

**Conséquences climatiques et hydrologiques des événements ENSO à l'échelle régionale
et locale**

INAMHI-ORSTOM, Quito, Novembre 1997.

La variabilité hydrologique actuelle dans le bassin de l'Amazone

Jean Loup Guyot, Jacques Callède & Michel Molinier
ORSTOM Brasília et ORSTOM Yaoundé

Valdemar Guimarães & Eurides de Oliveira
DNAEE Brasília

Résumé :

L'Amazone est le plus important fleuve de la planète en terme de débit (209 000 m³/s) et de superficie drainée de plus de 6 millions de km². La variabilité hydrologique actuelle de l'Amazone et de ses principaux formateurs peut être maintenant étudiée avec quelque précision, en utilisant les données hydrologiques du réseau du DNAEE en Amazonie brésilienne. La plupart de ces stations, installées au début des années 1970, possèdent aujourd'hui des chroniques de débit de 20 à 25 ans. L'analyse de ces données a permis d'étudier en détail le régime hydrologique des principaux fleuves du bassin, qu'ils soient d'origine andine (Solimões, Madeira), proviennent des boucliers guyanais (Branco, Trombetas) ou brésilien (Xingu, Tapajós), ou encore de la vaste plaine amazonienne (Juruá, Purus). L'Amazone, dont l'hydrogramme à crue unique est généré par les apports combinés des différents tributaires, présente une variabilité interannuelle très faible sur la période d'observation ($K3 = 1.3$ pour l'Amazone à Óbidos).

Malgré cette relative constance des débits de l'Amazone, certaines variations hydrologiques sont perceptibles, et peuvent être reliées à la variabilité climatique globale de type ENSO. Toutefois, compte tenu de la taille régionale des bassins drainés et de leur distribution géographique, la réponse hydrologique à une anomalie climatique de type ENSO pourra être différente sur les différents tributaires de l'Amazone. L'analyse détaillée des hydrogrammes de ces fleuves permet de quantifier l'impact des phénomènes climatiques de type ENSO sur l'hydrologie régionale du bassin amazonien, au cours de ces 20 dernières années.

La variabilité hydrologique actuelle dans le bassin de l'Amazonie

Jean Loup Guyot, Jacques Callède & Michel Molinier
ORSTOM Brasília et ORSTOM Yaoundé

Valdemar Guimarães & Eurides de Oliveira
DNAEE Brasília

1. Introduction

L'Amazonie est le plus important fleuve de la planète en terme de débit (209 000 m³/s) et de superficie drainée (6 millions de km²). Pour cette raison, la plupart des études sur la variabilité climatologique mondiale, et plus particulièrement celles traitant du phénomène climatique « El Niño », se sont intéressées au bassin « géant » du fleuve Amazonie.

Après l'accident climatique majeur de 1982/1983, divers auteurs (Kousky et al., 1984 ; Nobre et Renno, 1985) ont montré que le « Niño » a entraîné une baisse importante des précipitations dans le bassin amazonien, de l'ordre de 30%, avec des valeurs pouvant atteindre -70% en janvier et février 1983. Les périodes de type « Anti-Niño », ou « Niña », observées en 1975/1976 et 1988/1989, sont par contre responsables d'un excès pluviométrique en Amazonie (Molion, 1991). Cette variabilité de la pluie dans le bassin amazonien a pu être corrélée à l'Indice d'Oscillation Austral (SOI), et les résultats (Rao et Hada, 1987 *In* Molion, 1991) mettent en évidence des régions aux comportements différents. Le coefficient de corrélation positif (> 0.6) obtenu dans le Nord-Est du bassin, suggère un couplage fort entre le SOI et la pluviométrie dans cette région (bassins des rios Trombetas et Jari). Au Sud, la corrélation SOI/Pluviométrie est négative (bassins des rios Xingu et Tapajós), puis voisine de 0 dans la partie occidentale de l'Amazonie brésilienne.

Du fait de la faible densité du réseau pluviométrique en Amazonie, et de l'effet intégrateur du débit des fleuves, certains auteurs ont ensuite tenté de relier le SOI aux indices de hauteur d'eau et/ou de débit. Ainsi, Molion et Moraes (1987) ont observé une forte corrélation (> 0.8) entre le SOI et l'indice des débits du Rio Trombetas, avec un décalage de trois mois. Dans cette partie du bassin, un faible SOI entraîne de faibles débits, et inversement. Ces mêmes auteurs ont également montré pour le Rio Jiparana (affluent de rive droite du Rio Madeira) une corrélation négative avec le SOI, en accord avec les observations pluviométriques de Rao et Hada (*In* Molion, 1991). Ensuite, d'autres auteurs (Marengo et Hastenrath, 1993 ; Marengo, 1995) ont tenté de relier le SOI, la pluviométrie et les hauteurs d'eau des rios Solimões, Negro, Amazonie et Tapajós.

L'objectif de notre étude est de tenter d'identifier les effets des phénomènes de type « Niño », et « Niña », sur le comportement hydrologique des principaux fleuves du bassin de l'Amazonie.

2. Données existantes et fonctionnement hydrologique du bassin amazonien

Au début des années 70, le DNAEE [Département National des Eaux et de l'Energie Electrique du Brésil] a entrepris la mise en place d'un réseau de stations hydrométriques en Amazonie brésilienne, qui aujourd'hui compte plus de 200 postes en activité (Oliveira et al., 1993). La plupart de ces stations possèdent ainsi des chroniques de débit de 20 à 25 ans, ce qui permet l'analyse du régime hydrologique des principaux fleuves du bassin, qu'ils soient d'origine andine (Solimões, Madeira), proviennent des boucliers guyanais (Branco, Jari) ou brésilien (Xingu, Tapajós), ou encore de la vaste plaine amazonienne (Juruá, Purus).

Du fait de la faible déclivité du cours principal (Solimões - Amazone) et de la forte amplitude entre hautes eaux et basses eaux (15 m à Manaus), la plupart des tributaires de l'Amazone (Rios Purus, Negro, Madeira, Tapajós, Xingu, etc...) sont soumis à un phénomène de « barrage » par le cours principal (Meade et al., 1991 ; Molinier et al., 1996). Cette particularité, qui peut être sensible sur plusieurs centaines de km à l'amont des embouchures, fait que les hauteurs d'eau d'un tributaire de l'Amazone au voisinage de sa confluence n'est pas fonction du débit de ce fleuve, mais du débit du cours principal. Pour cette raison, les hauteurs d'eau observées à Manaus, Santarém et Itaituba ne traduisent pas l'hydrologie des rios Negro et Tapajós, mais les débits du Rio Solimões - Amazone, ce qui invalide en partie les conclusions de certains auteurs (Marengo et Hastenrath, 1993 ; Marengo, 1995).

Comme la station de Manaus sur le Rio Negro est la seule à posséder une longue chronique continue de hauteurs d'eau, certains auteurs ont tenté de relier ces hauteurs aux débits du Rio Solimões à la station proche de Manacapuru (Richey et al., 1989 ; Guyot, 1993). La bonne corrélation obtenue (Figure 1) permet d'estimer les débits du Rio Solimões pour la période 1902-1996.

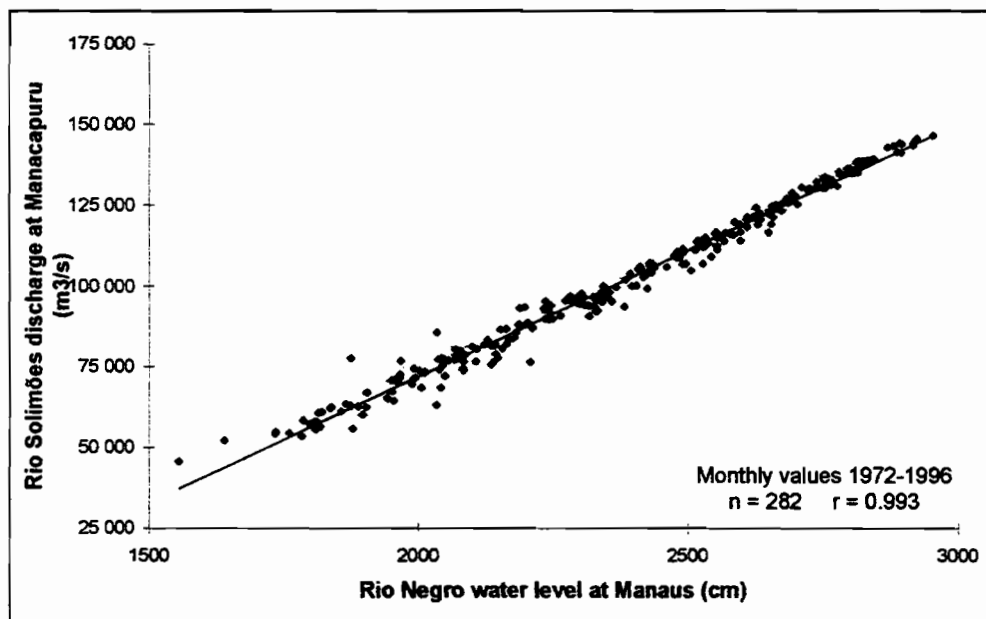


Figure 1 : Débits du Rio Solimões à Manacapuru vs. Hauteurs d'eau du Rio Negro à Manaus (valeurs moyennes mensuelles)

3. Variabilité hydrologique sur le long terme

Les études climatologiques ont montré que la variabilité sur le long terme, indique une légère augmentation de la pluviométrie sur le bassin, du début des années 1960 jusqu'à la moitié des années 1970 (Rocha et al., 1989). Pour l'hydrologie, la seule chronique fiable et continue est celle de Manaus. Les débits du Rio Solimões estimés à partir de la chronique des hauteurs d'eau de Manaus montre également une tendance générale à l'augmentation des débits (Figure 2). Richey et al. (1989) ont montré que les débits du Rio Solimões ainsi calculés, présentent une variabilité qui semble être couplée au phénomène « Niño ». Les indices de Hauteurs d'eau du Rio Negro à Manaus et le SOI sont reportés dans la figure 3, avec un décalage de 6 mois. Les deux séries présentent des tendances divergentes.

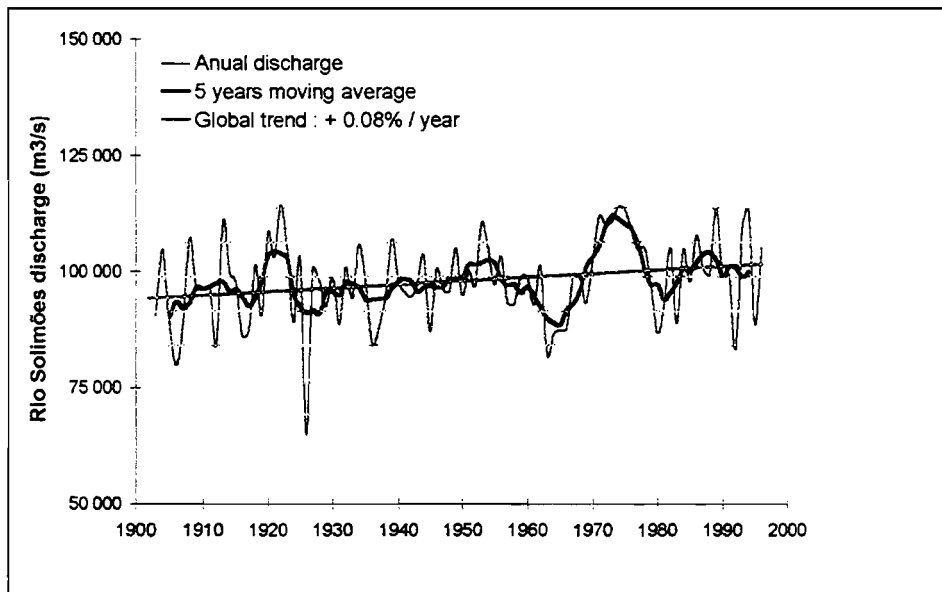


Figure 2 : Variabilité des débits du Rio Solimões à Manacapuru, 1902-1996.

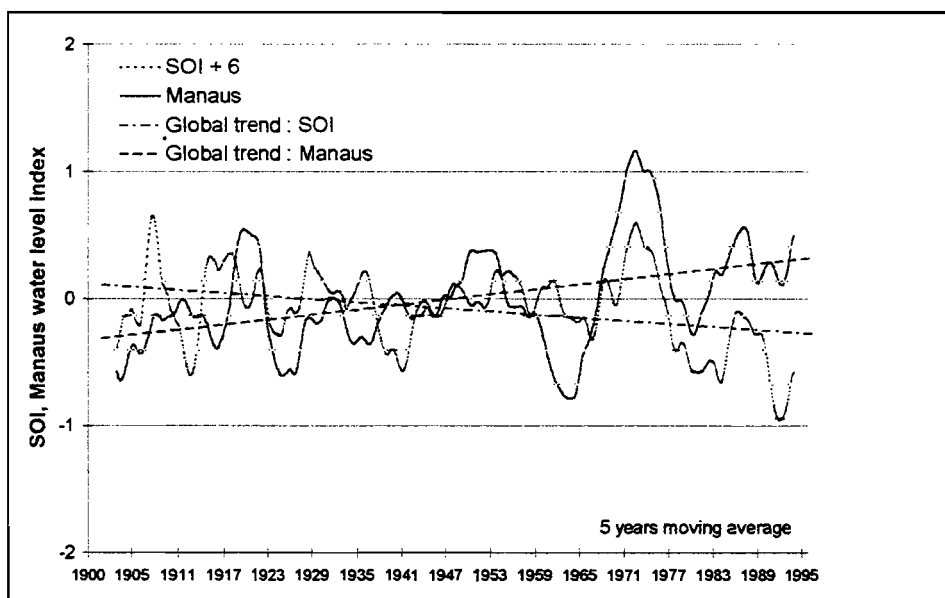


Figure 3 : SOI et indices des hauteurs d'eau du Rio Negro à Manaus, 1902-1996.

3. Variabilité hydrologique pour la période 1970-1996

La variabilité hydrologique a été étudiée à partir des données de 17 stations hydrométriques du DNAEE, réparties sur l'ensemble du bassin amazonien brésilien (Figure 4). L'existence d'une série continue de hauteurs d'eau et la bonne qualité de la courbe d'étalonnage ont guidé le choix des stations. Ce dernier critère a entraîné l'exclusion des stations situées à proximité des confluences avec le cours principal de l'Amazone - Solimões. Les résultats obtenus (Tableau) permettent d'identifier des comportements régionaux. Dans le quadrant Nord-Est, les rios Jari (São Francisco) et Branco (Caracaraí) présentent un comportement en phase et bien corrélé avec le SOI, avec un fort déficit hydrique lors des années de type « Niño » et un excédent lors des épisodes « Niña ». Cette tendance peut être observée, à des degrés divers, sur le débit des rios Negro, Solimões, Juruá et Acre. Par contre, dans le Sud, le Rio Madeira présente une variabilité inverse, avec excédent pluviométrique lors des phases « Niño », et inversement. Les rios Tapajós et Xingu montrent une évolution similaire, qui semble être une caractéristique de cette partie du bassin amazonien. Malgré tout, la crise majeure de 1982/1983 se traduit par une chute des débits de 1983 pour la plupart des bassins étudiés.

A Óbidos, l'Amazone intègre l'ensemble de la variabilité de ses tributaires, mais présente globalement un comportement en phase avec le SOI. Ainsi, l'événement climatique « Niño » de 1982/1983 a entraîné une baisse de 16% du débit moyen annuel de l'Amazone en 1983. De même, la « Niña » de 1988/1989 est responsable d'une augmentation de 14% du débit de l'Amazone en 1989.

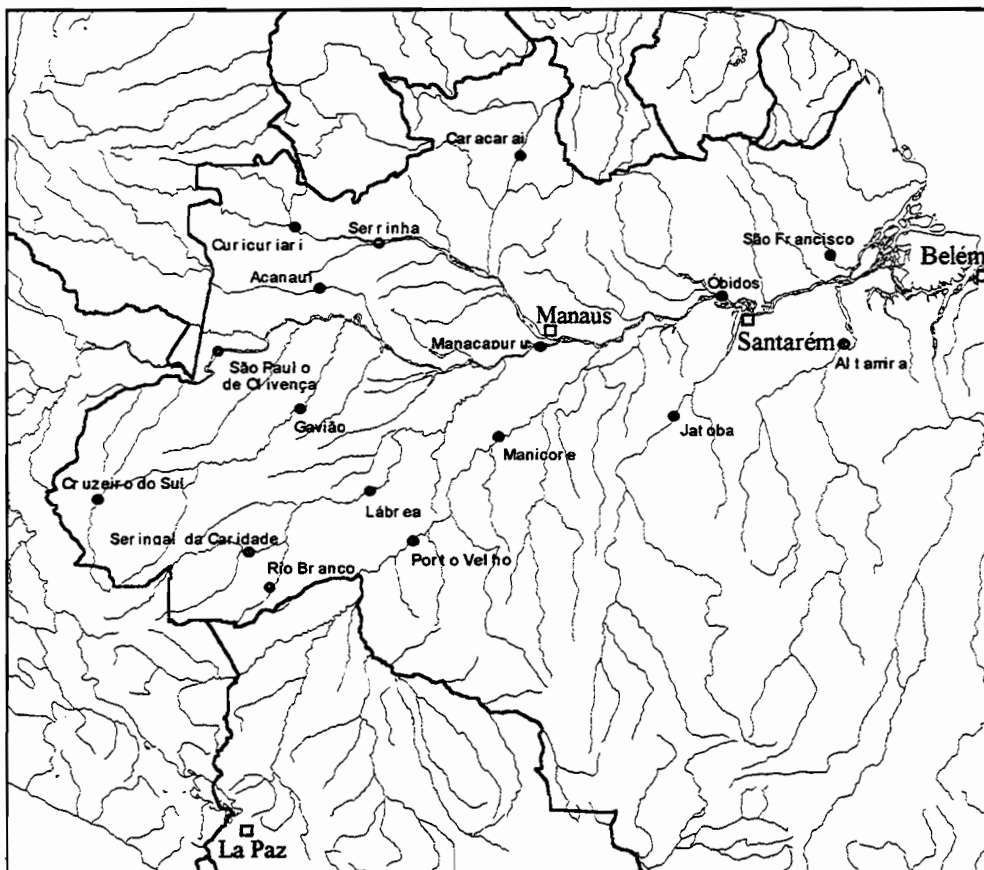


Figure 4 : Les stations hydrométriques étudiées

Tableau : Caractéristiques des bassins étudiés, 1970-1996.

[dQ_76, dQ_83, dQ_89 = écart par rapport à la moyenne

r = coefficient de corrélation entre les indices de débit et le SOI, avec un décalage de 6 mois]

N°	Station	Rio	Sup. (km ²)	Débit (m ³ /s)	dQ_76 (%)	dQ_83 (%)	dQ_89 (%)	r
1	São Francisco	Jari	51 340	1 020	40	-66	54	0.55
2	Caracarái	Branco	124 980	2 740	54	-58		0.45
3	Curicuriari	Negro	194 460	11 700		-9	14	0.21
4	Serrinha	Negro	279 950	16 000		-12	17	0.23
5	Acanauí	Japurá	242 260	13 900	12	-2	7	0.16
6	São Paulo Olivença	Solimões	990 780	46 700	2	-3	6	0.13
7	Cruzeiro do Sul	Juruá	38 540	920	11	-18	-6	0.12
8	Gavião	Juruá	162 000	4 770	-1	-11	2	0.18
9	Seringal Caridade	Purus	63 170	1 340	-14	-21	-2	0.04
10	Rio Branco	Acre	22 670	360	18	-25	-1	0.12
11	Lábrea	Purus	220 350	5 680	-10	-15	4	0.20
12	Solimões	Manacapuru	2 147 740	101 600	7	-12	11	0.33
13	Porto Velho	Madeira	954 290	19 600	-3	7	-15	-0.22
14	Manicoré	Madeira	1 123 670	25 600	-14	6		-0.25
15	Jatoba	Tapajós	387 380	10 600	-11			0.10
16	Altamira	Xingu	446 200	8 690	-22	-22	9	0.11
17	Óbidos	Amazonas	4 618 750	184 000	7	-16	14	0.44

Les coefficients de corrélation entre l'indice des débits et le SOI présentent une distribution régionale comparable à celle obtenue avec la pluviométrie sur le bassin (Rao et Hada, 1987 *In* Molion, 1991).

Les figures 5 et 6 représentent l'évolution comparée des indices de débit et du SOI, pour la période 1970-1996, des principaux fleuves du bassin amazonien. Il est intéressant de noter que les bassins où l'indice de débit est en phase avec le SOI (rios Jari, Solimões, Purus, Amazone), la tendance hydrologique est à la baisse, alors que ceux qui sont en opposition (Madeira, Xingu) présentent une tendance à l'augmentation des débits.

4. Conclusion

Cette étude correspond à une première exploration de la banque de données hydrologiques du projet HiBAm (CNPq - ORSTOM \ DNAEE \ UnB) avec pour objectif l'étude de la variabilité climatique. Ces résultats seront affinés et étendus à l'ensemble des stations hydrométriques du réseau DNAEE en Amazonie brésilienne, ce qui devrait permettre de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin, et d'estimer l'impact des événements climatiques de type « Niño » ou « Niña » sur les ressources hydriques.

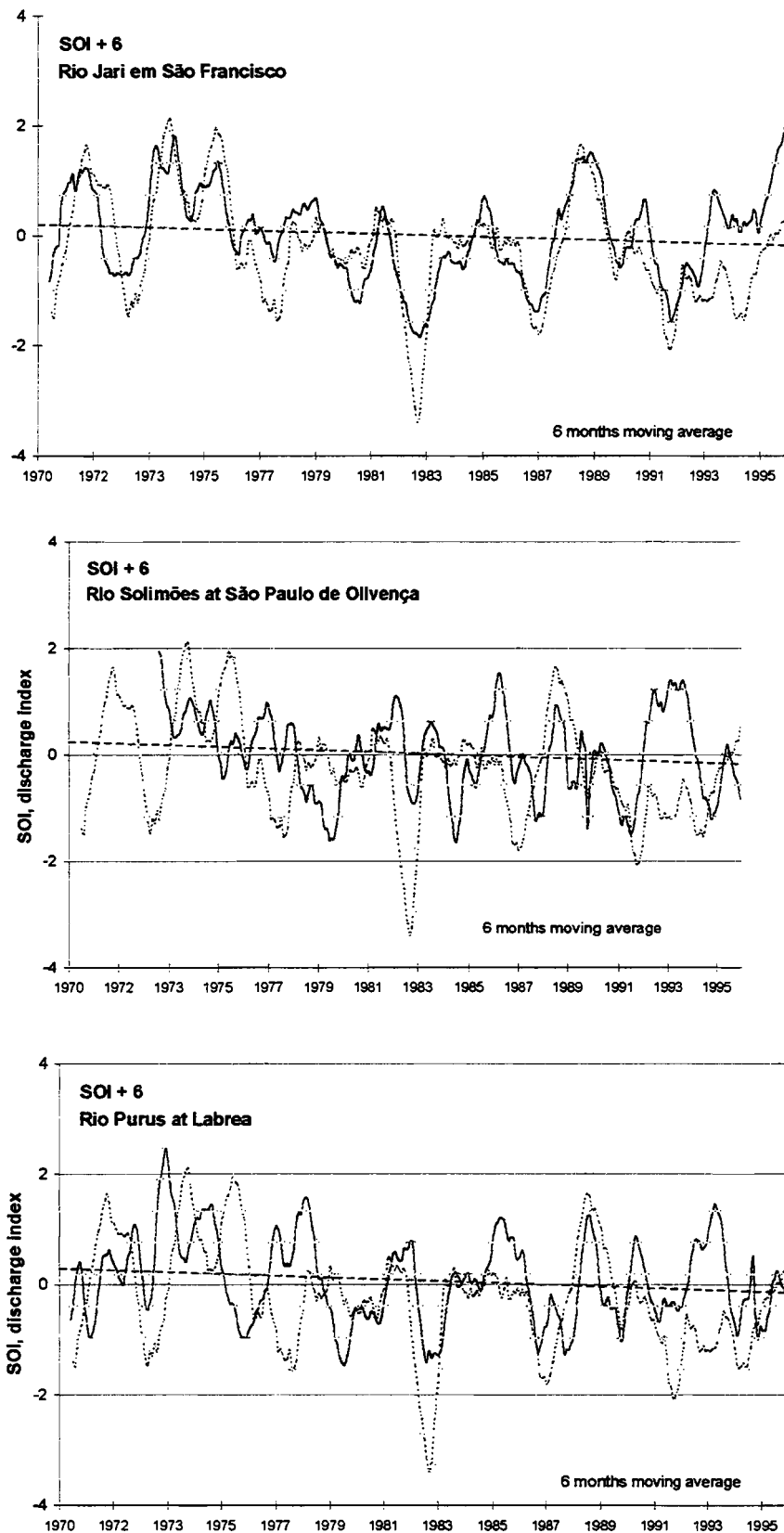


Figure 5 : SOI et indice de débit, 1970-1996.

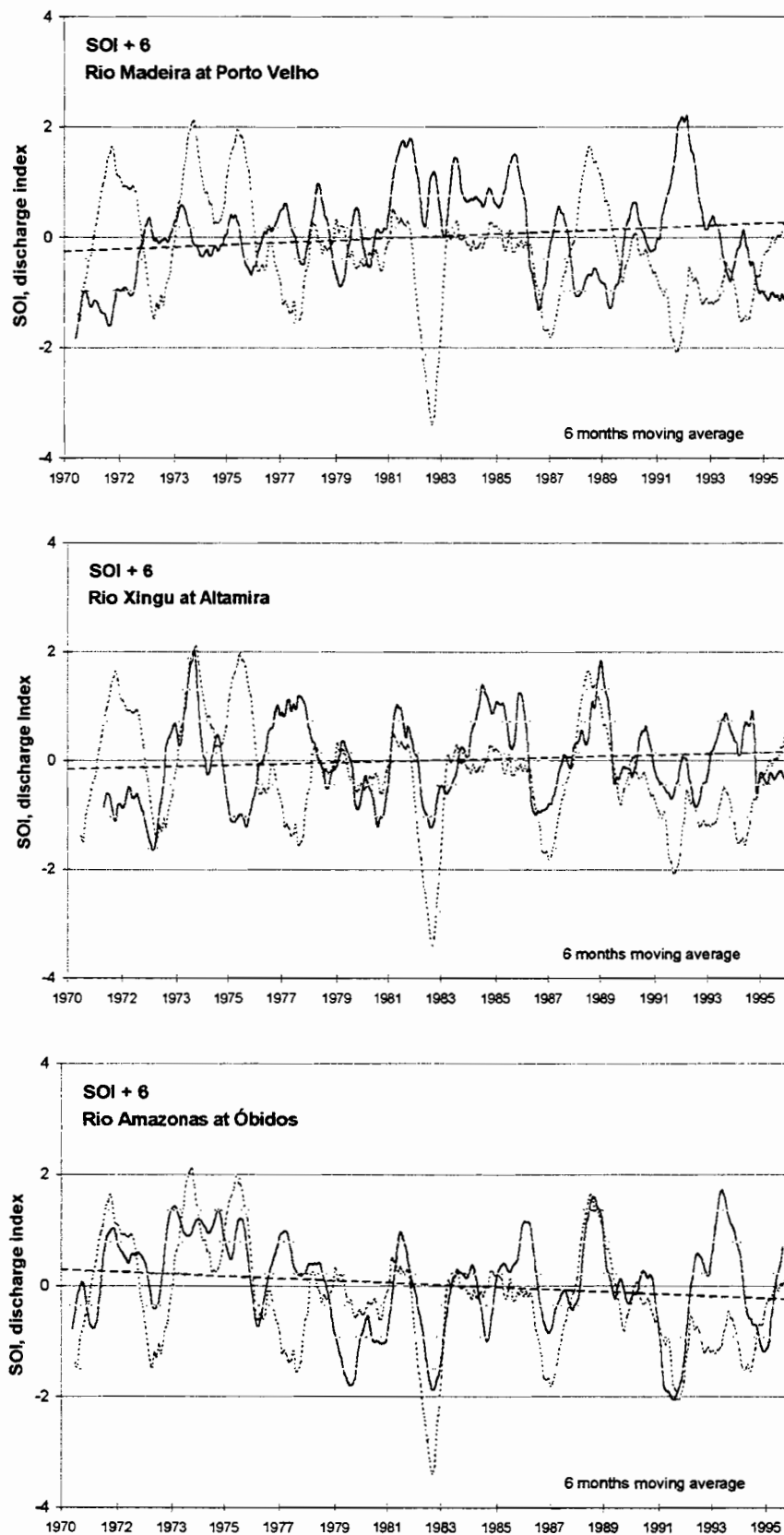


Figure 6 : SOI et indice de débit, 1970-1996.

5. Références

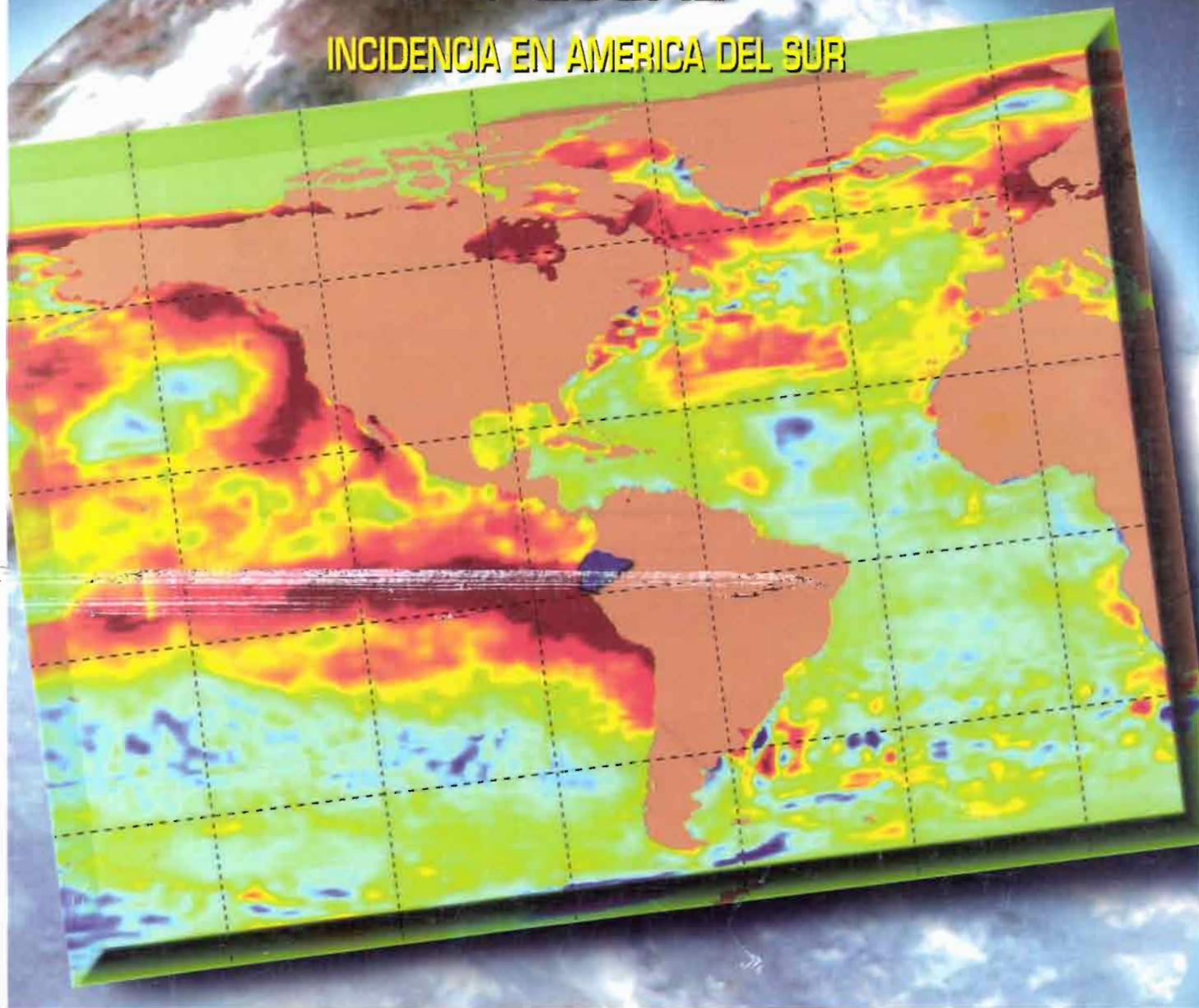
- Guyot J.L. 1993. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne. Etudes et thèses, Edition ORSTOM, Paris, 262 p.
- Kousky V.E., Kayano M.T., Cavalcanti I.F.A. 1984. A review of Southern Oscillation : oceanic, atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. Tellus, 36(A) :490-504.
- Marengo J. 1995. Variations and change in South American streamflow. Climatic Change, 31 : 99-117.
- Marengo J., Hastenrath S. 1993. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. Journal of Climate, 6 : 617-627.
- Meade R.H., Rayol J.M., Conceição S.C., Natividade J.R.G. 1991. Backwater effects in the Amazon river basin of Brazil. Environ. Geol. Water Sci., 18(2) : 105-114.
- Molinier M., Guyot J.L., Oliveira E., Guimarães V. 1996. Les régimes hydrologiques de l'Amazone et de ses affluents, 209-222. *In* L'hydrologie tropicale, IAHS, Paris, Mai 1995.
- Molion L.C. 1991. Climate variability and its effects on Amazonian hydrology, 261-274. *In* Water Management of the Amazon basin, UNESCO/ABRH, Braga B. & Fernandez C. (eds), Manaus, August 1990.
- Molion L.C.B., Moraes J.C. 1987. Oscilação Sul e descarga de rios na America do Sul Tropical. Rev. Bras. Eng., 5(1) : 53-63.
- Nobre C.A., Renno N.O. 1985. Droughts and floods in South America due to the 1982-83 ENSO episode, 131-133. *In* 16th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, AMS, Houston.
- Oliveira E., Cudo K.J., Aquino M., Guimarães V. 1993. A operação da rede hidrometeorológica da região amazônica, 237-246. *In* X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Gramado, Nov. 1993, Vol. 4.
- Richey J.E., Nobre C., Deser C. 1989. Amazon river discharge and climate variability. Science, 246 : 101-103.
- Rocha H.R., Nobre C.A., Barros M.C. 1989. Variabilidade natural de longo prazo no ciclo hidrológico da Amazonia. Climanalise, 4(12) : 36-42.



SEMINARIO INTERNACIONAL
CONSECUENCIAS
CLIMATICAS E
HIDROLOGICAS DEL
EVENTO EL NIÑO
A ESCALA REGIONAL
Y LOCAL

CRSTOM

INCIDENCIA EN AMERICA DEL SUR



MEMORIAS TECNICAS

EDICION PRELIMINAR

26-29 de noviembre de 1997
Quito-Ecuador



MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

COSENA

IAEN

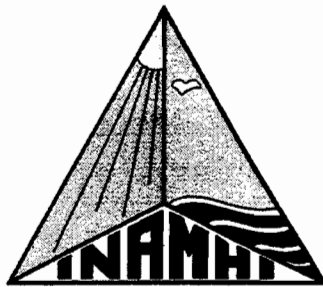
CATHALAC

CAAM

CETUR

SEMINARIO INTERNACIONAL

**CONSECUENCIAS CLIMATICAS E
HIDROLOGICAS DEL ENSO A
ESCALA REGIONAL Y LOCAL**



**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
E HIDROLOGIA**



**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**

**CONFERENCIAS,
ARTICULOS
Y
POSTERS**

**EDITORES: DR. ERIC CADIER & DR. REMIGIO GALARRAGA
26-29 de noviembre de 1997**