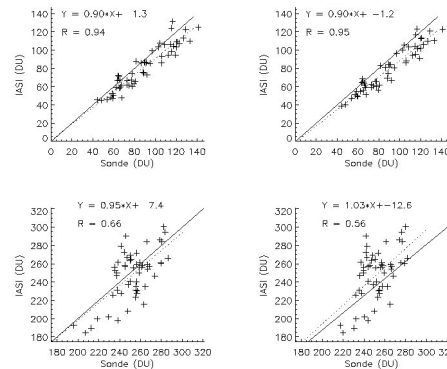
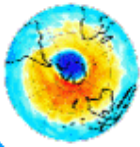


Figure 8: Comparaisons entre les restitutions IASI/SOFRID et (panneaux de gauche) les données WOUDC/MLS (panneaux de droite) les données WOUDC/MLS convoluées avec les fonctions de lissage IASI. (panneaux du haut) colonnes en-dessous de 100 hPa (panneaux du bas) colonnes au-dessus de 100 hPa.

Des comparaisons entre des profils d' O_3 IASI/SOFRID et des profils WOUDC/MLS de notre base de données O_3 pour le mois de Juillet 2007 ont été effectuées. La Figure 8 montre en particulier les résultats pour les colonnes partielles troposphère/UTLS (en-dessous de 100 hPa) et stratosphère (au-dessus de 100 hPa). Pour les colonnes en-dessous de 100 hPa, l'accord entre IASI et les colonnes WOUDC/MLS est excellent avec un



coefficient de corrélation $R=0.95$ et des pentes issues d'un ajustement linéaire de 0.90. Les coefficients de corrélation sont plus faibles ($R \sim 0.6$) pour les colonnes au-dessus de 100 hPa.

Les comparaisons du contenu troposphérique (en dessous de 350 hPa) et UTLS (350-100 hPa) confirment que les restitutions IASI/SOFRID contiennent plus d'information dans l'UTLS ($R=0.93$) que dans la troposphère ($R=0.63$).

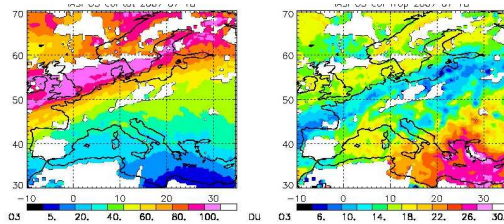


Figure 9: colonnes d'O₃ IASI/SOFRID au dessus de l'Europe pour le 18/07/2007 (gauche) UTLS (350-100 hPa) (droite) troposphère (en dessous de 400 hPa).

Enfin, les distributions IASI/SOFRID d'O₃ dans la troposphère et dans l'UTLS au-dessus de l'Europe le 18/07/2007 sont représentées sur la Figure 9. Dans la troposphère, les maxima d'O₃ sont mesurés au-dessus de la Méditerranée de l'est, région connue pour sa forte pollution photochimique en été [Lelieveld *et al.*, 2002]. Les contenus troposphériques IASI/SOFRID sont aussi en accord qualitatif avec [Eremenko *et al.*, 2008] avec des valeurs élevées aussi au-dessus de l'Europe centrale. Dans l'UTLS les maxima d'O₃ sont présents dans une large bande au-dessus de l'Europe du nord depuis l'Irlande jusqu'à la Scandinavie et des colonnes très faibles sont mesurées au dessus de la Méditerranée. Les cartes de tourbillon potentiel (PV) calculé par le modèle Mimosia (<http://munk.ipsl.jussieu.fr>) montrent des valeurs de PV très fortement corrélées avec les colonnes UTLS IASI/SOFRID, ce qui indique la présence d'air stratosphérique polaire au dessus de l'Europe du nord. L'absence de corrélation entre les colonnes troposphériques et UTLS montre la capacité de IASI pour caractériser ces deux couches atmosphériques indépendamment.

B. Barret et E. Leflochmoën

Bibliographie

El Amraoui, L., N. Semane, V.-H. Peuch and M. L. Santee, Investigation of dynamical and chemical processes in the polar stratospheric vortex during the unusually cold winter 2004/2005, *Geophys. Res.*

Let., 35, L03803, doi:10.1029/2007GL031251, 2008.

Eremenko, M., Dufour, G., Foret, G., et al., Tropospheric ozone distributions over Europe during the heat wave in July 2007 observed from infrared nadir spectra recorded by IASI, *Geophys. Res. Let.*, L18805, 2008.

Froidevaux, L., Y.B. Jiang, A. Lambert, et al., Validation of Aura Microwave Limb Sounder stratospheric ozone measurements, *J. Geophys. Res.* 113, D15S20, doi:10.1029/2007JD008771, 2008.

Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., et al.: Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean, *Science*, 298, 794-799, 2002.

Massart S., C. Clerbaux, D. Cariolle, A. Piacentini, S. Turquety, and J. Hadji-Lazaro, First steps towards the assimilation of IASI ozone data into the MOCAGE-PALM system, *Atmos. Chem. and Phys. Discuss.*, 9, 6691-6737, 2009.

Rodgers, C. D., Inverse methods for atmospheric sounding: Theory and Practice, *Series on Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics - Vol. 2*, World Scientific, 2000.

Liste des auteurs

B. Barret	pierre.barret@aero.obs-mip.fr
D. Cariolle	cariolle@cerfacs.fr
L. El Amraoui	laaziz.elamraoui@meteo.fr
S. Massart	massart@cerfacs.fr
B. Pajot	pajot@cerfacs.fr
A. Piacentini	andrea@cerfacs.fr
P. Ricaud	Philippe.Ricaud@aero.obs-mip.fr

Lien ADOMOCA sur ETHER :

<http://munk.ipsl.jussieu.fr/etherTypo/index.php>
Menu Activités puis Assimilation

Contact

massart@cerfacs.fr

Prochaine lettre : septembre 2009