

## TYPES DE TEMPS ET PLUIE EN AMAZONIE

J.-C. ESPINOZA<sup>1</sup>, JOSYANE RONCHAIL<sup>2</sup>, M. LENGAIGNE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Post-doctorat dans le projet européen CLARIS LPB (Hydroclimate and society in La Plata Basin), Institut de Recherche pour le Développement (IRD) / Université de Buenos Aires, Buenos Aires, [jhan-carlo.espinoza@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:jhan-carlo.espinoza@locean-ipsl.upmc.fr)

<sup>2</sup>Maître de conférences à l'Université Paris 7 Denis Diderot et LOCEAN (IRD, CNRS, MNHN, UPMC), Paris, [josyane.ronchail@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:josyane.ronchail@locean-ipsl.upmc.fr)

<sup>3</sup>Chargé de recherche IRD au LOCEAN (IRD, CNRS, MNHN, UPMC), Paris, [matthieu.Lengaigne@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:matthieu.Lengaigne@locean-ipsl.upmc.fr)

**Résumé :** Les types de temps quotidiens en Amazonie sont déterminés à partir d'une méthode neuronale et des données de vent zonal et méridien à 850 hPa des réanalyses ERA40. Les auteurs montrent que les types de temps sont liés à la progression vers l'est de perturbations des latitudes moyennes. Les caractéristiques pluviométriques des types de temps sont ensuite définies dans deux régions du bassin amazonien qui présentent une forte variabilité à pas de temps pluriannuel. L'objectif final de ce travail est d'expliquer la variabilité de l'hydrologie à différentes échelles de temps dans le bassin amazonien.

**Mots-clé :** Types de temps, Amérique du sud tropicale, Amazonie, pluie, hydrologie

**Abstract: Type of time and rain in Amazon.** Weather types and rain in the Amazon basin. Weather types in the Amazon basin are determined using 850 hPa u and v wind data from ERA40 reanalyses and a neuronal method. Authors show that weather types are associated with the eastward progression of extra tropical perturbations. The rainfall characterization of weather types is then defined in two regions of the Amazon basin where there is an important pluriannual hydrological variability. The main objective of this work is to explain the time variability of hydrology in the Amazon basin.

**Key-words :** Weather types, tropical South America, Amazon basin, rainfall, hydrology

### Introduction et contexte climatique

Le bassin amazonien (BA) est le plus important au monde avec une extension de six millions de km<sup>2</sup>, entre 5°N et 20°S approximativement, et un débit à l'embouchure estimé à 209 000 m<sup>3</sup>/s. Des travaux récents (Espinoza et al. 2009a) ont montré une diminution générale des débits d'étiage entre 1974 et 2004, particulièrement forte dans les bassins du sud, et une augmentation des débits de crues dans les bassins du nord-ouest. Cette opposition entre sud et nord-ouest est encore plus marquée depuis le début des années 1990 et concerne notamment les bassins des pays andins. Par ailleurs, à l'échelle interannuelle, on observe une forte variabilité des débits de crue dans le nord-est du bassin et des débits d'étiage dans le centre et le sud du BA (Ronchail et al. 2005). La variabilité à court et long terme des pluies est cohérente avec celle des débits (Espinoza et al. 2009b).

Les causes de ces variabilités apparaissent dans la circulation atmosphérique saisonnière et dans les évolutions à long et court terme des températures de surface des océans tropicaux Atlantique et Pacifique. Néanmoins, afin d'évaluer la capacité de la circulation synoptique à expliquer ces variabilités à différentes échelles de temps, les auteurs ont cherché 1) à définir des types de temps en Amérique du Sud tropicale, 2) à mesurer les liens entre types de temps et précipitations et 3) à mettre en relation fréquences des types de temps et variabilité des pluies, comme cela a été pratiqué en Afrique par Moron et al. (2007). Cette troisième partie ne sera pas présentée dans le cadre de ce résumé (voir à ce sujet Espinoza 2009).

Du fait de sa taille et de sa position de part et d'autre de l'équateur mais aussi de l'extension méridienne des Andes qui le borde à l'ouest, la circulation atmosphérique en Amazonie est complexe (Figure 1) et les climats nombreux (Figure 2).

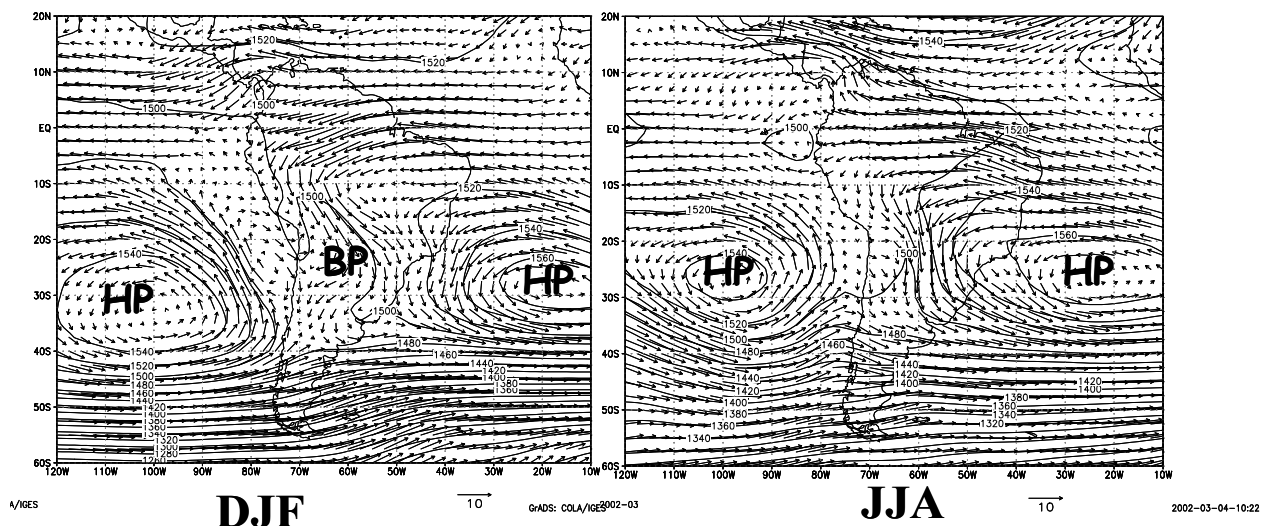


Figure 1. Hauteur du géopotential (m) et vent à 850 hPa en été austral (DJF) et en hiver austral (JJA). Données de réanalyses NCEP-NCAR, moyennes 1948-2002.

En été et automne austral, la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) se décale vers le sud sur l'Atlantique et elle donne lieu à la saison des pluies dans la région équatoriale proche de l'embouchure de l'Amazonie (Figure 2f). Les centres de hautes pressions sur l'Atlantique et le Pacifique subtropical sont légèrement décalés vers le sud et le centre des océans. **En été**, le continent échauffé donne lieu à la dépression du Chaco et à un afflux d'air humide depuis l'Atlantique nord. Celui-ci, porté par les alizés de nord-est, est dévié vers le sud-est par les Andes et apporte de la vapeur d'eau vers l'Amazonie méridionale (Figure 1) ; à ce vent dit « de nord-ouest à l'est des Andes (NWEA) » correspond la mousson sud-américaine qui génère la saison des pluies dans une grande partie sud tropicale du bassin (Figures 2 c, d, e). Lorsque le flux est très rapide à l'est des Andes, on parle de Low Level Jet (LLJ, Marengo et al 2004). La convergence entre le flux de mousson, les alizés de sud-est et des perturbations extra-tropicales transitoires donne lieu à une vaste zone de convection, la Zone de Convergence de l'Atlantique Sud, qui s'étend du nord-ouest de l'Amazonie à l'Atlantique subtropical (Kodama 1992). Cette région, ainsi que les piedmonts andins bien exposés aux flux humides et le nord-est proche de l'Atlantique, sont les plus arrosées du BA. **En hiver austral**, la ZCIT se retire vers l'hémisphère nord et apparaît la saison sèche dans le nord-est du BA. L'anticyclone subtropical de Sainte Hélène se décale vers le continent et la mousson sud-américaine se retire ce qui donne lieu à la saison sèche dans le sud du bassin. Au contraire, l'échauffement de la partie nord du continent et la mise en place de la mousson nord-américaine permettent la mise en place de la saison des pluies à l'extrême nord du bassin (Figure 2b). Dans la partie nord-ouest, proche de l'équateur et éloignée de l'influence directe de l'océan Atlantique, la convection est toujours importante et la saisonnalité des pluies, avec un léger maximum d'automne austral, est très faible (Figure 2a). Nombre de régimes intermédiaires peuvent être observés (Figures 2h, i, g).

## 1. Données

Une base de données pluviométriques au pas de temps journalier a été mise en place dans les deux régions de plus forte variabilité hydrologique, c'est à dire le sud-ouest (17 stations) et le nord-ouest (23 stations) du BA, pendant la période 1975-2002 (source : ORE Hybam -Contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone-, <http://www.ore-hybam.org/>).

Les données de réanalyses du 40-yr *European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) Re-Analysis Project (ERA-40* ; Uppala et al. 2002) ont été utilisées pour la description de la circulation régionale et des conditions générales de l'atmosphère sur une grille de 2.5°x2.5° de résolution. Les données ont été extraites dans une région qui correspond au nord de l'Amérique du Sud (10°N-30°S et 50°-80°W) sur le site :

(<http://www.ecmwf.int/products/data/archive/descriptions/e4/index.html>). La température de l'air (t), le vent méridional et zonal (u et v), la divergence et vitesse verticale des vents (d et w) et le géopotential (z) ont été extraits pour trois niveaux de l'atmosphère : 850, 500 et 200 hPa. Les trimestres DJF, MAM, JJA et SON ont été individualisés pour supprimer la variabilité saisonnière. Un filtre de haute fréquence à 60 jours a été appliqué pour différencier la variabilité synoptique de la variabilité intra saisonnière. Les variables ont été normalisées à chaque point de grille.

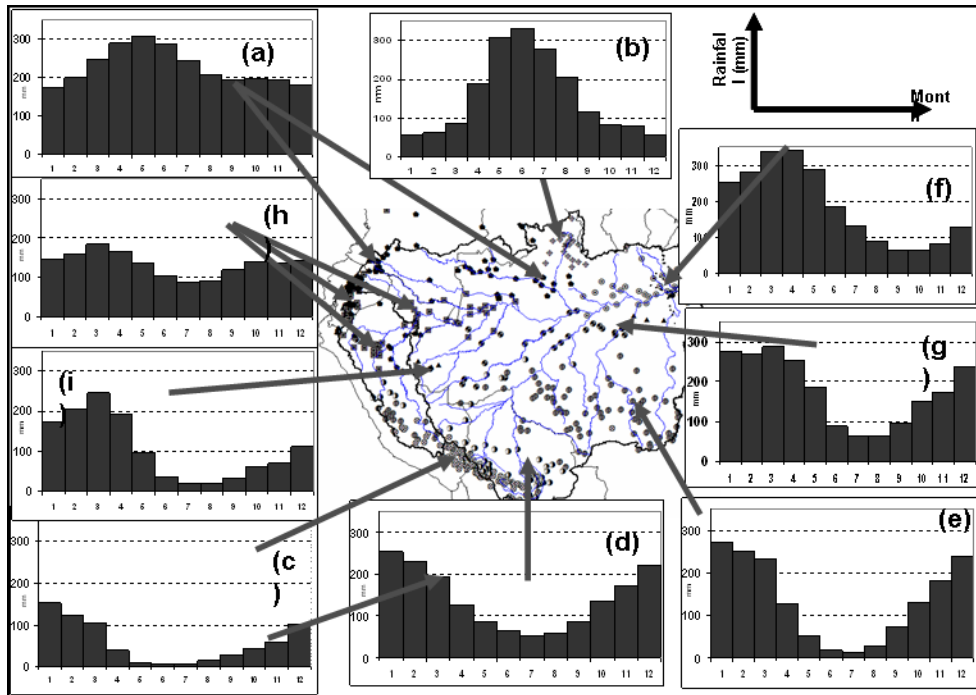


Figure 2. Principaux régimes pluviométriques dans le bassin amazonien

## 2. Définition des types de temps

La méthode neuronale des Self Organization Maps (SOMs, Kohonen, 1984 et 2001) est appliquée pour la classification des variables atmosphériques quotidiennes. Comme d'autres méthodes traditionnelles de classification, elle cherche à identifier des groupes homogènes en veillant à ce qu'augmente la variabilité inter-groupe et que diminue la variabilité intra-groupe. En appliquant les SOMs, une carte de Kohonen (Kc) est construite à partir des valeurs journalières des variables atmosphériques ce qui permet une classification des jours qui ont des conditions atmosphériques semblables et leur regroupement topologique. Parallèlement, un indice de pluie journalier (Ip) est calculé à partir des données in situ qui permet de connaître les jours très pluvieux (supérieurs à la valeur du percentile 0.9). Ces jours pluvieux sont projetés sur la Kc. Cette procédure permet d'identifier les principales conditions atmosphériques qui expliquent les fortes pluies. Un processus interactif d'extraction d'une variable, re-construction de la Kc et projection des jours pluvieux permet de connaître la combinaison de variables avec lesquelles on obtient une bonne structuration des jours pluvieux sur la carte.

Ce processus aboutit à une définition optimale des type de temps sur une fenêtre entre 10°N - 30°S et 50° - 80°W, soit 17 x 13 points de grille, et à partir du vent méridien et zonal à 850 hPa. Les neurones résultant du SOM sont groupés en un nombre réduit de classes grâce à une classification ascendante hiérarchique ; 7 dans le cas de l'automne austral (MAM) que nous retiendrons dans cet exposé car il s'agit d'une saison pluvieuse dans une grande partie du bassin amazonien. Chacune des classes correspond à un type de temps et à chacun d'eux est assigné un indice de pluie (Espinoza 2009).

Pour une caractérisation plus complète des types de temps, la transition d'un type de temps à un autre et la persistance de chaque type de temps ont été calculées. La transition mesure la probabilité de

passer d'un type de temps à un autre le jour suivant, tandis que la persistance mesure la probabilité de voir perdurer un même type de temps

### 3. Description des types de temps en automne austral (MAM) et lien avec les pluies dans le nord-ouest et le sud ouest du bassin

La figure 3a présente les anomalies de vent à 850 hPa qui caractérisent chaque type de temps sur une fenêtre plus vaste que celle retenue pour leur définition, afin de mieux comprendre la circulation atmosphérique régionale associée à chaque type de temps. Pour la même raison les anomalies de géopotential à 850 hPa sont également projetées sur ces cartes. Les types de temps sont présentés selon leur déroulement chronologique (figure 3b) et les pluies associées sont décrites dans la figure 3c.

**Le type de temps 2** est caractérisé par des anomalies négatives de géopotential sur l'ensemble de l'Amérique du sud et des anomalies de vent d'ouest à nord-ouest du vent de « nord-ouest à l'est des Andes » (NWEA). Celles-ci convergent avec des anomalies de vent de sud résultant de la faiblesse de l'Anticyclone subtropical de l'Atlantique sud (SAA) et d'anomalies négatives du géopotential sur le sud-est de l'Amérique du sud. Ces configurations des anomalies de vent donnent de la convergence dans le sud du bassin et de la divergence dans le nord-ouest. En conséquence, il pleut beaucoup dans le sud-ouest tandis que le nord-ouest est relativement sec. Ces conditions correspondent à la phase négative de la Zone de Convergence de l'Atlantique Sud (ZCAS) décrite par Nogues-Peagle and Mo (1997) et détaillée par Carvalho et al. (2002) et Liebmann et al. (2004).

**Le type de temps 3** correspond au déplacement vers l'est de l'anomalie négative du géopotential et à l'apparition d'une anomalie positive sur le continent, centrée sur le Chaco. Ces anomalies génèrent une incursion vers le nord des anomalies de vent de sud, jusqu'à 5-10°N. En conséquence, la convergence est décalée vers le nord et c'est dans le nord-ouest qu'il pleut le plus.

Lors du **type de temps 4**, le vent de SE est encore plus décalé vers le nord à la suite du renforcement et de l'extension de l'anomalie positive de géopotential observée précédemment. La convergence est forte dans le nord-ouest tandis que la divergence domine dans le sud-ouest ; de ce fait, la pluie est abondante dans le nord-ouest tandis qu'elle est très peu importante dans le sud-ouest.

**Le type de temps 5** est caractérisé par la progression vers l'est de l'anomalie positive de géopotential continentale, en particulier aux plus hautes latitudes. La conséquence en est une orientation plus zonale des anomalies de vents de sud. Les conséquences pluviométriques sont peu différentes de celles observées durant le type de temps 4. Ce type de temps, situé à l'opposé du type de temps 2 sur la carte de Kohonen, est son antiphasé.

Lors du **type de temps 6**, l'anomalie positive de géopotential s'affaiblit, se décale vers l'est et réapparaît une anomalie négative sur le Chaco. La convergence des anomalies de vent s'opère plutôt sur le bassin de la Plata. Lors du **type de temps 7**, le renforcement et l'extension de la dépression du Chaco génère un fort vent de NWEA, éventuellement un épisode de Low Level Jet (LLJ), qui transporte la vapeur d'eau vers La Plata. Cette configuration correspond à la phase positive de la ZCAS. Pendant ces deux types de temps, les chutes de pluies sont moyennes dans les deux régions du bassin mais très abondantes dans le bassin de La Plata (Espinoza 2009).

Enfin, le **type de temps 1**, déconnecté des autres, montre un affaiblissement des alizés de nord-est et des anomalies de géopotential faibles et mal structurées. La convergence est forte à l'est du bassin. Les pluies sont modérées dans les deux régions d'étude.

### Conclusion

Le passage d'ouest en est d'ondes dépressionnaires et anticycloniques qui présentent une forte extension nord-sud grâce à l'orientation générale du relief andin et qui favorisent convergence et divergence successivement dans le sud et dans le nord du bassin amazonien, permet de définir des types de temps en Amérique du Sud tropicale. La succession de ces types de temps génère une alternance de fortes pluies dans le sud-ouest et dans le nord-ouest du bassin. Moyennant quelques particularités, ces types de temps et leurs liens avec la pluie sont observés à chaque saison.

La définition de types de temps en Amérique du Sud tropicale et leur mise en relation avec les pluies quotidiennes de deux régions du bassin amazonien (nord-ouest et sud-ouest) a permis de comprendre la variabilité de l'hydrologie de ces deux régions, notamment l'origine d'événements extrêmes (Espinoza 2009).

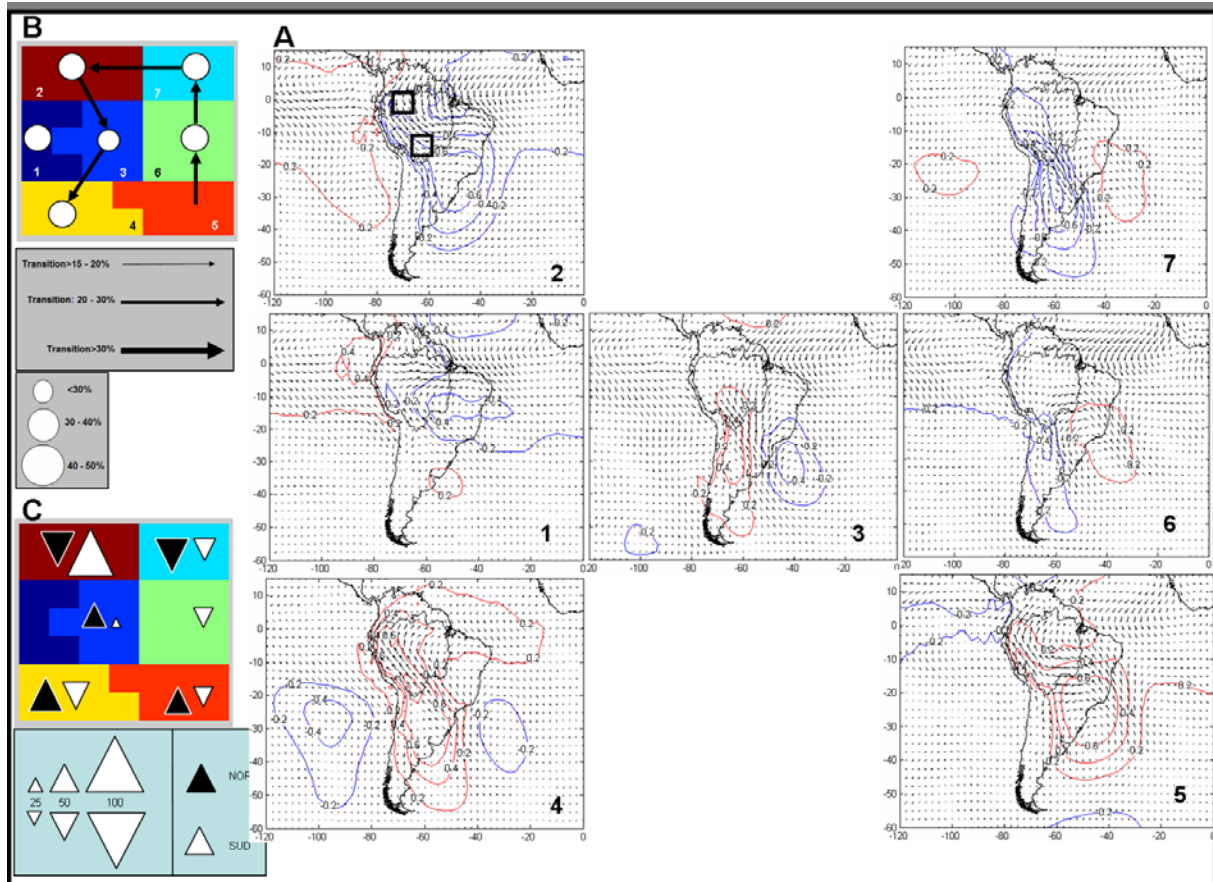


Figure 3. A) Types de temps d'automne austral (Mars-Avril-Mai, MAM) en Amazonie, définis par les anomalies de vent et de géopotential à 850hPa, par rapport à la période 1975-2002. Les types de temps sont placés en fonction de leur position sur la carte de Kohonen. B) La transition d'un type de temps à l'autre est représentée par une flèche quand la probabilité de passage est significative. La fréquence de passage est donnée par la taille de la flèche. La persistance d'un type de temps est représentée par un cercle proportionnel à la probabilité de voir perdurer un type de temps. C) Indice de pluie pour chaque type de temps. Les indices représentés par des triangles noirs (blancs) sont ceux du nord-ouest (sud-ouest) du bassin amazonien. Les deux régions sont cernées par un rectangle noir sur la carte du type de temps 2. Les triangles pointés vers le bas (haut) représentent des indices négatifs (positifs).

## Bibliographie

Carvalho, L., Jones, C., and Liebmann, B. 2004. The Southern Atlantic Convergence Zone : Intensity, form, persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17 :88–108.

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. 2009a. Contrasting regional runoff evolution in the Amazon basin (1974-2004). *Accepté par Journal of Hydrology*.

Espinoza Villar J.C., J.Ronchail, J.L. Guyot, N. Filizola, J.J. Ordenez, L. Noriega, R. Pombosa, H. Romero 2009b. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *Accepté par International Journal of Climatology*.

Espinoza Villar J.C. 2009. Impact de la variabilité climatique sur l'hydrologie du bassin amazonien. Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, 203 p. Téléchargeable à <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00379116/fr/>

- Kodama, Y. 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the SPCZ and the SACZ. Part I : Characteristic of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70 :813–836.
- Kohonen, T. 1984. *Self organization and associative memory*. Berlin, Heidelberg :Springer-Verlag, 2nd. Ed. :312pp.
- Kohonen, T. 2001. *Self-organizing maps*. Springer Series in Information Sciences,30, Springer, 3rd. Ed.
- Liebmann, B., Kiladis, G., Vera, C., Saulo, C., and Carvalho, L. 2004. Subseasonal variations of rainfall in South America in the Vicinity of the low-level jet east of the Andes and comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 17 :3829–3842.
- Marengo, J., Soares, W, R., Saulo, C., and Nicolini, M. 2004. Climatology of the Low Level Jet East of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalysis.Characteristics and temporal variability. *Journal of Climate*, 17 :2261–2280.
- Moron, V., Robertson, A., Ward, M.-N., and Ndiaye, O. 2008. Weather types and rainfall over Senegal. Part I : Observational analysis. *Journal of Climate*, 21 :266–287.
- Nogues-Peagle, J. and Mo, K. 1997. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Monthly Weather Review*, 125 :279–291.
- Ronchail, J., Labat, D., Callède, J., Cochonneau, G., Guyot, J.-L., Filizola, N., and de Oliveira, E. 2005b. *Discharge variability within the Amazon basin. Climate variability and Change Hydrological Impacts*. IAHS Publ., 296 :21–29.
- Uppala, S., Kallberg, P., Simmons, A., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M., Beljaars, A., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., H'olm, E., Hoskins, B., Isaksen, L., Janssen, P., Jenne, R., McNally, A., Mahfouf, J., Morcrette, J., Rayner, N., Saunders, R., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., and Woollen, J. 2005. *The era-40 re-analysis*. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131: 2961–3012.