

FICHIERS DE PLUIES ET MODÉLISATION HYDROLOGIQUE : APPLICATIONS EN AMAZONIE

RONCHAIL J.¹, NGO-DUC T.², GETIRANA A.³, ESPINOZA J.- C.⁴, GUYOT J.- L.⁵ et
DRAPEAU G.⁶

¹ Université Paris Diderot - Laboratoire d'Océanographie et de Climat : expérimentation et approches numériques (LOCEAN), 4 place Jussieu, 75005 PARIS, France. josyane.ronchail@locean-ipsl.upmc.fr

² National Hydro-Meteorological Service, 62/23 Nguyen Chi Thanh avenue, HANOI, Vietnam

³ Météo-France, 42, avenue Gaspard Coriolis, BP 45712, 31057 TOULOUSE Cedex, France

⁴ Centre National d'Etudes Spatiales, TOULOUSE – CP 7091 Lago Sul, 71635-971 BRASÍLIA DF, Brésil

⁵ IRD, CP 7091 Lago Sul, 71635-971 BRASÍLIA DF, Brésil

⁶ Université Paris Diderot, rue Marguerite Duras, 75013 PARIS, France

Résumé : Différents fichiers de pluies quotidiennes (issus de données de stations météorologiques, de données satellitaires et de données de réanalyses) et deux modèles hydrologiques sont utilisés pour simuler les débits dans le bassin amazonien. Le fichier de pluies de l'Observatoire de Recherche pour l'Environnement Hybam, résultant de mesures dans les stations des différents pays amazoniens permet la meilleure modélisation des débits dans le bassin du Rio Negro.

Mots-clés : fichiers de pluie, Amazonie, débit, modélisation

Abstract: Rainfall datasets and hydrological modelling: applications in the Amazon basin

Different daily rainfall datasets (gauged-based, satellite-based and model-based) and two hydrological models were used to simulate discharge values in the Amazon basin. The rainfall dataset from the Research Observatory for Environment Hybam, resulting from measures in the different Amazonian countries, provided the best discharge modelling in the Negro basin.

Keywords: rainfall dataset, Amazon, discharge, modelling

Introduction

La simulation des débits dans le bassin amazonien est envisagée pour plusieurs raisons :

- contrôler la capacité des modèles hydrologiques à reproduire le niveau des écoulements actuels et leurs variabilités saisonnière et interannuelle et, ainsi, valider ou non des outils en vue de leur amélioration. Ces essais ont aussi pour objectifs de tester les améliorations qu'apportent certaines informations complémentaires comme l'ajout des surfaces inondées ou celui des périmètres irrigués ;

- comprendre la mise en place des événements extrêmes. En effet, compte tenu de la taille du bassin amazonien (près de 7 millions de km²) et de son extension dans les deux hémisphères, de 5°N à 18°S, et en longitude, depuis les Andes jusqu'à l'Atlantique, les régimes hydrologiques sont nombreux, les modes de variabilité multiples (Figuroa et Nobre, 1990, Molinier *et al.*, 1996, Ronchail *et al.*, 2002, Espinoza *et al.*, 2009 a et b). De ce fait la mise en place des extrêmes (crues très fortes ou étiages très bas) est le résultat de la variabilité des pluies dans tout ou partie des sous-bassins, mais aussi de modifications dans le calendrier annuel des crues et des étiages dans les différents sous-bassins. Nous avons montré que les crues sur le cours principal à Óbidos (Fig. 1) sont liées à des pluies renforcées dans le bassin du Solimões et, également, à la précocité de la crue dans le bassin du Negro qui se combine et s'ajoute alors avec celle du Madeira (Ronchail *et al.*, 2006). L'utilisation d'un modèle devrait permettre de répondre à des questions telles que : lequel de ces deux phénomènes (excès de pluie, modification du calendrier annuel) est dominant dans le déclenchement de la crue ? Quel est le rôle du stockage de l'eau (ou de son déficit) dans le sol d'une saison à l'autre, d'une année à l'autre, pour expliquer des débits très forts ou faibles ? Quel est le rôle du changement de la végétation sur l'évolution à long terme de ces extrêmes ? etc. ;

- simuler les débits futurs dans le cadre du changement climatique. Depuis une trentaine d'années, on observe une accentuation des extrêmes sur le cours principal de l'Amazonie (Espinoza *et al.*, 2009b, Drapeau *et al.*, 2009) qui semble liée à des oscillations lentes du système climatique (Callède *et al.*, 2004, Marengo, 2004, Espinoza *et al.*, 2009a) ? Comment les extrêmes vont-ils évoluer sous l'effet supplémentaire de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre ? Quels seront les extrêmes dans 50 ans ? dans 100 ans ?

Pour répondre de façon crédible à toutes ces questions, la modélisation hydrologique nécessite, en particulier, des données pluviométriques de qualité. C'est pourquoi nous avons examiné le rôle de différents fichiers de pluie sur les débits simulés. Dans un premier temps nous montrerons les résultats d'une simulation effectuée sur l'ensemble du bassin à partir d'un jeu de données dit « NCC » et, dans un second temps, les résultats de simulations des débits du Rio Negro à partir de fichiers de pluie de différentes origines.

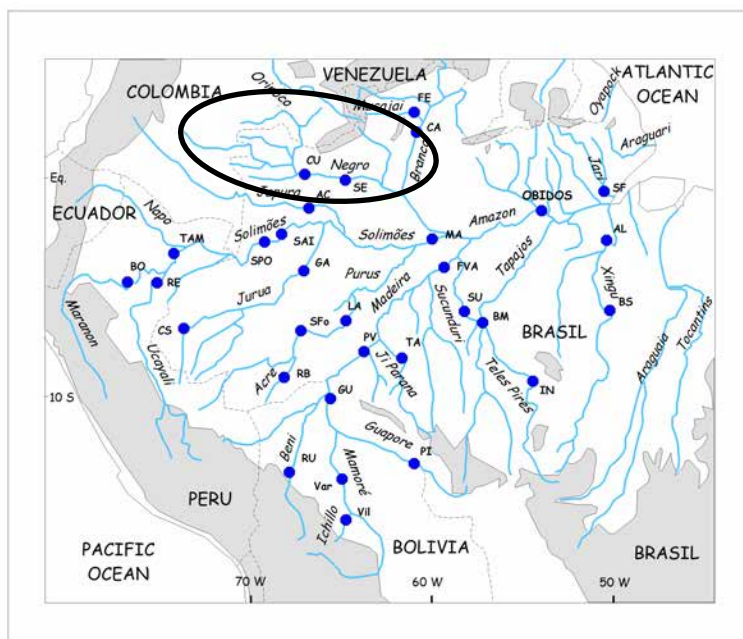


Figure 1 : Localisation du bassin amazonien, des rivières et des stations fluviométriques utilisées dans la partie 1. Cerclé de noir : le bassin du Rio Negro, objet dans la partie 2.

1. La simulation des débits dans le bassin amazonien à partir du fichier de pluie NCC (NCEP Corrected by CRU)

Le fichier de pluie dit « NCC » (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research Corrected by Climate Research Unit), de résolution $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude – longitude, avec des données toutes les 6 heures, a été construit pour la période 1948-2000 pour l'ensemble de la planète par Ngo-Duc *et al.* (2005), à partir des données de réanalyses du NCEP/NCAR (Kistler *et al.*, 2001) contraintes par les données mensuelles du CRU (New *et al.*, 2000). Les débits simulés avec le modèle Orchidée (ORganising Carbon and Hydrology In Dynamic Ecosystems) de l'IPSL (Ducoudré *et al.*, 1993 ; de Rosnay et Polcher, 1998 ; Ducharne et Laval, 2000), ont été comparés aux débits observés, recueillis dans le cadre de l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) Hybam (HYdrogéodynamique du Bassin AMazonien, <http://www.ore-hybam.org/>), partenariat entre les services météorologiques et hydrologiques des pays amazoniens et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Différents indicateurs ont été utilisés pour comparer les valeurs observées et simulées (Ronchail *et al.*, 2005). Parmi eux, le test de Nash-Sutcliffe établit la performance d'un modèle en comparant l'usage des valeurs simulées à celui de la moyenne (Nash and Sutcliffe 1970) :

$$\text{Nash-Sutcliffe} = 1 - \left[\frac{\sum(Q_s - Q_o)^2}{\sum(Q_o - Q_o \text{ moy})^2} \right],$$

où Q_s est le débit simulé, Q_o le débit observé et $Q_o \text{ moy}$ le débit moyen observé. Quand la valeur du coefficient est égale à 1, la simulation est bonne. Quand la valeur est égale à 0, la simulation n'est pas très bonne car l'erreur est la même que celle qui résulterait de l'utilisation de la moyenne. Enfin, quand la valeur est négative, la simulation est mauvaise ; le débit moyen, dans ce cas, est un meilleur estimateur du débit que le débit simulé.

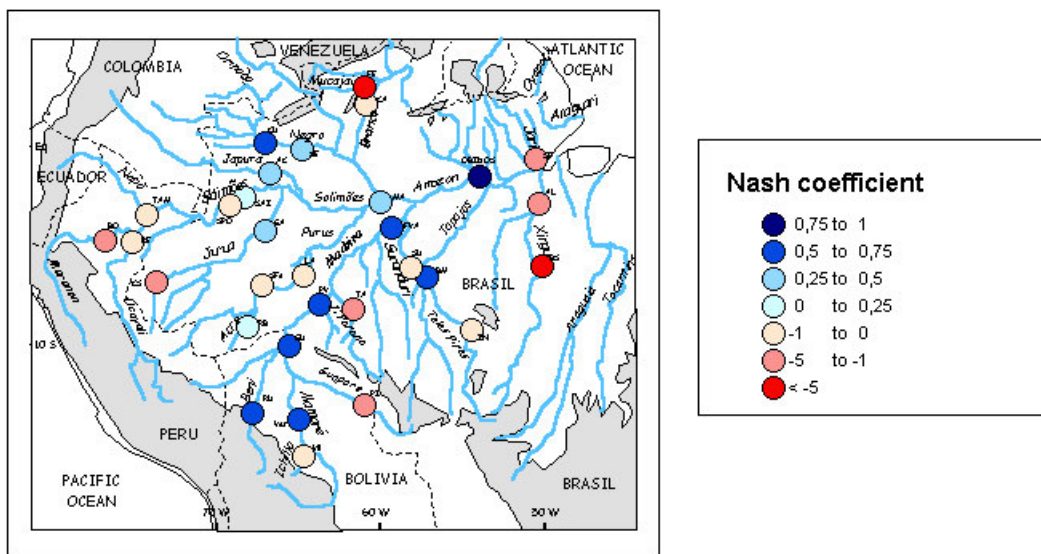


Figure 2 : Valeurs du coefficient de Nash-Sutcliffe sur les données mensuelles de débits observés et simulés (1974-2000). NB : Une version couleur de cette figure est disponible dans la version numérique de ce résumé.

Les débits simulés présentent des valeurs mensuelles moyennes correctes tout le long du Rio Madeira qui provient du sud-ouest du bassin et dans les parties aval de grosses rivières telles le Rio Negro et le Japura au nord-ouest ou le Jurua à l'ouest (Fig. 2). Mais les débits sont mal simulés dans le bassin du Branco au nord et dans le Xingu à l'est où ils sont surestimés (non montré) et dans les parties amont des bassins de l'ouest où ils sont sous-estimés. C'est sur le cours principal, à Óbidos, que les débits sont les mieux représentés.

Ronchail *et al.* (2005) complètent ces résultats par l'évaluation de la variabilité interannuelle (plutôt bonne) et celle de la variabilité saisonnière, qui est inégalement simulée. En effet, le modèle anticipe les crues dans le haut bassin du Solimões mais les reproduit au bon moment ailleurs. Les étiages sont simulés trop tard dans une grande partie sud du bassin mais correctement à l'extrême nord (non montré ici). Ces résultats indiquent une adéquation inégale entre réalité et simulation, qui peut être en partie imputée à la qualité des données pluviométriques assimilées.

2. Comparaison de fichiers de pluie dans le bassin du Rio Negro

Getirana *et al.* (soumis) comparent des fichiers de pluies quotidiennes de différentes provenances, basés sur des mesures stationnelles (fichiers de l'ORE Hybam – ORE- et du Climate Prediction Centre de la NOAA – CPC, Silva *et al.* 2007-), des données satellitaires Global Precipitation Climatology Project – GPCP (Huffman *et al.*, 2001) et TRMM

Multisatellite Precipitation Analysis – TMPA (Huffman *et al.*, 2007) et des données issues des réanalyses NCEP-2 (Kistler *et al.*, 2001) et ERA-40 (Uppala *et al.*, 2005).

Ils utilisent aussi les données du CRU au pas de temps mensuel que nous présentons dans la suite, en regard des données de l'ORE Hybam (Fig. 3). Celles-ci proviennent des services météorologiques brésiliens (Agência Nacional de Águas – ANA, 117 stations), colombiens (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 14 stations) et vénézuélien (Ministerio de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales – MARN, 8 stations), pour la période 1980-2006. Le fichier ORE est considéré comme le fichier de référence compte tenu qu'il regroupe une information qui se veut exhaustive.

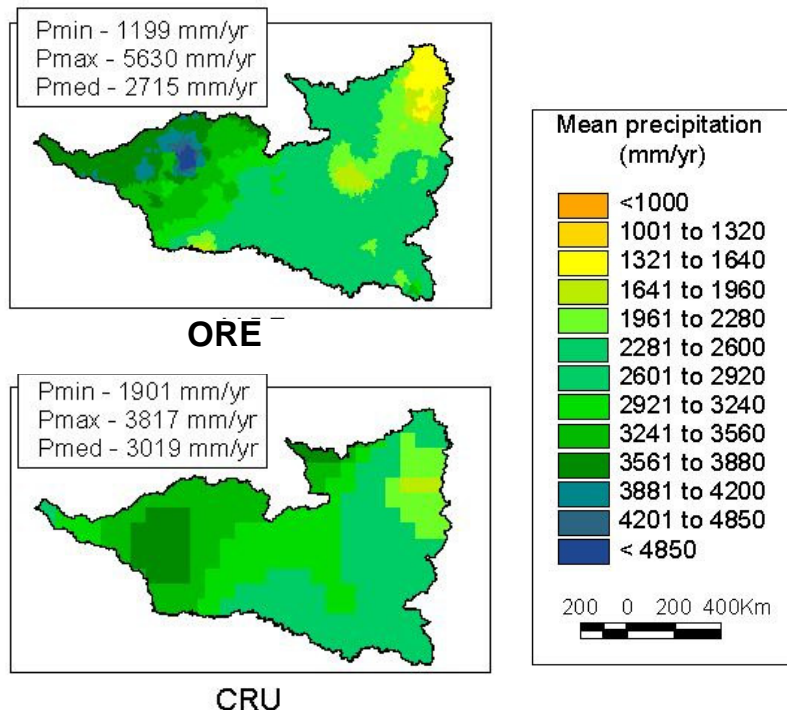


Figure 3 : Précipitations moyennes annuelles (1998-2002) dans le bassin du Rio Negro (région encadrée de noir sur la carte du bassin amazonien dans la figure 1) pour deux fichiers de pluies quotidiennes (ORE Hybam – ORE- et Climate Research Unit – CRU-). NB : Une version couleur de cette figure est disponible dans la version numérique de ce résumé.

Les données du CRU sont trop fortes en moyenne et ont une amplitude spatiale réduite par rapport aux données ORE (voir valeurs encadrées dans la figure 3). Ceci est confirmé par la répartition spatiale des pluies qui présentent sur la carte du CRU des valeurs trop importantes dans le nord-ouest du Roraima (Etat de l'extrême nord du Brésil) et trop peu abondantes au contraire à l'extrême ouest du bassin. Ces biais sont probablement liés à la faible densité de données colombiennes et vénézuéliennes dans le fichier du CRU, du fait de leur faible accessibilité.

Les différents fichiers de pluies sont utilisés pour simuler les débits du Rio Negro à l'aide du modèle MGB-IPH (Collischonn *et al.*, 2007). Sans surprise, le fichier de pluie ORE est celui qui permet la meilleure reconstitution des débits moyens (Tableau 1) et de leur variabilité saisonnière et interannuelle (non montré). En particulier, la prise en compte par le fichier ORE des très fortes pluies du nord-ouest du bassin permet de mieux représenter les niveaux des débits. Parmi les fichiers de pluies qui ne résultent pas de données de pluviomètres, GPCP fournit les meilleurs résultats tandis que TRMM sous-estime les pluies et les débits (non montré). Les pluies issues de Réanalyses, notamment à partir de NCEP-2, ne permettent de reproduire ni les volumes ni la saisonnalité de l'hydrologie.

Tableau 1 : Coefficients de Nash-Sutcliffe calculés à partir des données mensuelles de débits observés dans 5 stations fluviométriques du bassin du Rio Negro et des données simulées à partir des différents fichiers de pluie (voir au début de la partie 2 le sens des abréviations).

Station	ORE	CPC	GPCP	TMPA	ERA-40	NCEP-2
Caracarai	0.84	0.87	0.79	0.61	0.52	-0.21
Taraqua	0.69	-1.02	-0.24	-0.16	-1.26	-0.48
Cucui	0.80	0.42	0.65	0.10	0.20	-0.54
Curicuriari	0.80	0.13	0.42	-0.02	-0.32	-0.62
Serrinha	0.86	-0.18	0.19	-0.38	-0.81	-0.47

Conclusion

La qualité des données pluviométriques conditionne en grande partie celle de la modélisation des débits. C'est pourquoi la constitution actuelle d'un fichier de pluies quotidiennes sur l'ensemble du bassin amazonien, intégrant non seulement les données de stations brésiliennes, facilement accessibles, mais aussi celles de stations des pays andins, qui le sont moins, devrait permettre une modélisation correcte des débits du bassin.

Remerciements

Nous tenons à remercier nos collègues des services météorologiques et hydrologiques des pays amazoniens pour leur collaboration. Parmi eux, Luis Noriega du Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología de Bolivie, Waldo Lavado du Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología du Pérou, Roberto Pombosa de l'Instituto Nacional de Meteorología y Hidrología d'Equateur, Juan Gabriel Leon de l'Universidad Nacional de Colombia à Palmira, Alain Laraque et ses collègues du Ministerio de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Eurides de Oliveira et Valdemar Guimarães de l'Agência Nacional de Águas du Brésil. Nos remerciements vont aussi à nos collègues de l'IRD sur le terrain Gérard Cochonneau, Pascal Fraizy, Francis Sondag, Philippe Vauchel.

Bibliographie

- Callède J., Guyot J.-L., Ronchail J., L'Hôte Y., Niel H., de Oliveira E., 2004 : Evolution du débit de l'Amazone à Obidos de 1902 à 1999. *Hydrological Sciences journal* **49**, 85-97.
- Collischonn W., Allasia D., Silva B.C., Tucci C.E.M., 2007 : The MGB-IPH Model for Large-Scale Rainfall-Runoff Modelling. *Hydrological Sciences Journal*, **52**(5), 878-895.
- de Rosnay, P. et Polcher J., 1998 : Modelling root water uptake in a complex land scheme coupled to a GCM. *Hydrology and Earth System Sciences*, **2**, 239-255.
- Drapeau G., Ronchail J. et Mering C., 2009 : Au rythme de l'Amazone, Variabilité hydrologique et vulnérabilité des populations en plaine d'inondation. *Troisième réunion scientifique de l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) HYBAM sur les fleuves amazoniens*. Tabatinga (Brésil) & Leticia (Colombie) / 20-23 Octobre 2009.
- Ducharne A. et Laval K., 2000 : Influence of the Realistic Description of Soil Water-Holding Capacity on the Global Water Cycle in a GCM. *J. Climate*, **13**, 4393-4413.
- Ducoudré N. I., Laval K. et Perrier A., 1993 : A new set of parameterizations of the hydrologic exchanges et the land-atmosphere interface within the LMD Atmospheric Global Circulation Model. *J. Climate*, **6**, 248-273.
- Espinoza Villar J.C., Ronchail J., Guyot J.-L., Filizola N., Ordenez J.J., Noriega L., Pombosa R., Romero H., 2009a : Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology*, **29**, 1574-1594.
- Espinoza J.C., Guyot J.L., Ronchail J., Cochonneau G., Filizola N., Fraizy P., Labat D., Noriega L., de Oliveira E., Ordoñez J.J., Vauchel P., 2009b : Contrasting regional runoff evolution in the Amazon basin (1974-2004). *Journal of Hydrology*, **375**, 297-311.
- Figuroa SN, Nobre CA., 1990 : Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, **6**, 36-40.
- Getirana A.C.V., Espinoza Villar J.C., Ronchail J., Rotunno Filho O.C., 2010 : Assessment of precipitation datasets and impacts on the Rio Negro basin water balance. Soumis à *Journal of Hydrology*.

- Huffman G. J., Adler R. F., Morrissey M., Bolvin D.T., Curtis S., Joyce R., McGavock B., Susskind J., 2001 : Global precipitation at one-degree daily resolution from multi-satellite observations. *J. Hydrometeorology*, **2**, 36-50.
- Huffman, G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y., Stocker E.F., Wolff D.B., 2007 : The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales., *J. Hydrometeorology* , **8**, 38–55.
- Kistler R. Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., Van den Dool H., Jenne R., Fiorino M., 2001 : The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of American Meteorological Society*, **82**, 247-267.
- Marengo JA., 2004 : Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, **78**: 79–96.
- Molinier M, Guyot JL, Oliveira E, Guimarães V., 1996 : Les régimes hydrologiques de l'Amazonie et de ses affluents. *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*, Paris, Mai 1995. *IAHS Publ.* **238**, 209–222.
- Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970 : River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles. *J. of Hydrology*, **27**, 282-290.
- New M., HulmeM., Jones P., 2000 : Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of a 1901-90 mean monthly grids of terrestrial surface climate *J. Climate*, **13**, 2217-2238.
- Ngo-Duc, T., Polcher J., Laval K., 2005 : A 53-year forcing data set for land surface models, *Journal of Geophysical Research*, **110**, D06116, doi:10.1029/2004JD005434
- Ronchail J., Cochonneau G., Molinier M., Guyot J.L., Goretti de Miranda Chaves A., Guimarães V., de Oliveira E., 2002 : Rainfall variability in the Amazon Basin and SSTs in the tropical Pacific and Atlantic oceans. *International Journal of Climatology*, **22**, 1663-1686.
- Ronchail J., Ngo-Duc T., Guyot J.L., Polcher J., de Oliveira E., 2005 : A 50 year simulation of Amazon discharge by ORCHIDEE. *VIIth IAHS Scientific Assembly, Foz de Iguacu, 3-9 April 2005, session 7-2: Model evaluation and comparison; uncertainly analysis and diagnostics.*
- Ronchail J., Guyot J.-L., Espinoza Villar J. C., Callède J., Cochonneau G., De Oliveira E., Ordenez J.J., Filizola N., 2006 : Impact of the Amazon tributaries on flooding in Obidos. *Climate variability and Change – Hydrological Impacts*, *IAHS Publ.* **308**, 2006, 220-225.
- Silva V.B.S., Kousky V.E., Shi W., Higgins R.W., 2007 : An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. *Journal of Hydrometeorology*, **8**, 847-861.
- Uppala S.M., Kållberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., da Costa Bechtold V., Fiorino M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li X., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevallier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Hólm E., Hoskins B.J., Isaksen I., Janssen P.A.E.M., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.F., Morcrette J.J., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Viterbo P., Woollen J., 2005 : The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* **131**: 2961-3012.