HAL
open science

Humidité de la troposphère libre tropicale

Julien Lemond, L. Picon, R. Roca, Hélène Brogniez, R. Guzman

To cite this version:

Julien Lemond, L. Picon, R. Roca, Hélène Brogniez, R. Guzman. Humidité de la troposphère libre tropicale. LES SATELLITES GRAND CHAMP pour le suivi de l'environnement, des ressources naturelles et des risques, Clermont-Ferrand : France (2010), Jan 2010, Clermont-Ferrand, France. hal-00547727

HAL Id: hal-00547727

https://hal.science/hal-00547727v1

Submitted on 17 Dec 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GDR 2839
MSG-ATR

Humidité de la troposphère libre tropicale

J. Lémond[1], L. Picon[1], R. Roca[1], H. Brogniez[2] et R. Guzman[1]

1. *Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL/UPMC,Case 99, 4 place Jussieu,75252 Paris Cedex*
2. *LATMOS, Avenue de l'Europe, 78xxx Vélizy*

Email: picon@lmd.polytechnique.fr

Résumé

L'humidité atmosphérique est un paramètre clef du climat des régions intertropicales, non seulement au niveau de la surface mais également plus en altitude, où l'humidité module fortement le rayonnement infrarouge sortant.

Une archive de l'humidité en altitude, élaborée au LMD à partir des données du canal "vapeur d'eau" à 6.3µm de METEOSAT pour la période 1983-2005 est présentée.

En s'appuyant sur ces données METEOSAT, mais également sur les données du satellite AIRS et des réanalyses, une méthodologie permettant d'analyser la variabilité interannuelle de l'humidité de la troposphère libre a été mise au point pour les régions les plus sèches. Cette démarche permet de relier la variabilité interannuelle observée aux grands modes climatiques. Les résultats d'un modèle de rétrotrajectoires sont ensuite utilisés pour interpréter en termes dynamiques ces variations observées. Ainsi, pour le mode ENSO, les masses d'air les plus sèches autour de 500hPa et dans l'Hémisphère Nord proviennent le plus souvent d'une région située au voisinage du Jet d'Ouest Subtropical, la modulation interannuelle provenant plus de la fréquence de ces évènements que de leur latitude d'origine.

Introduction

La vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère est un puissant gaz à effet de serre. La littérature récente lui accorde un effet amplificateur du réchauffement climatique. (Bony *et al.*, 2006 ; Soden et Held, 2006 ; Pierrehumbert *et al.*, 2007 ; Dessler et Sherwood, 2009)

La surface terrestre est une source importante de vapeur d'eau ce qui entraine de très fortes concentrations dans les basses couches de l'atmosphère. Cependant, la vapeur d'eau est également à l'origine des formations nuageuses et le résultat des expulsions d'air humide en provenance des nuages. Elle est ensuite transportée et mélangée par les masses d'air à différentes altitudes et donc très influencée par les mouvements atmosphériques à toutes les échelles spatio-temporelles.

L'observation depuis l'espace des champs d'humidité atmosphérique est donc complexe. Plusieurs instruments fournissent une mesure de la quantité intégrée de vapeur d'eau sur toute la colonne atmosphérique (eau précipitable), qui est dominée par l'humidité provenant des couches proches de la surface (Schultz, 2009).
Pourtant le dernier rapport du GIEC (2007) et une littérature abondante sur le sujet (voir l'article de revue : Sherwood *et al*., 2009), indique l'importance de la troposphère libre, notamment des niveaux autour de 500hPa (environ 5km). En effet, à cette altitude, bien que la quantité de molécules d'eau par unité de masse d'atmosphère soit réduite, la vapeur d'eau agit très fortement sur le rayonnement thermique qui s'échappe vers l'espace. Cette interaction est d'autant plus forte que l'atmosphère est sèche, conférant ainsi aux régions sèches vers 5km, un rôle particulier dans l'équilibre énergétique du système climatique (Spencer et Braswell, 1997).

Une archive de l'humidité de la troposphère libre tropicale

Les satellites géostationnaires METEOSAT possèdent depuis 1979 un canal centré sur la bande d'absorption de la

vapeur d'eau autour 6.3µm (Schmetz et Turpeinen, 1998). Actuellement, l'ensemble des satellites géostationnaires permet cette mesure sur l'ensemble de la ceinture intertropicale .

Une théorie simplifiée du transfert radiatif à ces longueurs d'ondes permet de relier les températures de brillance de ce canal au logarithme de l'humidité relative, moyennée sur une couche d'atmosphère autour de 500 hPa, d'épaisseur variable selon les conditions thermodynamiques du pixel observé. Selon ce principe, une archive de l'humidité ainsi calculée (désignée par FTH) a été établie sur la période 1983-2005, avec une résolution spatiale de 0,625° et temporelle de 3h. L'ensemble de l'archive a été homogénéisée et inter étalonnée sur le radiomètre HIRS/12. (Picon *et al.*, 2003 ; Brogniez *et al.*, 2006). Une archive similaire mais moins longue (1998-2005) est également disponible au-dessus de l'Océan Indien, grâce à la disponibilité d'un satellite METEOSAT à 63°E.

Cette longue série de données d'humidité a été analysée afin de documenter et d'interpréter les variabilités de ce champ dans les régions tropicales.

La figure 1 présente le champ moyen de FTH pour tous les étés disponibles dans l'archive ainsi que le coefficient de variation, caractérisant la dispersion relative d'un été à l'autre. Les régions les plus sèches sont localisées à l'Est du bassin méditerranéen et dans la région de l'Anticyclone de Ste Hélène et présentent un fort coefficient de variation traduisant dans ces régions une forte variabilité interannuelle.

Cependant, pour ces régions les plus sèches qui modulent de façon déterminante le rayonnement thermique sortant, l'opérateur de moyenne temporelle, traditionnellement utilisé en climatologie, introduit un biais non négligeable. La figure 2 présente la distribution des FTH pour la région Est Méditerranée au cours de l'été 1985: cette distribution est très piquée et très asymétrique. Prendre la moyenne de cette distribution comme indicateur de sècheresse revient à surestimer l'humidité.

Variabilité interannuelle de l'humidité de la troposphère libre tropicale

Afin de généraliser ces résultats à l'ensemble de la ceinture intertropicale, une analyse statistique des champs d'humidité à 500hPa fournis par les réanalyses (NCEP1/2, ERA40/Interim) et le sondeur AIRS a été mené. L'ensemble de ces données montre que les régions sèches intertropicales ont des distributions d'humidité s'éloignant d'une distribution gaussienne, alors que les régions plus humides s'en rapprochent (Lémond, 2009).

Un nouvel indice de sècheresse est donc proposé pour étudier les variabilités de la FTH au cours d'une saison donnée: le nombre d'occurrences sèches (RHp10). On le calcule en comptabilisant sur une saison le nombre d'évènements dont l'humidité relative à 500 hPa est plus faible que 10%. Afin d'appréhender l'origine des variabilités interannuelles d'humidité dans les régions sèches, une analyse composite de cet indice a été menée pour les grands modes de variabilités climatiques : EL Nino Southern Oscillation (ENSO), North Atlantic Oscillation (NAO), Dipole Mode Index (DMI), All Indian Rainfall Index (AIRI). La figure 3 présente la différence significative à 95% entre les indices d'occurrence sèche (RHp10) des hivers présentant un phénomène El Niño et ceux des hivers présentant un phénomène La Niña. Les régions concernées sont essentiellement localisées sur l'Océan Pacifique, avec des effets résiduels sur l'Atlantique., en cohérence avec les études menées avec d'autres instruments (Soden et Bretherton, 1993 ; Bates *et al.*, 2001).

L'origine de ces variations d'air sec d'une année à l'autre est étudiée à l'aide d'un modèle qui retrace « l'histoire » de la masse d'air qui arrive à 500hPa dans une région donnée (Pierrehumbert et Roca, 1998). Ce modèle de rétro - trajectoires permet de connaître, sous certaines hypothèses adaptées aux régions d'étude, la localisation de la dernière saturation de la masse d'air. L'analyse conjointe des champs composites (Fig. 3) et des rétrotrajectoires a montré que les masses d'air alimentant les régions sèches du Pacifique provenaient des mêmes latitudes et altitudes quelque soit l'année considérée, mais que c'étaient le nombre d'évènements secs qui variaient entre les composites El Niño et La Niña. Le plus souvent, la latitude de dernière saturation se situe autour du Jet d'Ouest Subtropical, indiquant ainsi que les événements les plus secs sont probablement liés à une intrusion d'air sec extra-tropicale.

Cette analyse est à rapprocher de l'analyse interannuelle faite précédemment sur les FTH METEOSAT au-dessus de l'Est de la Méditerranée (Brogniez *et al.*, 2009). Dans cette étude, les valeurs de FTH peuvent être discriminées selon les années en fonction de leur degré de sècheresse et l'origine tropicale ou extra-tropicale de la masse d'air, montrant

ainsi que la variabilité de l'humidité à cette altitude est influencée non seulement par les phénomènes de convection tropicaux, mais également par des mécanismes dynamiques d'interaction Tropiques Extra-tropiques.

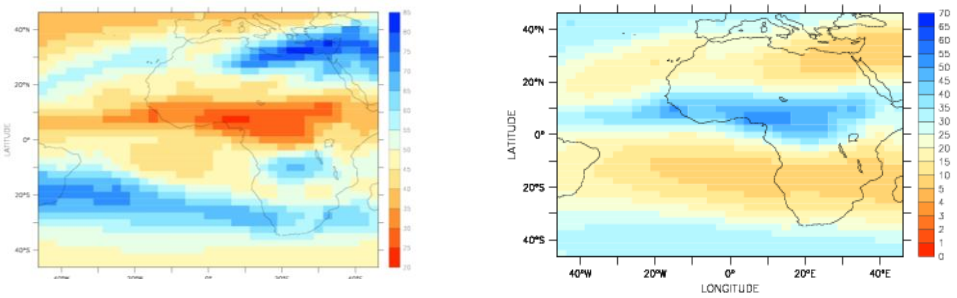


Figure 1 Champ moyen (gauche) et Coefficient de variation (droite) pour les saisons Juin-Juillet-Août (JJA) de la période 1983-2005, estimés à partir des données FTH/METEOSAT. Les cartes s'expriment en pourcentage.

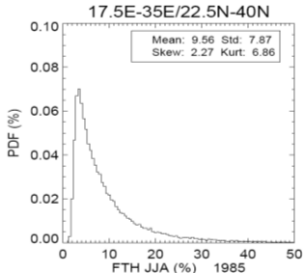
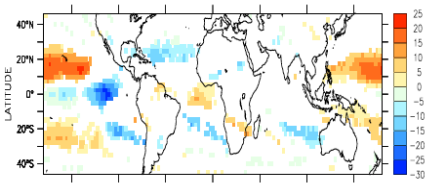


Figure 2 Distribution statistique de l'humidité relative au niveau de pression 500 hPa pour la région Est Méditerrannéenne (17.5°E-35°E /22.5°N-40°N) pour la saison Juin-Juillet-Août (JJA) de l'année 1985. Le calcul est effectué en cumulant la saison et l'ensemble des points de grille, à partir de METEOSAT. L'axe des abcisses représente les classes d'humidité relative (en %), et l'axe des ordonnées le pourcentage de population (en %).



(d) ENSO NCEP2

Figure 3 Différence composite (significative à 95 %) pour l'indice d'occurrences sèches (RHp10) entre sept hivers (saison Décembre-Janvier-Février des années 1983, 1987, 1992, 1995, 1998, 2003, 2005) El Niño et six hivers La Niña (1985, 1989, 1996, 1999, 2000, 2001). Le calcul est effectué à partir des réanalyses NCEP-2. Seules les valeurs significatives au seuil de confiance de 95 % sont représentées.

Conclusion et perspectives

L'utilisation des canaux d'imageurs centrés sur les bandes d'absorption de la vapeur d'eau permet une analyse de la variabilité de l'humidité, dans une zone d'altitude déterminante pour le bilan radiatif. L'élaboration d'une archive d'une vingtaine d'années à partir de l'imagerie METEOSAT a permis de mettre au point une méthodologie originale pour caractériser les variabilités de ce champ en s'affranchissant de l'opérateur de moyenne qui introduit un biais pour les régions les plus sèches. Cette méthodologie a été appliquée également sur les champs d'humidité fournis par les grands centres opérationnels ainsi que sur les observations satellites Atmospheric Infrared Sounder (AIRS)

(Aumann *et al.*, 2003). Les caractéristiques sont robustes d'un type de donnée à l'autre, avec des distributions dans les régions les plus sèches comparables et présentant une forte variabilité. Cet indice de sècheresse a permis d'analyser la variabilité interannuelle des régions les plus sèches et de la relier aux grands modes climatiques. Pour le mode ENSO, une partie des origines de masses d'air les plus sèches provient des latitudes du Jet Ouest Suptropical, plus nombreuses dans le cas des années La Niña.

Il est important de pouvoir déterminer les comportements des champs d'humidité à cette altitude sur des périodes longues, afin de comprendre si une tendance climatique peut se dégager. L'archive d 'humidité présentée ici jusqu'en 2005, devrait pouvoir très prochainement être prolongée, en incluant les mesures produites par la seconde génération des satellites METEOSAT.

D'autre part, le rôle de la vapeur d'eau de la troposphère libre sur l'effet de serre est assez peu documenté sur les régions continentales les plus sèches. Une étude préliminaire reliant l'effet de serre et les observations de FTH provenant du canal à 183 GHz de l'instrument HSB (RGuzman, 2009) a montré une bonne concordance avec les résultats théoriques attendus, mais un effet déterminant de la température de surface. Cette étude devrait pouvoir être approfondie avec la disponibilité prochaine des mesures du sondeur d'humidité SAPHIR sur le satellite Megha-Tropiques, dont le lancement est prévu pour la fin de l'année 2010.

REFERENCES

Aumann, H.H., M.T. Chahine, C. Gautier, M. Goldberg, E. Kalnay, L., McMillin, H. Revercomb, P.W. Rosenkranz, W. L. Smith, D. H. Staelin, L., Strow and J. Susskind, 2003 : AIRS/AMSU/HSB on the Aqua Mission: Design, Science Objectives, Data Products and Processing Systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.41.2. pp.253-264.

Bates J., Jackson D., Bréon F.-M., Bergen Z., 2001 : Variability of tropical upper tropospheric humidity 1978-1998. *J. Geophys. Res.*,106, 32, 271-32, 281.

Bony S. *et al.* , 2006 : How Well Do We Understand and Evaluate Climate Change Feedback Processes? *J.Climate.*,Vol.19, 3445-3482.

Brogniez H., Roca R. and L. Picon 2009 A study of the free tropospheric humidity interannual variability using Meteosat data and an advection-condensation transport model *J. Climate*, 22, 6773-6787, DOI: 10.1175/2009JCLI2963.1

Brogniez H., Roca R., Picon L., 2006 : A clear sky radiances archive from METEOSAT "water vapor" observations. *J. Geophys. Res.*, 111, D21109, doi:10.1029/2006JD007238

Dessler, A.E., and Sherwood, S.C., 2009 : A matter of humidity, *Science*, 323, 1020-1021, DOI: 10.1126/science.1171264.

Guzman R., 2009 : A preliminary study of the clear-sky greenhouse effect and its links with water vapour over land in the tropics. Summer School WAVACS, Cargèse.

Held I.M. et Soden B.J., 2000 : Water vapor feedback and global warming. *Ann. Rev. Energy Environ.*, vol. 25, 441-475.

Lémond J., 2009 : Climatologie et variabilité de l'air sec de la troposphère libre intertropicale : analyse du climat actuel et de son évolution. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, pp. 203, 8 décembre 2009.

Picon L, R. Roca, S Serrar, JL Monge et M Desbois, 2003 : A new METEOSAT water vapor archive for climate studies, *J. Geophys Res.*, vol 108, D10,10.1029/2002JD002640.

Pierrehumbert R., Brogniez H., Roca R., 2007: On the relative humidity of the atmosphere, in: *The Global Circulation of the Atmosphere*, edited by; Schneider T. and Sobel A., Princeton university Press., pp 143-185.

Pierrehumbert R.T. and R. Roca, 1998, Evidence for control of atlantic subtropical humidity by large scale advection, Geophysical Research Letters, vol. 25, pp 4537-4540

Schmetz, J., and O.M. Turpeinen, 1988 : Estimation of the Upper Tropospheric Relative Humidity Field from METEOSAT Water Vapor Image Data. *J. Appl. Meteor.*, 27, 889-899.

Schultz J., and co-authors, 2009, Operational climate monitoring from space: the EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM-SAF), *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 1687-1709, www.atmos-chem-phys.net/9/1687/2009/

Sherwood, S. C., R. Roca, T. Weckwerth, and N. Andronova, 2009 : Tropospheric water vapor, convection and climate: a critical review. *Rev. Geophys.*, doi:10.1029/2009RG000301.

Spencer, R. and W. Braswell, How dry is the tropical free troposphere? Implications for a global warming theory, Bull. Am. Meteor. Soc., *78*, 1097-1106, 1997.

Soden, B.J., and I.M. Held, 2006: An assessment of climate feedbacks in coupled ocean-atmosphere models. *J. Climate*, 19(14), 3354-3360.

Soden B. J., and Bretherton F. P., 1993 : Upper troposphere relative humidity from the GOES 6.7 um Channel: Method and climatology for July 1987, *J. Geophy. Res.*, 16, pp 669-16.

a espace ,

a espace :