

HYDROLOGIE DU BASSIN DE L'AMAZONE.

M. MOLINIER, J. L. GUYOT, E. de OLIVEIRA, V. GUIMARÃES & A. CHAVES

1. INTRODUCTION.

Les premières estimations du débit de l'Amazone datent du siècle dernier (Spix & Marius, 1831; Reclus, 1877; Siemens, 1896; Katzer, 1898 *In* Oltman & al., 1964). Ces résultats, qui correspondent le plus souvent à des mesures ponctuelles, étaient basés sur l'estimation de la vitesse moyenne du courant, et de la section du fleuve. M. Pardé estime ensuite le débit de l'Amazone (environ $100000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) à partir des observations de P. Le Cointe et du calcul d'un bilan hydrique rudimentaire (Le Cointe, 1935; Pardé, 1936, 1954). Les premiers jaugeages de l'Amazone, réalisés en 1963-1964 par l'US Geological Survey, permettent enfin d'avoir une idée correcte du débit de l'Amazone à la station de référence de Obidos qui draine un bassin de $4.6 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Les apports de ce fleuve à l'océan Atlantique oscilleront suivant les auteurs et les périodes considérées, de 175000 à $212000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Davis, 1964; Oltman, 1968; Nordin & Meade, 1985; Richey & al., 1986, 1989).

Le calcul du débit de l'Amazone, mais aussi celui de ses principaux tributaires, est compliqué par la très faible pente du cours d'eau, qui ne dépasse pas $2 \text{ cm} \cdot \text{km}^{-1}$ (Sioli, 1984) et les fortes vitesses observées (Castro Soares, 1991). Il ne s'agit pas d'un écoulement classique d'amont vers l'aval, mais d'une poussée par l'onde de crue des fleuves d'origine andine. Aussi, les relations hauteurs-débits sont rarement univoques, et présentent des courbes en forme de lasso (Guimarães & Jacon, 1983; Jacon & Cudo, 1987a). Pour cette raison, les apports de certains tributaires importants, comme le Rio Negro, étaient mal connus (Matsui & al., 1976; Meade & al., 1991).

Le programme HIBAM (Hidrologia da Bacia Amazônica : Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - ORSTOM) a commencé en 1982 une étude sur l'hydrologie du bassin amazonien, en focalisant ses recherches sur : 1. la réalisation de jaugeages précis par exploration complète du champ des vitesses dans la section de quelques stations clés (Jacon, 1987; Jacon & Cudo, 1984, 1985, 1987b, 1987c; Jacon & al., 1986, 1987, 1988), 2. l'établissement de courbes de tarage tenant compte du gradient limnimétrique (Jacon & Cudo, 1987a, 1989), 3. la critique et l'homogénéisation des données hydro-climatiques du DNAEE (Hiez & Rancan, 1983; Costa Barros & al., 1985; Hiez & al., 1986, 1991, 1992), permettant le calcul de bilans hydriques précis par sous-bassins (Molinier, 1992; Molinier & al., 1991, 1992, 1993; Guyot & al., 1993), 4. la télétransmission satellitaire de données hydrologiques (Callède, 1982; Claudino, 1983; Callède & al., 1986; Callède & Claudino, 1987; Guimarães & al., 1993).

Un des objectifs du programme HIBAM, exposé dans ce travail, est la connaissance des débits et leurs variations saisonnières, des différents affluents de l'Amazone, ainsi qu'une meilleure estimation des apports hydriques à l'océan Atlantique.

2. LE BASSIN AMAZONIEN

Le bassin de l'Amazone, le plus important des fleuves de la planète en terme de surface drainée et de débit, couvre $6.1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (près de 5% des terres émergées) et apporte à l'Atlantique un volume d'eau qui représente environ 15% des apports hydriques aux océans.

Le bassin de l'Amazone, situé entre 5° de latitude Nord et 20° de latitude Sud, s'étend sur 7 pays : le Brésil (63%), le Pérou (16%), la Bolivie (12%), la Colombie (5.6%), l'Equateur (2.3%), le Venezuela (0.6%) et le Guyana (0.2%). Il est limité au Nord par les reliefs du bouclier guyanais, à l'Ouest par la chaîne des Andes, au Sud par le plateau du bouclier brésilien, et à l'Est par l'océan Atlantique. Entre les Andes et les boucliers anciens, les limites du bassin ne sont pas très marquées et des phénomènes de diffluence sont observés : au Nord avec l'Orénoque (Humboldt, 1814-1825; Sternberg, 1975) et au Sud vers le Rio Paraguay (Matos, 1937 *In* Sioli, 1967).

Le bassin amazonien est divisé en trois grandes unités morpho-structurales (Fig.1) héritées de l'histoire géologique du bassin : les boucliers, la chaîne des Andes et la plaine amazonienne, qui occupent respectivement 44%, 11% et 45% de la superficie totale du bassin versant. Les

principaux fleuves formateurs de l'Amazonie présentent des caractéristiques hydrographiques liées à ces trois grandes unités. Les deux fleuves d'origine andine (Rio Marañón-Solimões et Rio Madeira) signent leurs apports à l'Amazonie par des eaux chargées en matières dissoutes et particulaires (Sioli, 1984; Nordin & Meade, 1985; Richey & al., 1986).

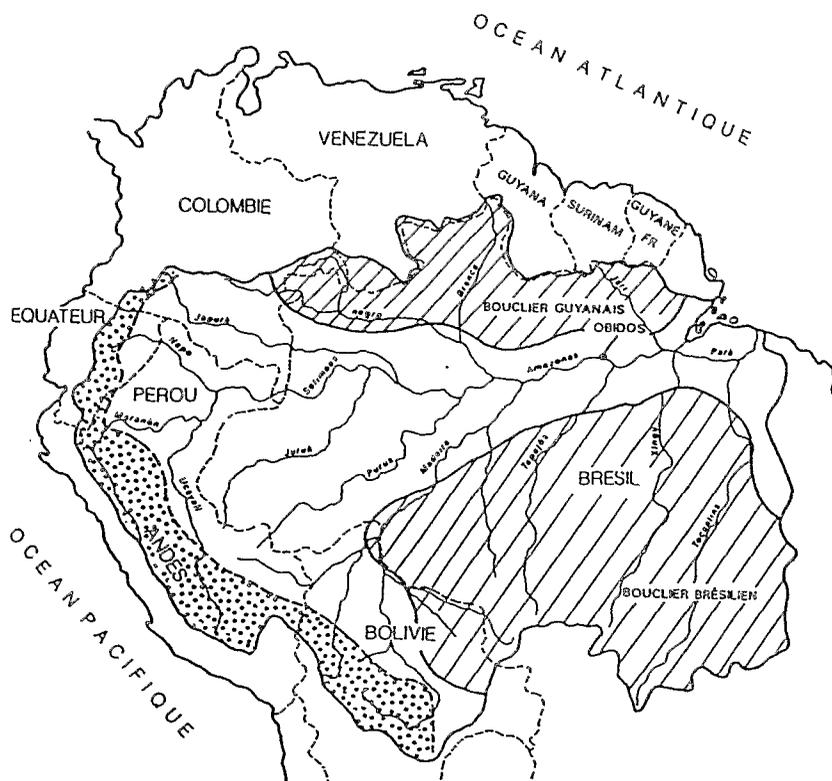


Figure n° 1
Carte du bassin amazonien.

Dans la région de Manaus, la convergence des apports des rios Solimões, Negro et Madeira entraîne une nette augmentation des surfaces drainées et des débits. Cette concentration des apports, associée à une très faible pente hydraulique, va générer des perturbations dans l'écoulement de ces fleuves, aggravant la non-univocité des courbes de tarage dans cette région (Meade & al., 1991).

Le bassin amazonien est soumis à un régime des précipitations essentiellement d'origine Atlantique, et reçoit en moyenne 2460 mm.an^{-1} (Salati & al., 1978; Nimer, 1991; Hiez & al., 1991; Molinier & al., 1992). Dans la partie brésilienne du bassin, la distribution saisonnière des précipitations montre des différences sensibles entre le Nord et le Sud. Au Nord de l'équateur (bassin du Rio Negro), le maximum pluviométrique est observé de Mai à Juillet alors qu'il apparaît de Décembre à Mars dans le Sud du bassin. La moitié du volume des précipitations retourne dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau du fait de la très forte évapotranspiration de la forêt amazonienne (Villa Nova, 1976; Salati & al., 1979; Marques & al., 1980; Mortatti & al., 1987). Ainsi, la lame d'eau précipitée correspond pour environ 50% à de la vapeur d'eau recyclée (Salati & Marques, 1984). Dans les bassins andins de Bolivie, l'effet du relief est très marqué avec des valeurs extrêmes de 6000 mm.an^{-1} au pied des Andes, et de 300 mm.an^{-1} dans certaines vallées abritées (Roche & al., 1990, 1992).

Les apports combinés des tributaires méridionaux et septentrionaux, aux régimes différents, associés à l'effet régulateur des zones d'inondation (les varzêas), génèrent, à l'aval de Manaus, un hydrogramme de l'Amazonie à crue unique et étalée d'Avril à Juillet (Pardé, 1936, 1954; Sioli, 1984; Castro Soares, 1991).

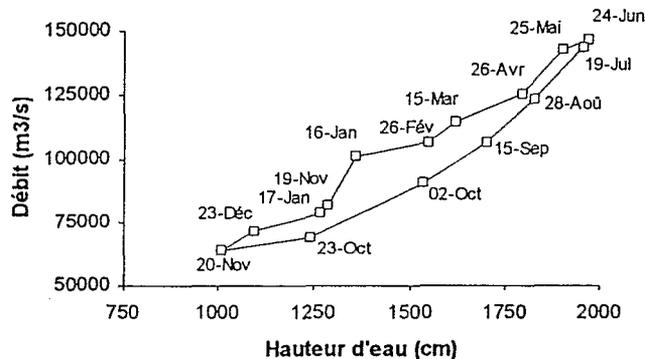
3. METHODES.

La critique et l'homogénéisation des séries hydro-climatiques a été réalisée selon la méthode du vecteur régional (Hiez, 1977). Cette méthode est basée sur la recherche du maximum de vraisemblance (information la plus probable) d'une série de données, groupées par régions considérées comme homogènes. Le traitement a été effectué au pas de temps mensuel, pour la pluie et la lame d'eau écoulée. Les résultats obtenus permettent d'établir, pour chaque sous bassin, un bilan hydrique de bonne qualité, portant sur une période d'une vingtaine d'années.

Les jaugeages effectués par la CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) et Hidrologia SA pour le compte du DNAEE ont été critiqués. Pour certaines stations clés (Manacapuru et Obidos), de nouveaux jaugeages ont été réalisés afin de mieux définir les courbes d'étalonnage. Ces jaugeages ont été réalisés par exploration complète du champ des vitesses dans la section, de 2 à 6 points par verticale et une vingtaine de verticales dans la section (Jacon, 1987; Jaccon & Cudo, 1984, 1985, 1987b, 1987c; Jaccon & al., 1986, 1987, 1988). Les étalonnages de toutes les stations hydrométriques ont été revus, notamment ceux des stations présentant une relation hauteur-débit non-univoque. L'utilisation de la méthode du gradient limnimétrique (Guimarães & Jaccon, 1983; Jaccon, 1983, 1986; Jaccon & Cudo, 1987a), a permis d'établir des courbes d'étalonnage acceptables, pour ces stations non-univoques (Fig. 2) :

$$Q = f(H, i) \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} Q &= \text{débit} \\ H &= \text{hauteur d'eau} \\ i &= \delta H / \delta t \text{ (gradient limnimétrique)} \end{aligned}$$

A



B

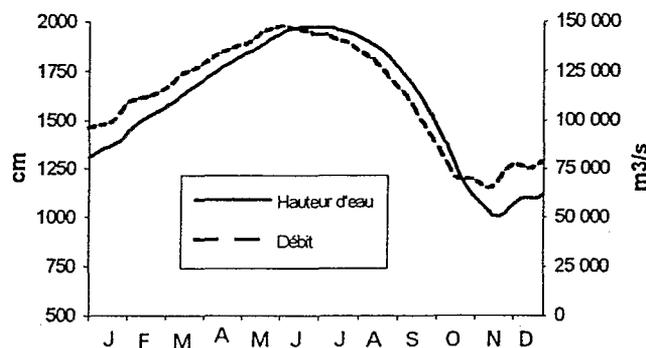


Figure n° 2
Rio Solimões à Manacapuru - 1975. A : Débit vs. Hauteur d'eau,
B : Comparaison du limnigramme et de l'hydrogramme

4. RESULTATS.

4.1. Les variations saisonnières

Les affluents méridionaux de l'Amazonie se caractérisent par un maximum de crue en Mars (Xingu, Tapajos, Madeira), Avril (Jurua) ou Mai (Purus). Ce maximum hydrologique est observé en Février sur les formateurs du Rio Madeira, dans les Andes de Bolivie et du Pérou (Fig.3). Les hydrogrammes dentelés observés dans les Andes et leur piémont se composent entre eux vers l'aval pour donner naissance à la grande crue annuelle de type tropical (Roche & Fernandez, 1988; Bourges & al., 1990, 1993). Dans le bassin du Rio Madeira, le rapport R entre débits moyens mensuels extrêmes [QmmMax/QmmMin] varie de 7.0 au piedmont andin (Rio Béni à Angosto del Bala) à 5.7 (Rio Madeira à Manicoré). Les autres grands tributaires de la rive droite ont des valeurs R comparables (Rio Jurua : 7.6; Rio Purus : 6.0, Rio Tapajos : 4.7), excepté le Rio Xingu qui présente une valeur nettement plus élevée (R=15.7), liée à l'existence d'une période sèche bien marquée dans son bassin.

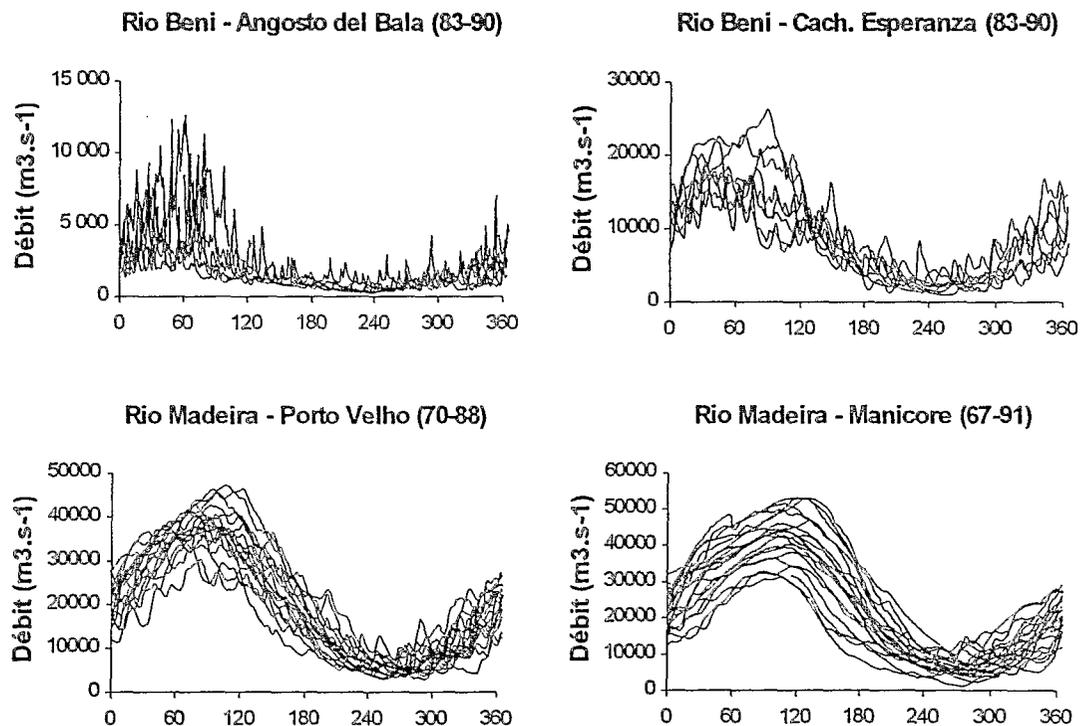


Figure n° 3

Débits journaliers (du 01/01 au 31/12) du Rio Madeira (affluent de rive droite), et de ses tributaires, depuis le piedmont andin jusqu'à l'Amazonie.

Du fait d'une distribution de la pluviométrie plus régulière au cours de l'année, le régime des affluents de rive gauche est nettement plus régulier (Fig. 4), avec des valeurs de R généralement inférieures à 3 (Rio Iça : 1.9, Rio Japura : 2.5, Rio Negro : 2.5). Seuls les cours d'eau issus des reliefs du bouclier guyanais présentent une variabilité comparable à celle des fleuves andins (Rio Branco : 8.0, Rio Jari : 8.1). Les maximums hydrologiques sont observés en Mai (Rio Jari), Juin (Rio Iça) ou Juillet (Rio Japura, Rio Negro, Rio Branco).

Tout au long de la traversée de la plaine brésilienne, le Rio Solimões-Amazonas est caractérisé par un régime très régulier, avec un rapport en débits moyens mensuels extrêmes [R] toujours proche de 2 (São Paulo de Olivença : 2.3, Manacapuru : 2.0, Obidos : 2.0). Les apports successifs des fleuves de rive gauche et de rive droite, à plus forte variabilité saisonnière, se combinent entre eux vers l'aval pour donner la grande crue annuelle de l'Amazonie (Fig. 5).

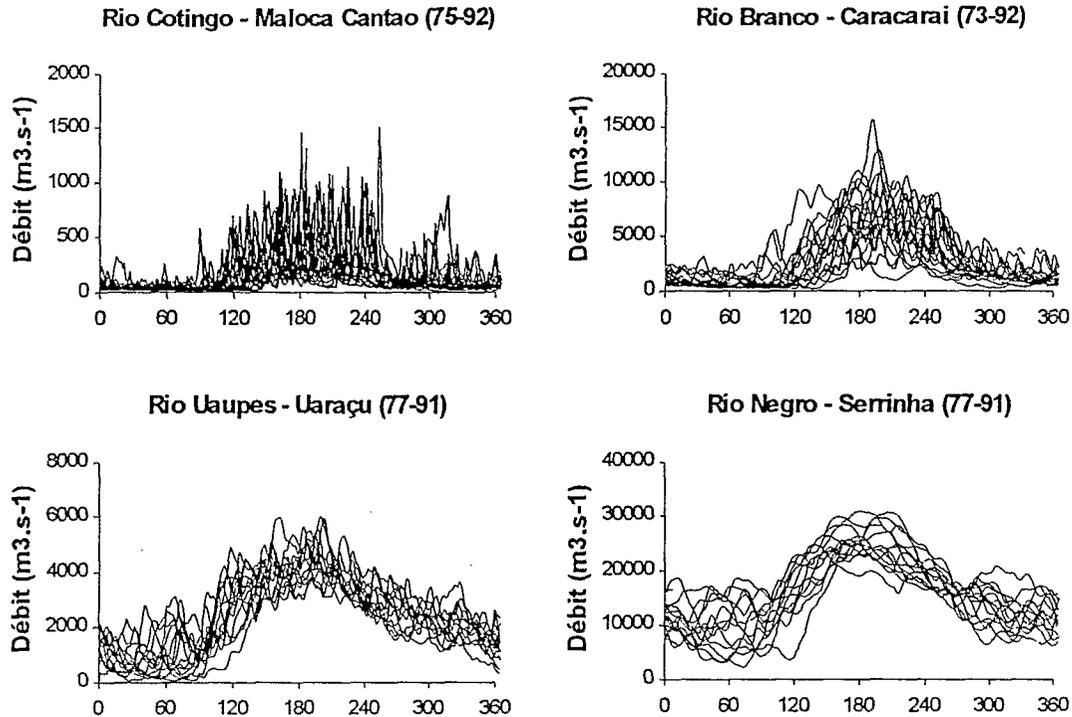


Figure n° 4
Débits journaliers (du 01/01 au 31/12) du Rio Negro (affluent de rive gauche), et de ses tributaires, depuis le plateau guyanais jusqu'à l'Amazone.

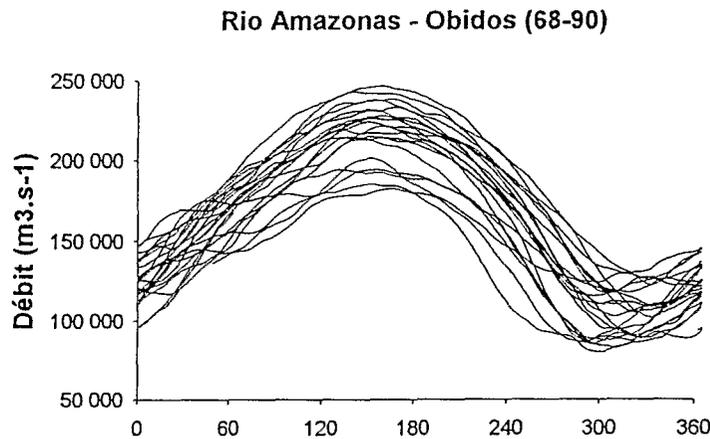


Figure n° 5
Débits journaliers (du 01/01 au 31/12) de l'Amazonie à Obidos.

4.2. le bilan hydrique

Un premier bilan hydrique sommaire a été calculé pour l'ensemble du bassin amazonien (Tableau I), en utilisant les données de 90 stations hydrométriques, correspondant à 11 sous-bassins hydrographiques, dont celui du Rio Tocantins (Molinier, 1992), ainsi que les résultats précis du bilan des bassins des rios Purus, Negro et Madeira (Molinier & al., 1991, 1993;

Guyot & al., 1993). Ces résultats, qui seront affinés par la poursuite du calcul des bilans précis pour chacun des sous-bassins, permettent déjà d'apprécier certaines grandes tendances régionales.

Tableau I
Caractéristiques hydrologiques des principaux tributaires du bassin amazonien.

Rio	Superficie (km ²)	Pluviométrie (mm/an)	Débit (m ³ /s)	qs (l/s.km ²)	Écoulement (mm/an)	Déficit (mm/an)
Rio Solimões à São Paulo de Oliv.	990 780	2 900	46 500	46.9	1 481	1 419
Rio Purus (confluence)	370 000	2 336	11 000	29.7	938	1 398
Rio Solimões à Manacapuru	2 147 740	2 880	103 000	48.0	1 513	1 367
Rio Negro à Manaus	696 810	2 566	28 400	40.8	1 286	1 280
Rio Amazonas à Jatuarana	2 854 300	2 780	131 300	46.0	1 452	1 328
Rio Madeira (confluence)	1 420 000	1 940	31 200	22.0	693	1 247
Rio Amazonas à Obidos	4 618 750	2 520	168 700	36.5	1 153	1 367
Rio Tapajos (confluence)	490 000	2 250	13 500	27.6	869	1 381
Rio Xingu (confluence)	504 300	1 930	9 700	19.2	607	1 323
Rio Amazonas (embouchure)	6 112 000	2 460	209 000	34.2	1 079	1 381
Rio Tocantins (embouchure)	757 000	1 660	11 800	15.6	492	1 168

Les sous-bassins des Rio Negro et Solimões reçoivent les plus fortes précipitations (>2500 mm/an), et compte tenu des forts coefficients d'écoulement observés (>50%) les débits spécifiques seront élevés (>40 l/s.km²). Ainsi, le Rio Negro dont la superficie totale ne représente que 11% de l'ensemble du bassin de l'Amazonie, produit 13% du flux hydrique, alors que pour le Rio Madeira, ces valeurs sont respectivement de 23% et 15% (Figure 6). Les affluents méridionaux de l'Amazonie sont soumis à des précipitations plus faibles (de 1900 à 2300 mm/an), leurs coefficients d'écoulement varient de 30 à 40%, pour des débits spécifiques de 20 à 30 l s⁻¹ km².

Pour la période 1973-1990, le débit moyen annuel de l'Amazonie à son embouchure est de 209 000 m³/s.

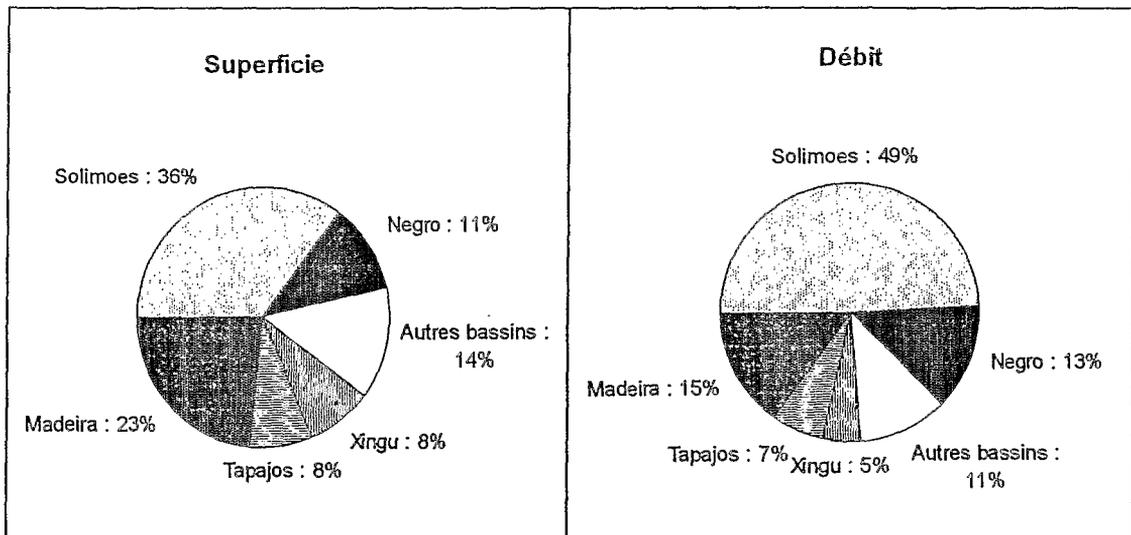


Figure n° 6
Superficie et débit des bassins amazoniens.

4.3. Régionalisation des débits

A partir des valeurs obtenues sur ces 11 bassins, auxquels ont été rajoutés les résultats acquis sur 24 bassins intermédiaires des rios Purus, Madeira et Negro, une relation liant le débit moyen annuel [Q] à la superficie du bassin [A] et à la pluviométrie annuelle [P] a été recherchée. Une analyse de variance effectuée sur cet échantillon de 35 débits moyens annuels a mis en évidence le rôle prépondérant de la superficie du bassin. En fait, dans cette région où la répartition de la

pluviométrie varie relativement peu, aussi bien dans l'espace que dans le temps, il paraît normal que le facteur principal de la variabilité du débit soit la superficie du bassin. Une première régression entre ces deux variables a permis de définir une courbe moyenne d'équation : $Q = A / 29.2$. Les points situés au-dessous de la courbe moyenne (Fig. 7)) correspondent aux totaux pluviométriques moyens annuels inférieurs à 2460 mm et à des totaux supérieurs à 2460 mm pour les points situés au-dessus de la courbe. La valeur de 2460 mm représente la pluviométrie moyenne annuelle du bassin amazonien (Tableau I). Une étude plus fine a montré que la dispersion des points autour de cette courbe était étroitement corrélée à la pluviométrie. Ce qui a permis d'établir une régression entre les écarts observés et la pluviométrie moyenne annuelle, et de cette manière définir une relation :

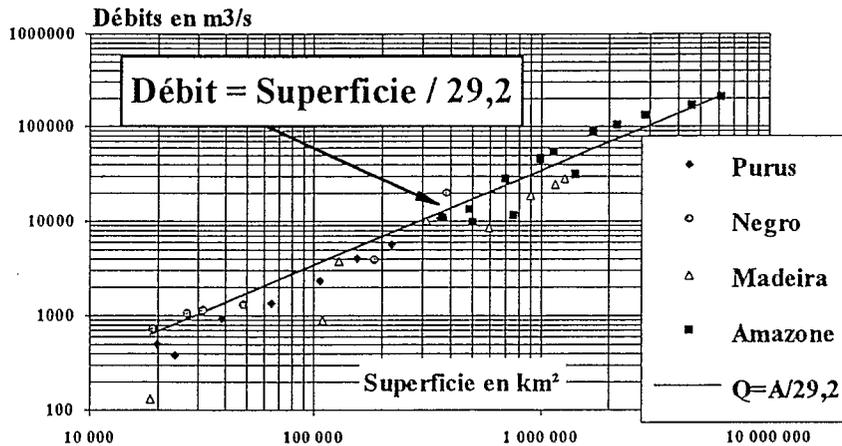


Figure n° 7
Débit vs. Superficie du bassin.

$$Q = (A/236) * e^{P/1178} \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} Q &= \text{Débit moyen annuel (m}^3/\text{s)} \\ A &= \text{Superficie du bassin (km}^2\text{)} \\ P &= \text{Pluviométrie moyenne (mm/an)} \end{aligned}$$

Deux points correspondant au bassin du Rio Guaporé, s'écartent très sensiblement de la moyenne régionale (Fig. 8). Le bassin amont de cette rivière, situé dans le Pantanal brésilien et les Llanos de Bolivie, est occupé par de vastes régions inondables, sans écoulement vers l'aval. Du fait de cet endoréisme, la superficie concernée par le ruissellement doit être inférieure à la superficie totale du bassin.

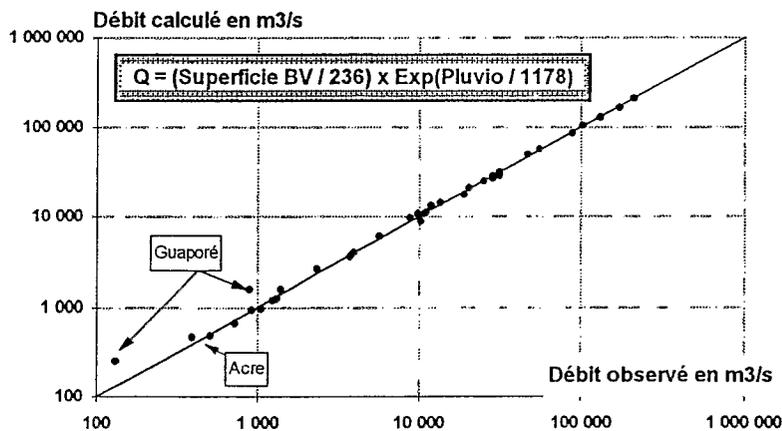


Figure n° 8
Débits calculés vs. Débits observés.

Malgré cela, cette relation peut être considérée comme satisfaisante pour les grands bassins de la région amazonienne dont la superficie est supérieure à 10 000 km².

5. CONCLUSION.

Les résultats obtenus ont permis de connaître avec précision les apports des différents tributaires de l'Amazonie (Tableau I), de mieux comprendre la distribution régionale de ces apports, et de déterminer le débit moyen annuel de l'Amazonie à son embouchure, qui est de 209 000 m³/s pour la période 1973-1990.

La poursuite du calcul des bilans hydriques précis par sous-bassins va permettre au programme HIBAM d'acquérir des informations de qualité sur l'ensemble du bassin amazonien, le plus grand bassin hydrographique du monde. Ces résultats permettront d'affiner l'estimation des apports de l'Amazonie et ses tributaires, ainsi que leur variabilité spatiale et temporelle.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- Bourges J., Guyot J.L., Carrasco M., Barragan M.C., Cortes J. 1990. Evolution spatio-temporelle des débits et des matières particulaires sur un bassin des Andes boliviennes : le Rio Béni, 352-356. *In Hydrology in Mountainous Areas*, Lausanne, IAHS Publ. 193.
- Bourges J., Hoorelbecke R., Cortez J., Carrasco L.M. 1993. Los regimenes hidrológicos de la cuenca amazónica de Bolivia, 125-134. *In Seminario sobre el PHICAB*, La Paz, Nov. 1992.
- Callède J. 1982. Utilisation de la télétransmission par satellite pour le réseau hydrométrique brésilien. Rapport final. Publ. ORSTOM, Bondy, 66 p.
- Callède J., Claudino L.J. 1987. Coopération Franco-Brésilienne en Amazonie : transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazonie et de ses affluents. *In Télémessure et transmission des données hydrologiques*, OMM, Toulouse, Mars 1987.
- Callède J., Claudino L.J., Fonseca V. 1986. Transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazonie et de ses affluents. *Hydrologie Continentale*, 1(2) : 95-110.
- Castro Soares L. (de). 1991. Hidrografia, 72-121. *In Geografia do Brasil*, Volume 3, Região Norte. Publ. IBGE, Rio de Janeiro.
- Claudino L.J. 1983. Aquisição de dados em tempo real, 275-298. *In V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Blumenau, Nov. 1983.
- Costa Barros M., Praciano Garcia L.M., Hiez G., Rancan L., de Oliveira E. 1985. Bacia do Rio Amazonas. *Boletim Pluviométrico*, P-1.01, DNAEE Brasília, 116 p.
- Davis L.C. 1964. The Amazon's rate of flow. *Natural History*, 73 : 14-19.
- Guimarães V.S., Jacon G. 1983. Calibragem em estações fluviométricas da bacia amazônica, aplicação do método do gradiente linimétrico, 473-479. *In V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Blumenau, Nov. 1983.
- Guimarães V., Cudo K.J., Callède J. 1993. Os avanços da gestão da rede hidrométrica brasileira através da telemetria por satélite, 219-226. *In X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Gramado, Nov. 1993, Vol. 4.
- Guyot J.L., Molinier M., Guimarães V., Cudo K.J., de Oliveira E. 1993. Balanço hídrico da bacia do Rio Negro, 535-544. *In X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Gramado, Nov. 1993, Vol. 2.
- Hiez G. 1977. L'homogénéité des données pluviométriques. *Cahiers ORSTOM série Hydrologie*, 14(2) : 129-172.
- Hiez G., Rancan L. 1983. Aplicação do método do vetor regional no Brasil, 242-266. *In V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Blumenau, Nov. 1983.
- Hiez G., Guimarães V.S., Rancan L., Costa Barros M., Pedrollo O., Pontes P.R. 1986. O Vetor regional e as flutuações climáticas. *Informativo Técnico*, N°7, DNAEE Brasília, 16 p.

- Hiez G., Cochonneau G., Séchet P., Medeiros Fernandes U. 1991. Aplicação do método do vetor regional a análise da pluviometria anual da bacia amazônica, 367-377. *In IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Rio de Janeiro, Nov. 1991, Vol. 1.
- Hiez G., Cochonneau G., Séchet P., Medeiros Fernandes U. 1992. Application de la méthode du vecteur régional à l'analyse de la pluviométrie annuelle du bassin amazonien. *Veille Climatique Satellitaire*, 43 : 39-52.
- Humboldt...
- Jaccon G. 1983. Calibragem dos postos fluviométricos da bacia amazônica. Aplicação do método do gradiente linimétrico. Publ. DNAEE, Brasília, 54 p.
- Jaccon G. 1986. Estudo da curva chave do posto de Manacapuru no Rio Solimoes. Publ. DNAEE, Brasília, 45 p.
- Jaccon G. 1987. Jaugeage de l'Amazonie à Obidos par les méthodes du bateau mobile et des grands fleuves. *Hydrologie continentale*, 2(2) : 117-126.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1984. Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios, Manaus, Junho de 1984. Publ. DNAEE, Brasília, 48 p.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1985. Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios, Manaus, Maio de 1985. Publ. DNAEE, Brasília, 86 p.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1987a. Calibragem de posto fluviométrico : roteiro, cuidados e recomendações, 279-288. *In VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Salvador, Nov. 1987.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1987b. Medições de descarga líquida dos rios Solimões e Amazonas pelo método do barco em movimento, 358-368. *In VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Salvador, Nov. 1987.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1987c. Medição de descarga líquida no Rio Amazonas em Obidos. Publ. DNAEE, Brasília, 45 p.
- Jaccon G., Cudo K.J. 1989. Hidrologia : Curva-chave, Análise e Traçado. Publ. DNAEE-ORSTOM, Brasília, 273 p.
- Jaccon G., Cudo K.J., Ceotto F. 1986. Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios, Manaus, Agosto de 1986. Publ. DNAEE, Brasília, 88 p.
- Jaccon G., Cudo K.J., Ceotto F. 1987. Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios, Manaus, Junho de 1987. Publ. DNAEE, Brasília, 91 p.
- Jaccon G., Cudo K.J., Ceotto F. 1988. Curso sobre técnicas de medição de descarga líquida em grandes rios, Manaus, Agosto de 1988. Publ. DNAEE, Brasília, 90 p.
- Le Cointe P. 1935. Les crues annuelles de l'Amazonie et les récentes modifications de leur régime. *Annales de Géographie*, 44 : 614-619.
- Marques J., Salati E., Marden dos Santos J. 1980. Cálculo de evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. *Acta Amazônica*, 10(2) : 357-361.
- Matsui E., Salati E., Friedman I., Brinkman W.L.F. 1976. Isotopic Hydrology in the Amazonia. 2. Relative discharge of the Negro and Solimões rivers through ¹⁸O concentrations. *Water Resources Research*, 12(4) : 781-785.
- Meade R.H., Rayol J.M., Conceição S.C. (da), Natividade J.R.G. 1991. Backwater effects in the Amazon river basin of Brazil. *Environ. Geol. Sci.*, 18(2) : 105-114.
- Molinier M. 1992. Régionalisation des débits du bassin amazonien. *VIII Journées Hydrologiques, Régionalisation en hydrologie et application au développement*, ORSTOM, Montpellier.
- Molinier M., de Silva Maia A.C., Ferreira dos Santos D. 1991. Balanço hídrico da Bacia Amazônica, Metodologia e primeiros resultados, 158-167. *In IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Rio de Janeiro, Nov. 1991, Vol. 1.

- Molinier M., Cudo K.J., Guimarães V. 1992. Disponibilidade de água na bacia amazônica. *In* II Simpósio Internacional de Estudos Ambientais em Florestas Tropicais Umidas, Forest'92, Rio de Janeiro.
- Molinier M., Guyot J.L., Callède J., de Oliveira E., Guimarães V., Cudo K.J., de Aquino M. 1993. Hidrologia de la cuenca amazônica brasileira : HIBAM. Primeros resultados sobre la cuenca del Río Madeira, 155-164. *In* Seminario sobre el PHICAB, La Paz, Nov. 1992.
- Mortatti J., Manfrinato E.S., Oliveira E., Ferreira J.R. 1987. Estimativa da evapotranspiração potencial para o estado de Rondônia. Energ. Nucl. Agric., Piracicaba, 8(1/2) : 24-47.
- Nimer E. 1991. Clima, 61-71. *In* Geografia do Brasil, Volume 3, Região Norte. Publ. IBGE, Rio de Janeiro.
- Nordin C.F., Meade R.H. 1985. The Amazon and the Orinoco. River : 385-390.
- Oltman R.E. 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon river. US Geological Survey Circular 552, 16 p.
- Oltman R.E., Sternberg H.O'R., Ames F.C., Davis L.C. 1964. Amazon river investigations reconnaissance measurements of July 1963. US Geological Survey Circular 486, 15 p.
- Pardé M. 1936. Les variations saisonnières de l'Amazonie. Annales de Géographie, 45 : 502-511.
- Pardé M. 1954. Sur le régime et spécialement sur les variations saisonnières des cours d'eau brésiliens. La Houille Blanche, 6 : 823-846.
- Richey J.E., Meade R.H., Salati E., Devol A.H., Nordin C.F., Santos U. (dos). 1986. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon river: 1982-1984. Water Resources Research, 22(5) : 756-764.
- Richey J.E., Mertes L.A.K., Dunne T., Victoria R.L., Forsberg B., Tancredi A.C.N.S., Oliveira E. 1989. Sources and routing of the Amazon river flood wave. Global Biogeochemical cycles, 3(3) : 191-204.
- Roche M.A., Fernandez C. 1988. Water resources, salinity and salt yields of the rivers of the Bolivian Amazon. Journal of Hydrology, 101 : 305-331.
- Roche M.A., Aliaga A., Campos J., Peña J., Cortes J., Rocha N. 1990. Hétérogénéité des précipitations sur la cordillère des Andes boliviennes, 381-388. *In* Hydrology in Mountainous Areas, Lausanne, IAHS Publ. 193.
- Roche M.A., Fernandez C., Aliaga A., Peña J., Salas E., Montañó J.L. 1992. Balance hídrico de Bolivia. Publ. PHICAB-UNESCO, La Paz, 16 p.
- Salati E., Marques J., Molion L.C.B. 1978. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. Interciencia, 3(4) : 200-205.
- Salati E., Dall'Olio A., Matsui E., Gat J.R. 1979. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. Water Resources Research, 15(5) : 1250-1258.
- Salati E., Marques J. 1984. Climatology of the Amazon region, 85-126. *In* The Amazon, Sioli H. (ed.), Publ. Junk, Dordrecht.
- Sioli H. 1967. Studies in Amazonian waters, 9-50. *In* Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, Volume 3 (Limnologia), Belem.
- Sioli H. 1984. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types, 127-165. *In* The Amazon, Sioli H. (ed.), Publ. Junk, Dordrecht.
- Sternberg H.O'R. 1975. The Amazon river of Brazil. Geographische Zeitschrift, 40, 74 p.
- Villa Nova N.A., Salati E., Matsui E. 1976. Estimativa de evapotranspiração na bacia amazônica. Acta Amazonica, 6(2) : 215-228.