

APPROCHE BIOCLIMATIQUE DU CONTACT CAATINGA/CERRADO DANS L'ETAT DE BAHIA, BRÉSIL

M.M. DOS PASSOS M ET V. DUBREUIL W

(1) Programa de Pos-Graduação em Geografia da UNESP - Presidente Prudente-SPIBrasil

Universidade Estadual de Maringá - PRIBrasil

<²> COSTEL, UMR 6554 CNRS - LETG, Université Rennes 2

Résumé

La région Nordeste du Brésil est connue pour son climat marqué par l'aridité et pour la variabilité interannuelle des précipitations. Cette contrainte climatique a pour conséquence le développement d'un couvert végétal steppique : *la caatinga*. Dans l'Etat de Bahia, la caatinga présente des faciès variés et, vers l'ouest, la transition avec le domaine du cerrado (savane plus ou moins arborée) n'est pas uniquement liée au facteur climatique. Les données infrarouges du satellite GOES-8 sont utilisées ici pour préciser les limites climatiques respectives des deux domaines bioclimatiques.

Abstract

The region of Northeastern Brazil is well known for its atypically located dry climate and for the great variability in total rainfall. Consequently, this dry climate is linked to a specific scrub vegetation: *the caatinga*. In the State of Bahia, various types of caatinga can be observed and, in the western part of the State, the transition with the savannahs (cerrados) is not only due to climatic factors. We used infrared images from GOES-8 meteorological satellite to map more accurately the limits between these two bioclimatic areas.

Mots-clés : bioclimatologie, Nordeste, caatinga, cerrado, aridité, télédétection

Keywords: bioclimatology, Nordeste, caatinga, cerrado, aridity, remote sensing

Introduction

"La plus grave et insupportable injure à propos du Nordeste semi aride est de prétendre vouloir enseigner à un de ses habitants comment vivre avec la sécheresse." (Aziz ab 'Saber, 1999)

Il existe en Amérique du Sud trois grandes régions marquées par l'aridité: la région de Guajira au Venezuela et en Colombie; la "diagonale aride" du Cône Sud qui revêt des aspects multiples de l'Argentine à l'Equateur en passant par le Chili, la Bolivie et le Pérou; et enfin la région du Nordeste au Brésil, région en partie couverte par une végétation spécifique, la caatinga. A petite échelle, la couverture végétale du bassin du São Francisco montre que, vers le sud et vers l'ouest, la caatinga (forêt sèche) cède la place au cerrado (savanes). A cette échelle la limite entre ces deux formations végétales peut paraître sous la dépendance du facteur climatique. Mais à une échelle plus grande, en se déplaçant dans cette région, on s'aperçoit que les facteurs explicatifs de la physionomie de la végétation sont plus divers. En utilisant les données satellitaires infrarouge du satellite GOES il est possible de préciser comment varient les conditions thermiques de surface qui s'expliquent essentiellement par la nature et l'état d'alimentation en eau du couvert végétal.

1. Présentation du cadre d'études : la marque de l'aridité

Sa position à proximité immédiate de l'Equateur est originale et contribue à singulariser le Nordeste dans la gamme des régions arides. La présence de massifs dépassant les 1000 mètres d'altitude (Chapadas Borborema, Diamantina) permet d'alimenter pendant 5 à 7 mois plusieurs cours d'eau, dont les deux émissaires principaux que sont le Rio São Francisco et le Rio Parnaíba. Malheureusement pour les populations vivant dans la région le long de ces "oasis", la variabilité interannuelle de la

pluviométrie dans cette région peut entraîner des étiages sévères : la situation socio-économique devient alors dramatique comme lors des « *sêcas* » de 1877-79 ou de 1958. Les causes de cette aridité et de cette variabilité sont multiples et depuis longtemps discutées (Trewartha, 1966 ; Ratisbona, 1976; Nimer, 1989 ; Roucou, 1997,...).

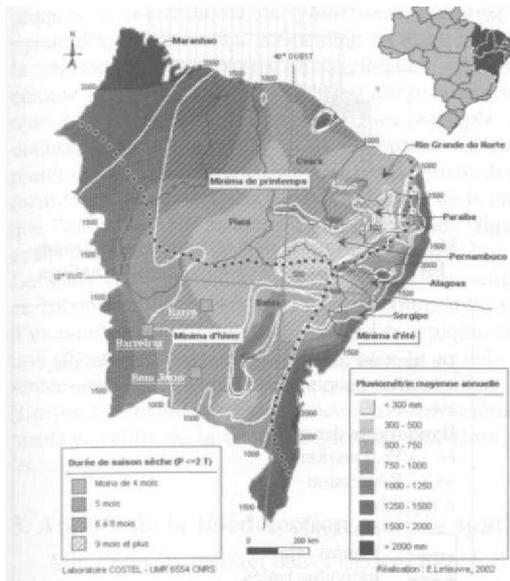


Figure 1 : La sécheresse du Nordeste : Synthèse cartographique Sources diverses, principalement d'après E.Nimer, 1989

La carte de la **figure 1** présente la distribution spatiale de la pluviométrie annuelle et la durée de la saison sèche ($p < 2t$) dans le Nordeste du Brésil. On remarque l'importance du gradient qui oppose le littoral atlantique qui reçoit plus de 1500 mm par an et ne connaît qu'une courte saison sèche et l'intérieur où, le plus souvent, la pluviométrie s'abaisse à moins de 750mm et le nombre de mois secs est supérieur à 6. L'aridité culmine dans l'intérieur de l'Etat de Paraíba ainsi qu'à la limite des Etats de Bahia et du Pernambuco (moins de 500mm par an et plus de 9 mois secs). Dans l'intérieur de l'Etat de Bahia, vers l'ouest, on quitte progressivement le domaine semi-aride de la caatinga pour retrouver une saison sèche plus courte (5 mois) et une moyenne de plus de 1000mm par an : on pénètre alors dans le domaine du cerrado. Les marques de l'aridité s'expriment aussi dans la gamme des températures observées (moyennes annuelles de 24 à 28°C et moyenne des maxima de septembre/octobre proches ou supérieures à 35°C). La saison des pluies s'étend à l'intérieur de décembre à février avec l'arrivée de l'air équatorial continental instable. Au nord, dans les Etats de Piauí, Ceará, le maximum

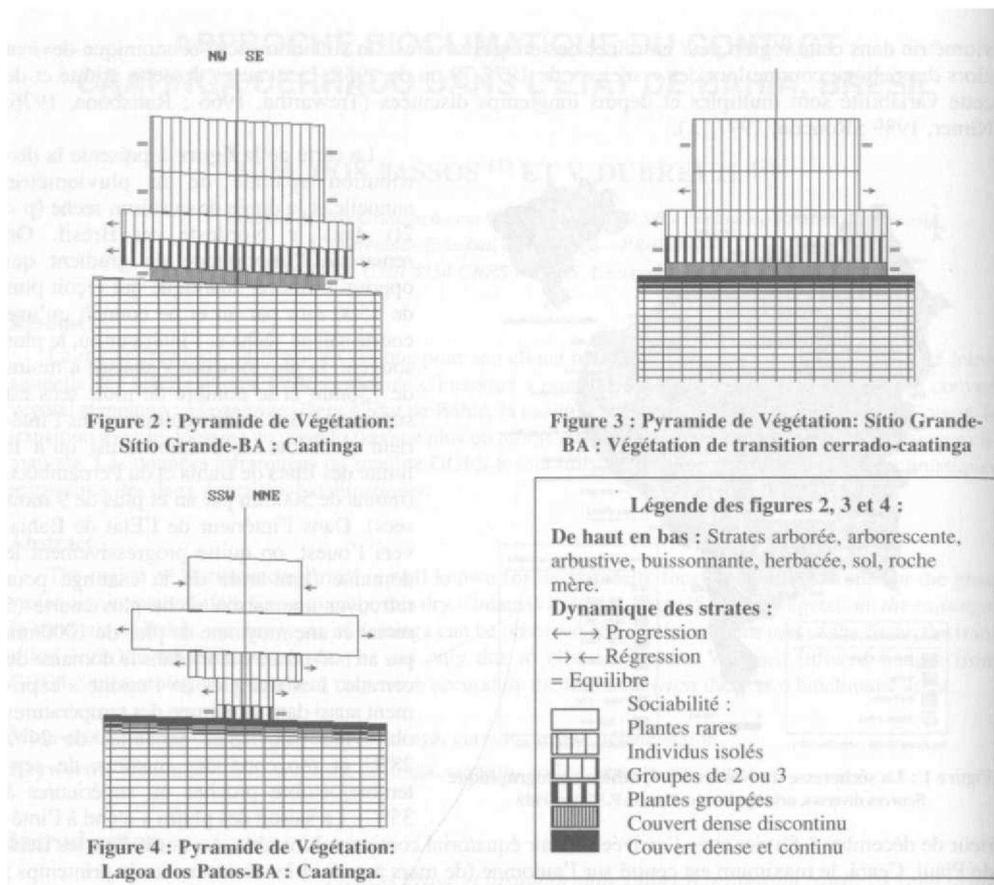
est centré sur l'automne (de mars à mai) et le minimum sur le printemps ; sur le littoral atlantique, enfin, de Natal à Salvador, le maximum est hivernal (mai à juillet) avec une originale saison sèche de fin de printemps et d'été rappelant le régime méditerranéen (Vulquin, 1979).

Surtout, c'est la variabilité interannuelle des précipitations qu'il faut souligner. Dans l'ouest de l'Etat de Bahia nous avons utilisé les données pluviométriques de trois stations: Barreiras, Barra do Rio Grande et Bom Jesus da Lapa. Le **tableau 1** montre l'importance de l'écart entre les valeurs extrêmes relevées annuellement : les grandes sécheresses de 1938-39 ou 1975-76 contrastent avec les forts abats d'eau des années 1918-19, 1925-26 ou 1977-78. Les coefficients de variation sont élevés pour les 3 stations : 30% à Barreiras, 34% à Bom Jésus et 49% à Barra sur l'ensemble de l'année. Pour la seule saison des pluies (décembre, janvier, février), les coefficients sont respectivement de 38, 44 et 54%.

Tableau 1 : Moyennes climatiques pour 3 stations de l'ouest de Bahia, Brésil

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY.	Maxi	Année	Mini	Année
1	117	114	126	60	13	1	1	1	8	49	123	135	746	1220	1918-19	338	1938-39
2	152	149	134	75	16	2	1	3	22	87	174	196	1033	1790	1977-78	567	1975-76
3	121	122	118	52	9	1	2	1	11	55	159	186	835	1665	1925-26	390	1975-76
4	25.7	26.2	26.2	25.6	25.2	23.9	23.8	25.2	26.8	26.8	26.3	25.7	26.0				

- 1- BARRA (11°08S, 43°15W, 410m.) : Précipitations moyennes 1911-1985
- 2- BARREIRAS (12°15S, 44°98W, 435m.) : Précipitations moyennes 1919-1996
- 3- BOM JESUS DA LAPA (13°30S, 43°40W, 440m.) : Précipitations moyennes 1917-2001
- 4- BOM JESUS DALAPA (13°30S, 43°40W, 440m.) : Températures moyennes 1951-2000



2. Caatinga/Cerrado : une transition complexe

La caatinga, telle que l'ont décrite les romanciers Euclides da Cunha ou Rachel de Queiroz, est la formation végétale qui caractérise le mieux le Nordeste semi-aride. Cependant elle ne doit pas être perçue comme le reflet exact des conditions climatiques parce qu'elle revêt une grande diversité de formes dans sa structure, sa composition floristique, la hauteur et la densité des arbres. Son aspect défeuillé durant la saison sèche ont conduit les indiens à la dénommer « *caatinga* » c'est à dire la forêt blanche. Martius, dès 1824, l'a définie comme "*silvae aestu aphyllae*", c'est à dire la forêt sans feuille l'été. Foury (1972) considère cette végétation xérophile du Nordeste comme un *climax* régional tout en reconnaissant sa complexité phytionomique.

En terme de répartition spatiale, le fait essentiel tient au caractère de plus en plus xérique de la végétation au fur et à mesure que l'on se dirige vers le nord en direction du « cœur » aride du Paraíba et du Pernambuco ; mais dans le détail, le long de ce gradient, il existe une très grande diversité des types de caatingas comme des types de cerrados (Schnell, 1987) qui dépendent alors moins du climat que de la topographie (altitude, exposition), de la lithologie, de la pédologie et des facteurs anthropiques, cette région étant exploitée par l'Homme depuis le X^{VI}e siècle. Dans le cours moyen supérieur de Pirapora (Minas Gérais) jusqu'à la ville de São Francisco, le cerrado l'emporte qu'elle que soit l'altitude. La caatinga n'apparaît, mêlée au cerrado, qu'à la hauteur de la ville de Barreiras. Les caatingas pénètrent par le nord de la vallée et dominent dans les grandes étendues planes jusqu'à la base des versants des massifs montagneux (morros et serras). Parmi la végétation, la présence de Barriguda

(*Cavanillesia arborea*) indique une roche mère calcaire tandis que les sols peu épais portent plutôt le *xique-xique* et la « *cabeça de frade* » (tête de moine).

Trois sites ont été étudiés plus en détail pour cette étude : un à l'ouest de Barra en direction de la Chapada Diamantina, les deux autres à proximité immédiate de Barreiras. Les relevés phytogéographiques sur le terrain ont été synthétisés sous forme de pyramides de végétation (figures 2, 3 et 4) : les pyramides de végétation permettent, en effet, de faciliter l'analyse comparative des physionomies de la végétation sur le terrain en privilégiant « la formation végétale des phytogéographes » définie comme « un groupement de végétaux qui présente, malgré des différences entre les espèces, des caractères biologiques et un faciès analogues (exemple: la forêt, la lande) » (Bertrand, 1966). D'après les données climatiques du tableau 1, on pourrait s'attendre à ce que les relevés de la région de Barra soient plutôt du domaine de la caatinga. Effectivement, les relevés végétaux dans le secteur de Barra confirment la prédominance des espèces typiques de la caatinga, bien que les données climatiques montrent que l'on ne soit pas au cœur du domaine aride (figure 4) : on trouve ici des licuris (*Cocos coronata*), et des mandacarus (*Cereus jamacuru*) ; l'araçá (*Psidium sp.*) est la seule espèce du cerrado présente ici. Les deux autres sites, situés près de Barreiras, semblent appartenir déjà au domaine du cerrado (plus de 1000mm annuels et 5 mois secs) et pourtant les relevés végétaux sur le terrain montrent la présence d'un nombre encore important d'espèces typiques de la caatinga. Certes, la physionomie de la végétation (figures 2 et 3) rappelle davantage le cerrado avec les strates herbacées et arborées bien représentées, mais les relevés floristiques révèlent des mélanges complexes entre les espèces du cerrado (*Caryocar brasiliensis*, *Stryphnodendron barbatimão*, *Esenbeckia leiocarpa*, *Annona coriacea*, notamment) et celles de la caatinga (*Andira panviflora*, *Caesalpinia leiostachya*, *Caesalpinia pyramidalis*, ...).

3. Apport de la télédétection pour la spatialisation de la limite caatinga-cerrado

Afin de mieux préciser dans l'espace ce contact entre cerrado et caatinga, on a choisi d'utiliser les données à basse résolution spatiale du satellite géostationnaire GOES-8 (Geostationary Operational Environmental Satellites, Dubreuil et al., 2000). En l'absence d'un canal dans le proche infrarouge, ce sont les données infrarouge thermique qui permettent de bien caractériser l'état du couvert végétal. En effet, les

températures de brillance maximales (TBMax) mesurées par le radiomètre dépendent de la densité de la végétation et de son état d'alimentation en eau. Une telle approche a pu être utilisée avec les données équivalentes METEOSAT pour effectuer un suivi du développement de la végétation au cours de la saison des pluies en Afrique (Guillot et al., 1994). Le même type de synthèse journalière puis mensuelle des images tri-horaires de l'année 2000 a été réalisé pour cette étude: la synthèse mensuelle permet d'éliminer les pixels nuageux en ne retenant, pour chaque pixel, que la valeur maximum observée au cours du mois.

Seules les images des synthèses de février et septembre sont présentées ici car elles correspondent à deux mois « clés » pour la végétation dans la région. Février est, avec janvier, le mois le plus arrosé dans l'intérieur : sur la figure 5, la quasi totalité du Nordeste connaît des TBMax peu élevées (20 à 25°C) ce qui témoigne de

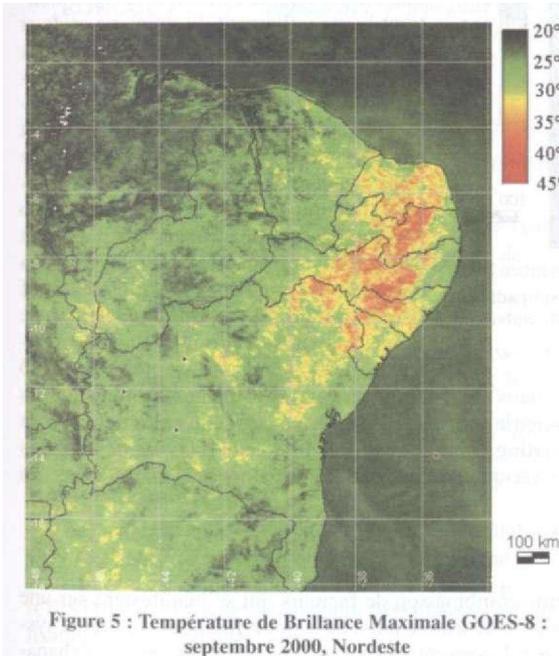


Figure 5 : Température de Brillance Maximale GOES-8 : septembre 2000, Nordeste

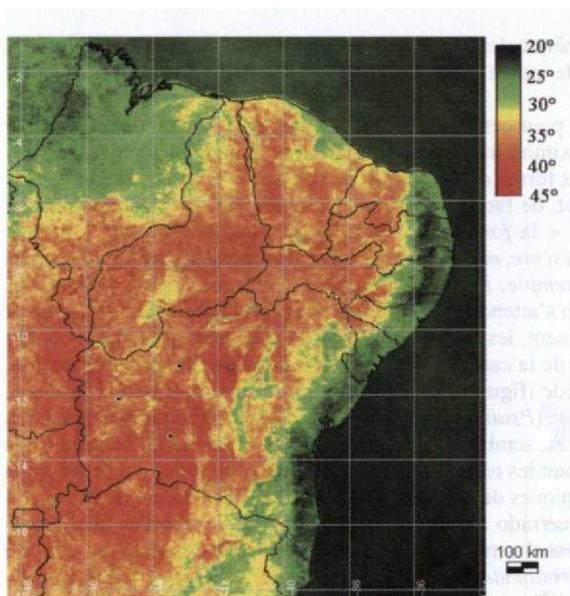


Figure 6 : Température de Brillance Maximale GOES-8 : septembre 2000, Nordeste

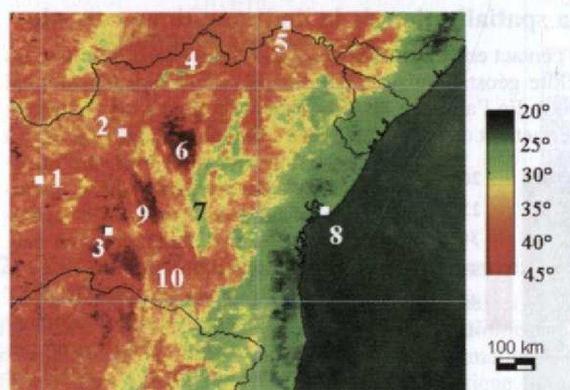


Figure 7 : Zoom sur l'Etat de Bahia (TBMax de septembre 2000)
1: Barreiras; 2: Barra; 3: Bom Jesus; 4: Sobradinho;
5: Petrolina; 6: Irecê; 7: Chapada Diamantina; 8: Salvador;
9: Ibitanga; 10: Brumado

la présence d'un couvert végétal ayant reçu un apport d'eau conséquent pendant la saison des pluies. Les secteurs les plus arides de l'intérieur du Paraíba et du Pernambuco apparaissent d'ailleurs bien avec des températures plus élevées. Septembre coïncide avec la fin de la saison pluvieuse sur le littoral occidental et à la fin de la saison sèche dans les régions les

] plus orientales (Goiás, Maranhão). L'image de la figure 6 permet d'opposer clairement les régions littorales de la façade atlantique de Bahia jusqu'au Cap São Roque (où les températures plus basses témoignent du bon état d'alimentation en eau du couvert végétal à la fin de la saison la plus arrosée) avec celles de l'intérieur où les TBMax, très élevées, correspondent à un couvert végétal desséché.

La comparaison des deux images montre bien la différence entre les noyaux arides du nord-est, où finalement les TBMax restent toujours à des niveaux assez élevés quel que soit le mois du fi de la faible densité du couvert végétal, et les régions du sud-ouest où le contraste saisonnier est plus marqué et mieux rythmé par une pluviométrie plus soutenue. Mais, dans le détail, ces images montrent le morcellement du domaine aride el semi-aride (figure 7). De nombreux îlots de « fraîcheur » liés aux massifs montagneux ou aux principales vallées (l'immense lac de retenue de Sobradinho est parfaitement visible) se détachent tels des oasis de verdure, les « brejos ». A l'opposé, notamment sur la rive droite du Rio São Francisco, apparaissent des plaines et dépressions surchauffées où la caatinga constitue le type de végétation exclusif (Irecê, Ibitanga). A l'ouest de l'Etat de Bahia, autour de Barreiras, l'aspect

moucheté de l'image de septembre 2000 renvoie à l'hétérogénéité du couvert végétal : dans cette région la caatinga « haute » domine sur les interfluves et les sols sableux mais une pluviométrie un peu plus soutenue permet à certaines espèces du cerrado de se développer. En revanche la caatinga « basse » est plus fréquente dans les dépressions argileuses et les zones hydromorphes : l'aspect xérique de la végétation est alors plus marqué avec un plus faible nombre d'espèces du cerrado.

Conclusion

L'aridité dans le Nordeste s'explique par une combinaison de facteurs qui se manifestent sur une grande surface à proximité de l'Equateur : la région se trouve ainsi au « point final des différents systèmes perturbés » (Nimer, 1989). Toutes les terres basses situées au pied ou entre les serras et chapadas

connaissent des températures élevées et une pluviométrie déficitaire : traditionnellement, l'isohyète 750mm est utilisée pour définir le polygone des sécheresses, région d'intervention des pouvoirs publics dans le domaine aride et semi-aride nordestin. Mais, vers l'intérieur, le domaine de la caatinga s'étend plus loin vers l'ouest, s'insinuant entre les paysages du cerrado du Centre Brésilien : le climat n'est alors plus qu'un des facteurs explicatifs de la position de la limite entre la caatinga et le cerrado. Les données de télédétection soulignent comment la nature des sols, la topographie et l'action de l'Homme contribuent parfois tout autant à expliquer les transitions subtiles entre les deux domaines végétaux.

Bibliographie

- AZIZ AB'SABER, 1999 : *Dossie Nordeste Seco* ; São Paulo: USP - Instituto de Estudos Avancados; v. 13; n. 36, p. 24-5.
- BERTRAND, G. (1966) : "Pour une étude géographique de la végétation". *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud-Ouest*, t. XXXVII, TOULOUSE.
- DUBREUIL V., LECAMUS A., DAGORNE D., MAITELLI G.T., 2000 : Apport des satellites géostationnaires GOES pour l'étude du climat du Mato Grosso, Brésil ; *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 13, p. 401-409.
- FOURY, A.P, 1972 - As matas do Nordeste Brasileiro e sua importância econômica. Rio de Janeiro: *Boletim Geográfico*, 31 (227): 14-121
- GUILLOT B., LAHUEC J.P., DAGORNE D., 1994 : *Satellite et surveillance du climat. Atlas de veille climatique : 1986-1994*, ORSTOM-Météo-France, Paris, 91 p.
- MARTIUS, CF. PH., 1824: Die Physiognomie des Phanzenreiches in Brasilien, *Reise in Brasilien*. Bol. 1-13, p. 1823-31.
- NIMER E., 1989 : *Climatologia do Brasil*, IBGE, Rio de Janeiro, 421 p.
- PASSOS, M.M. DOS, 1998 : *Biogeografia e Paisagem*. Présidente Prudente: UNESP, 256 p.
- RATISBONA, L.R. (1976) : The climate of Brazil. *World Survey of Climatology*, 12(5), p 219-293.
- R O U C O U P., 1997 : *Impact des températures de surface océanique d'échelle globale sur la dynamique de l'atmosphère et les précipitations tropicales en Amérique du Sud à l'est des Andes: diagnostic et simulations numériques*, Thèse de doctorat de géographie de l'Université de Bourgogne, Dijon, 199 p.
- SCHNELL R., 1987 : *La flore et la végétation de l'Amérique tropicale*, Masson, 2 vol., 928 p.
- TREWARTHA G.T., 1966 : *The earth's problem climates*. The University of Wisconsin Press, Methuen & Co. Ltd. London; 334 p.
- VULQUIN A., 1979 : *Comparaison entre le climat de Buenos Aires et les climats de la façade orientale du Brésil*, Thèse d'Etat de l'Université de Bourgogne, 2 tomes, 555 p.

Données climatiques:

GHCN (Global Historical Climatology Network), mis en place par le CDIAC/ORNL (Carbon Dioxide Information Analysis Center /Oak Ridge National Laboratory) et le NCDC (National Climatic Data Center) : .

INMET: Instituto Nacional da METeorologia, Brésil

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier pour leur collaboration : Dominique Dagorne (IRD) et Jean Pierre Oiry (SATMOS Lannion) pour l'accès aux données satellitaires GOES, Olivier Planchon (COSTEL) pour la mise à disposition des données climatiques du GHCN, Pascal Gouery et Frédéric Damato (CO S TEL) pour l'aide fournie pour le traitement des images et Erwan Lefeuvre (COS TEL) pour la réalisation cartographique.