COMPARAISON DES PRECIPITATIONS PENDANT LA PERIODE DE CULTURE DE SOJA DANS DEUX REGIONS AU BRESIL

CARMELLO V.[1], ALVARES D.[2], DUBREUIL V.[3], SANT'ANNA NETO J. L.[1]

[1]*UNESP, Presidente Prudente, Brésil, viniciuscarmello@gmail.com, joaolima@fct.unesp.br*
[2]*Université de Valence, Espagne, daldasil@alumni.uv.es*
[3]*LETG-Rennes-COSTEL, Université Rennes 2, UMR 6554 CNRS, France, vincent.dubreuil@uhb.fr*

Résumé *– Le but de cet article est de comparer la variation récente de l'ensemble des précipitations des mois correspondant à la culture de soja entre 1998-1999 et 2012-2013 dans deux régions productrices au Brésil : le Nord-Ouest du Rio Grande do Sul et le Nord du Mato Grosso. Les données utilisées sont les totaux mensuels cumulés entre octobre et avril, obtenus auprès de l'Agence nationale de l'eau (ANA) du Brésil. Les principaux résultats indiquent différents modes de variabilité interannuelle, en particulier pour les climats subtropicaux et tempérés comme dans l'Etat de Rio Grande do Sul, qui présente la plus faible variabilité pluviométrique observée, ainsi qu'une bonne relation entre les pluies annuelles et les rendements de soja. Dans la région du Mato Grosso, où domine un climat tropical de type continental plus arrosé, la variabilité est moins homogène entre les stations pluviométriques et la relation entre pluies annuelles et rendements du soja ne peut être établie.*

Mots-clés : *Brésil, variabilité annuelle, pluie.*

Abstract – Comparing the annual rainfall during the soybean crop period in two regions in Brazil. *This paper aims to compare the recent rainfall variability during the soybean cultivation month between 1998-1999 and 2012-2013 in two main producing regions in Brazil: the north-western Rio Grande do Sul and north Mato Grosso. The data correspond to cumulative monthly figures between October and April of the National Water Agency rain gauge network (ANA) in Brazil. The main results indicate annual variability different modes, especially in subtropical and temperate climates such as Rio Grande do Sul that have the observed rainfall lowest variability values indicating greater consistency between data and also a great relationship with soy annual data. In the Mato Grosso region, dominated by the tropical continental climate and also transitional climate, the variability is lower and the relation between annual rainfall and soybean production cannot be stated as simply.*

Keywords: *Brazil, annual variability, rainfall.*

Introduction

Comprendre les interactions entre la nature et la société est une question clé pour déterminer les causes et les conséquences du changement climatique mondial (Arvor *et al.,* 2013). Les variations climatiques interfèrent directement sur les régimes pluviométriques et les précipitations ont une influence capitale pour l'alimentation en eau des plantes et donc une influence décisive sur l'agriculture (Ayoade, 1983). Dans le cas du soja au Brésil, ceci est d'autant plus important qu'il s'agit d'un des fleurons des exportations du pays et les enjeux économiques sont énormes (Embrapa, 2014). Ainsi, le but de cet article est de comparer la variation récente de l'ensemble des précipitations des mois correspondant à la culture de soja entre 1998-1999 et 2012-2013, dans les deux principales régions productrices au Brésil, à savoir le Nord-Ouest du Rio Grande do Sul et le Nord du Mato Grosso.

1. Caractérisation climatique régionale du Rio Grande do Sul et du Mato Grosso

Les régions choisies pour cette étude comparative ont des conditions climatiques différentes. Le climat dans le sud du Brésil est essentiellement déterminé par la position et l'intensité de l'anticyclone subtropical de l'Atlantique Sud, qui est un système de pression semi-permanent, ainsi que par la circulation anticyclonique associée. En été, cette circulation se déplace vers le Sud-Est du pays, sans toutefois beaucoup pénétrer sur le continent (Grimm, 2009). Le Rio Grande do Sul est affecté par des systèmes atmosphériques d'échelle synoptique et sous-synoptique, influencés à la fois par des facteurs associés au mouvement d'échelle supérieure et de circulations locales, à la fois d'origine tropicale et extratropicale

(INPE/CPTEC, 1986). La climatologie synoptique de la région se caractérise par *i*) des systèmes frontaux qui se déplacent dans le Pacifique, traversent l'Argentine et continuent vers le Nord ; *ii*) des systèmes qui se développent dans le Sud et le Sud-Est qui s'associent à des tourbillons cycloniques ou creusés à des niveaux supérieurs, qui proviennent du Pacifique et qui atteignent la côte Ouest de l'Amérique du Sud ; *iii*) des systèmes qui s'organisent dans le Sud et Sud-Est avec convection intense et qui, associés à l'instabilité causée par le jet subtropical, se propagent vers l'Est en traversant l'océan Atlantique ; *iv*) des systèmes qui s'organisent dans le Sud et résultent de frontogenèse ou cyclogenèse (Britto *et al.*, 2008). Dans la plupart du Rio Grande do Sul, les régimes pluviométriques sont uniformes, avec la plus forte concentration de précipitations au cours du trimestre août-septembre-octobre (début des semis de soja). La répartition des précipitations est uniforme sur toute l'année. Tant au cours de l'été qu'au cours des saisons intermédiaires (d'octobre à avril), les systèmes de type '*Mesoscale Convective Complex*' (MCC) sont fréquents et représentent une grande partie des précipitations totales (Britto *et al.*, 2008 ; Grimm, 2009).

L'Amazonie Brésilienne est caractérisée par deux principaux types de climats : les climats « équatoriaux » sur la majeure partie de son territoire, et les climats « tropicaux » à saisons alternées, aux limites orientales et méridionales (Delahaye *et al.*, 2011). Dans la région du Centre-Ouest brésilien**,** le climat est caractérisé par des hivers secs et des étés pluvieux. Le temps sec, pendant la moitié de l'année (hiver) a son origine dans la stabilité générée par l'influence de l'anticyclone subtropical de l'Atlantique Sud et de petites crêtes qui se forment sur le continent sud-américain (Nimer, 1989 ; Alves, 2009). La variabilité des précipitations pendant l'été austral, très élevée dans la région du Centre-Ouest, est directement liée aux conditions météorologiques résultant de l'interaction entre les phénomènes appartenant à différentes échelles temporelles et spatiales, allant de l'échelle planétaire à l'échelle locale (Nimer, 1989 ; Alves, 2009).

2. Méthodologie et données climatiques du Rio Grande do Sul et du Mato Grosso

Les données mensuelles des précipitations annuelles accumulées d'octobre à avril, qui correspondent au calendrier agricole du soja dans les régions du Sud et du Centre-Ouest du Brésil (Almeida *et al.*, 2007 ; Arvor *et al.,* 2013) ont été fournies par l'ANA – l'Agence nationale de l'eau, à partir du système d'information hydrologique - HIDROWEB, administré par l'Agence et disponible sur internet (figures 1 et 2).

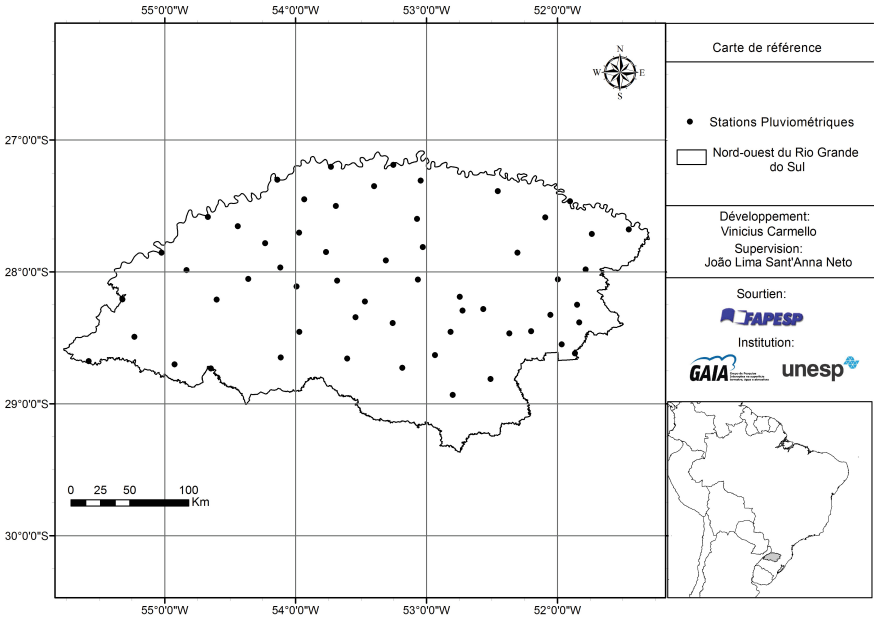


Figure 1. Répartition des quarante-deux stations pluviométriques sur le nord-ouest du Rio Grande do Sul.

Les prétraitements ont suivi les orientations de Zandonadi (2013) pour vérifier la cohérence des données pluviométriques fournies par l'ANA. En cas de choix stationnels, nous

avons utilisé la meilleure série, et en cas d'absence de données, nous avons suivi la méthodologie de Fante et Sant'Anna Neto (2013) pour compléter les séries. Ainsi, les principaux facteurs dans le choix des remplacements ont été la disponibilité, la fiabilité et la localisation géographique de la série chronologique nécessaire (Blain, 2009). Afin de caractériser les régimes, nous avons utilisé la technique des percentiles des valeurs de précipitations cumulées. Cette technique consiste à diviser la valeur de quartile 1 de l'année la moins pluvieuse et la valeur appelée *m* de la série pour l'année la plus humide (Insaf *et al*., 2007 ; Silvestre *et al*., 2013).

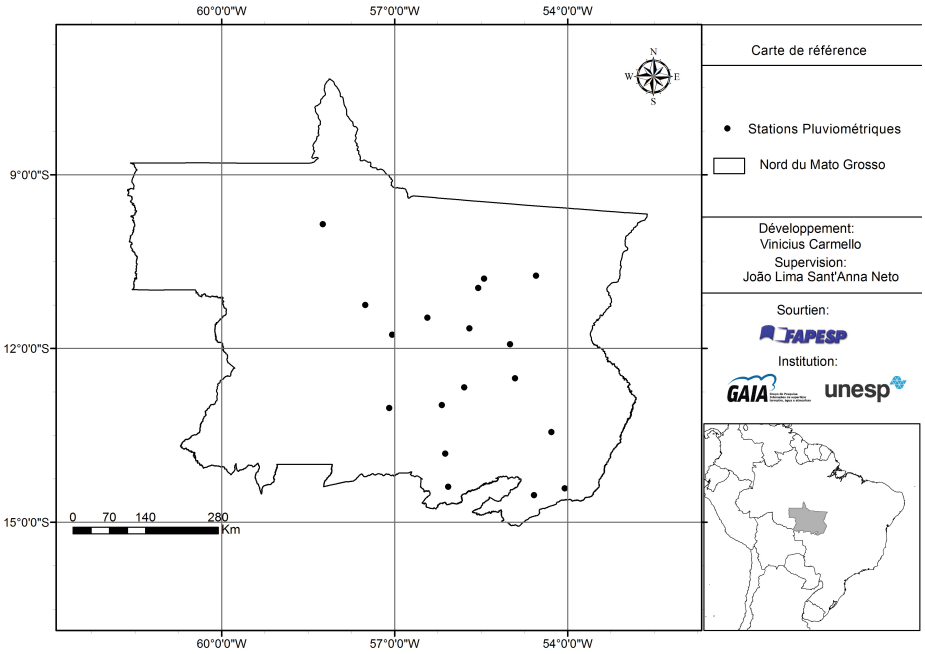


Figure 2. Répartition des dix-huit stations pluviométriques sur le Nord du Mato Grosso.

Les valeurs ont été normalisées par *m*, de manière à obtenir des valeurs entre 0 et 1. Les valeurs du percentile de pluie ont été regroupées pour définir les types suivants : extrêmement sec (valeurs inférieures à 0,10), sec (entre 0,10 et 0,35), moyenne (entre 0,35 à 0,65), pluvieux (entre 0,65 et 0,90) et extrêmement pluvieux (au-dessus de 0,90).

Les données de productions et de rendements agricoles sont disponibles auprès de l'IBGE (Système de récupération automatique - SIDRA) et concernent les périodes allant de 1998-1999 à 2012-2013. Nous avons utilisé ces données pour comparer les différents niveaux de dépendance agricole à la variabilité pluviométrique. Les données de rendements pour chaque commune sont simplement la division entre la quantité produite et les superficies cultivées, disponibles auprès du même organisme (Carmello *et al*., 2014).

3. Résultats sur l'analyse de la variabilité annuelle des précipitations

Les anomalies climatiques ayant le plus d'impact agronomique dans le sud du Brésil sont liées aux pluies (Britto *et al.*, 2008 ; Grimm, 2009). La distribution annuelle des totaux pluviométriques dans le Nord-Ouest du Rio Grande do Sul est assez homogène (tableau 1). Le plus bas taux de précipitations dans cette région est enregistré pendant l'année 2011-2012 par la station de Santo Antonio das Missões, avec 493 mm. La plus haute valeur a été enregistrée par la station de Guarani das Missões en 2002-2003, avec 1860 mm.

Tableau 1. Répartition des précipitations par station et par année agricole (octobre-avril) dans la région Nord-Ouest du Rio Grande do Sul.

Stations de la région d'étude	Latitude	Longitude	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013
IRAÍ	-27.19	-53.25															
ALTO URUGUAI	-27.30	-54.14															
FREDERICO WESTPHALEN	-27.35	-53.40															
ITATIBA DO SUL	-27.39	-52.45															
TRÊS PASSOS	-27.45	-53.93															
MARCELINO RAMOS	-27.46	-51.90															
MIRAGUAI	-27.50	-53.69															
LIBERATO SALZANO	-27.60	-53.07															
TUCUNDUVA	-27.65	-54.44															
BARRACÃO	-27.68	-51.45															
PAIM FILHO	-27.71	-51.74															
TRÊS DE MAIO	-27.78	-54.23															
LINHA CESCON	-27.81	-53.03															
SANTO AUGUSTO	-27.85	-53.77															
EREBANGO	-27.85	-52.30															
PORTO LUCENA	-27.85	-55.02										-6.24					
PALMEIRA DAS MISSÕES	-27.91	-53.31				-17.77											
ESQUINA ARAUJO	-27.97	-54.12															
SANANDUVA	-27.98	-51.78															
GIRUA	-28.05	-54.36										-2.12					
TAPEJARA	-28.06	-52.00				-13.58											
CHAPADA	-28.06	-53.07															
COLÔNIA XADREZ	-28.19	-52.75															
PASSO DO SARMENTO	-28.21	-55.32															
PASSO VIOLA	-28.21	-54.60															
CONDOR	-28.23	-53.47															
PASSO DAS PEDRAS	-28.25	-51.85															
PULADOR	-28.28	-52.57				-2.86											
CARAZINHO	-28.29	-52.72															
TRINTA E CINCO	-28.38	-51.83															
MARAU	-28.45	-52.20															
NÃO-ME-TOQUE	-28.46	-52.82															
CONCEIÃ├O	-28.46	-53.97															
VILA TRÊS PASSOS	-28.47	-52.37															
SANTO ANTÈNIO DAS MISSIES	-28.49	-55.23															
CASCA I	-28.55	-51.97															
PASSO MIGLIAVACA	-28.62	-51.87															
ANDERSON CLAYTON	-28.66	-53.61															
PASSO DO NOVO	-28.68	-55.58										-0.19					
SANTA CLARA DO INGAI	-28.73	-53.19															
PASSO MAJOR ZEFERINO	-28.73	-54.65															
DEPOSITO	-28.93	-52.80															

Ext. Sec | Sec | Moyenne | Pluvieux | Ext. Pluvieux

La moyenne des précipitations régionales est de 1070 mm. L'année agricole 2002-2003 peut être considérée comme la plus pluvieuse pour la majorité des stations, 2003-2004 étant plutôt celle la plus proche de la « normale » et 2011-2012 la plus sèche. En plus de ces années types, les années 2000-2001, 2009-2010, 2010-2011 et 2012-2013 ont été très humides (les années 1998-1999, 2004-2005 et 2008-2009 étant sèches ou très sèches, avec 1999-2000 et 2001-2002 plutôt normales).

Dans le cas du Mato Grosso, le tableau 2 ne montre pas une aussi grande homogénéité d'années types en fonction des stations. Cette situation s'explique par la plus grande superficie de la région mais aussi par la diversité des facteurs géographiques (latitude, topographie et végétation par exemple) qui déterminent la variabilité du climat (Nimer, 1989 ; Arvor *et al.*, 2013). La pluviométrie moyenne annuelle sur la période d'étude est de 1733 mm, plus élevée donc que dans le Rio Grande do Sul. Dans le cas du Mato Grosso, 2000-2001 et 2004-2005 ont été des années sèches et 2003-2004 a été extrêmement pluvieuse. Lors des années 2011-2012 et 2012-2013, bien que certaines stations soient classées en « sécheresse extrême », il y a eu une prévalence de pluies.

Tableau 2. Répartition des précipitations par station et par année agricole (octobre-avril) dans la région Nord du Mato Grosso.

Stations de la région d'étude	latitude	longitude	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013
NOBA BRASILANDIA	-14.534	-54.582															
PARANATINGA	-14.418	-54.049															
QUEBÓ	-14.391	-56.072															
NOVA MUTUM	-13.816	-56.122															
FAZENDA AGROCHAPADA	-13.447	-54.281															
NOVA MARINGÁ	-13.029	-57.093															
FAZENDA DIVÃO	-12.980	-56.181															
TELES PIRES	-12.675	-55.793															
NÚCLEO COLONIAL RIO FERRO	-12.518	-54.913															
SANTA FELICIDADE	-11.929	-54.998															
OLHO D'ÁGUA	-11.765	-57.042															
CACHOEIRO	-11.653	-55.702															
FAZENDA ITAUBA	-11.471	-56.433															
JUARA	-11.253	-57.507															
FAZENDA TRATEX	-10.956	-55.549															
COLIDER	-10.799	-55.449															
AGROPECUÁRIA CAJABI	-10.746	-54.546															
NÚCLEO ARIEL	-9.856	-58.247															

Ext. Sec | Sec | Moyenne | Pluvieux | Ext. Pluvieux

4. Discussion sur le lien pluie-rendements du soja

Les données de rendement de soja (figure 3) présentent un profil très différent entre les deux régions. Les rendements sont globalement plus élevés (supérieurs à 2500 kg/ha pour toutes les années étudiées) et moins irréguliers dans le Mato Grosso : si le climat joue un rôle au Mato Grosso, il est moindre et surement à une autre échelle spatio-temporelle. Les données annuelles de la production de soja dans le Rio Grande do Sul sont plus faibles et n'atteignent des rendements proches de ceux du Mato Grosso que lors des années les plus arrosées (2002-2003, 2009-2010, 2010-2011 et 2012-2013). En revanche, dans le Nord-Ouest du Rio Grande do Sul, les années sèches (1998-1999, 2004-2005 et 2011-2012) sont le plus souvent caractérisées par une baisse des rendements. Il existe cependant des contre-exemples, notamment au cours des années où les différences de pluie entre les stations est importante, ce qui se traduit par des rendements moyens (2001-2002, 2007-2008).

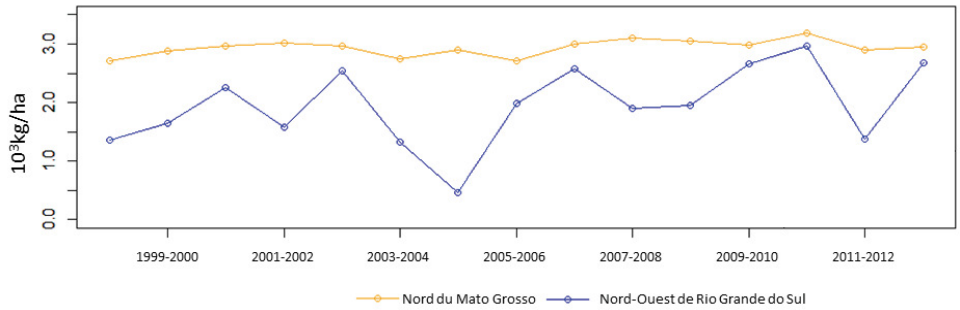


Figure 3. Variations annuelles (1998-2013) des rendements (10^3 kg/ha) du soja dans les régions Nord-Ouest de Rio Grande do Sul et Nord du Mato Grosso. Source des données : IBGE, 2015.

Conclusion

Cette étude préliminaire montre que les rendements agricoles de soja du nord-ouest du Rio Grande do Sul sont assez directement marqués par l'influence des précipitations annuelles, contrairement au Mato Grosso. La zone d'étude du Rio Grande do Sul est certes plus petite mais les précipitations sont beaucoup plus homogènes, une année sèche (ou humide) l'étant en même temps pour toutes les stations. En revanche, dans le Mato Grosso, le lien entre

rendements et pluie ne peut être établi à l'échelle annuelle : les plus grandes surfaces cultivées, la plus grande abondance moyenne des pluies et l'hétérogénéité entre les stations pour une même année contribuent à lisser les valeurs de rendements. La relation entre les deux variables devra donc être recherchée à une autre échelle spatio-temporelle.

Bibliographie

Almeida I. R., Sant'Anna Neto J. L., 2007. The variability in precipitation and the expansion of soybean crop in Brazil: possible scenarios and the hypothesis of climatic changes. Dans P. L. S. Dias, W. Costa Ribeiro, L. H. Nunes (éds.). *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America* (pp. 121-150). University of São Paulo, Institute of advanced studies, 412 p.

Alves L. M., 2009. Clima da Região Centro-Oeste do Brasil. Dans I.F.A. Cavalcanti, N.J. Ferreira, M.A.F. Dias, M.G.A. Justi Da Silva (éds.) *Tempo e Clima no Brasil* (pp. 235-241). Oficina de textos, São Paulo, 463p.

Arvor D., Dubreuil V., Ronchail J., Meirelles M. S., Funatsu B., 2013. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). *International Journal of Climatology*, **1**, 1-12.

Ayoade J. O., 1983. *Introdução a Climatologia para os Trópicos*. Bertrand Brasil, 258 p.

ANA, 2015. *Agência Nacional das Águas*. Disponible sur : www.ana.gov.br (consulté en mai 2016).

Blain G. C., Picoli M. C. A., Lulu J., 2009. Análise estatística das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. *Revista Bragantia*, **68**, 807-815.

Brito F. P., Barletta R., Mendonça M., 2008. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Revista brasileira de climatologia*, **3/4**, 37-48.

Carmello V., Sant'Anna Neto J. L., Dubreuil V., 2014. Variabilité des précipitations et rendements du soja en région de climat de transition. *Actes du XXVII^ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie,* 2-5 juillet 2014 (pp. 279-284). Dijon, France.

Delahaye F., Dubreuil V., Machado L. A. T., 2011. Analyse comparative des données pluviométriques in situ vs trmm3b42 pendant la saison des pluies au Mato Grosso. *Actes du XXIV^ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 6-10 septembre 2011 (pp. 171-176). Roverto, Italie.

EMBRAPA, 2015. *Soja em números*. Disponible sur : http://www.cnpso.embrapa.br/sojaemnumeros/ (consulté en mai 2016).

Fante K. P., Sant'Anna Neto J. L., 2013. Aplicação de técnicas geo-estatísticas em análises climatológicas: metodologias para preenchimento de falhas. *XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, **1**, 782-790.

Grimm A. M., 2009. Clima da região sul do Brasil. Dans I.F.A. Cavalcanti, N.J. Ferreira, M.A.F. Dias, M.G.A. Justi Da Silva (éds.) *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de textos, São Paulo, 463 p.

INPE/CPTEC., 1986. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Disponible sur : http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/capa1.html (consulté en mai 2015).

IBGE, 2015. *Sistema de Recuperação Automática*. Disponible sur : www.sidra.ibge.gov.br (consulté en mai 2016).

Babiker I. S., Mohamed A. A. M., Hiyama T., 2007. Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resour Manage*, **21**, 699-715.

Meisner B. N., 1976. *A study of Hawaiian and line island rainfall*. Honolulu, University of Hawaii, Rep. UHMET, Dept. Meteor, 83 p.

Mousinho F. E. P., Júnior A., Gonçalves A. C. A., Frizzone J. A., 2004. Espacialização dos percentis 75 da precipitação pluviométrica anual para o Estado do Piauí. *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.* São Pedro, Brésil.

Nimer E., 1989. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, 2, 422 p.

Sant'Anna Neto J. L., 1990. *Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista* (Mémoire de Master). São Paulo, Brésil.

Silvestre M. R., Sant'Anna Neto J. L., Flores E. F., 2013. Critérios estatísticos para definir anos padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. *Revista Formação*, **2**, 23-53.

Zandonadi L., 2013. *As chuvas na bacia hidrográfica do rio Paraná, Brasil: um estudo do ritmo climático e algumas considerações sobre a vazão hídrica* (Thèse de doctorat). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brazil.