

COMPANHIA HIDRO-ELETRICA

SOFRELEC

do SAO FRANCISCO

C.H.E.S.F.

Etude des débits mensuels et annuels du rio SAO FRANCISCO à JUAZEIRO

D 8
DUB

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

PARIS - Février 1972

17.425

Companhia Hidro-Eletrica
do SAO FRANCISCO
C.H.E.S.F.

SOFRELEC

Etude des débits mensuels et annuels
du rio SAO FRANCISCO à JUAZEIRO

par

Pierre DUBREUIL
Chef du Département de la Recherche Appliquée
Service Hydrologique de l'ORSTOM

D8
DUB

13 MARS 1972



- ORSTOM -
Paris - Février 1972

44.425

Le débit du rio SAO FRANCISCO dans ses cours moyen et inférieur a déjà fait l'objet de nombreuses études. Nous avons déjà été amené à nous intéresser à ce phénomène à l'occasion de l'aménagement de MOXOTO, juste amont de PAULO AFONSO ; ce qui avait fait l'objet d'un rapport de décembre 1969, intégré dans le rapport général de SOFRELEC sur le dossier CHESF "Projeto MOXOTO" [1], document qui contenait des premières estimations et un programme d'études des données hydrologiques.

Ce travail s'appuyait essentiellement sur les informations disponibles à la station hydrométrique de PETROLANDIA, située peu en amont du site du barrage MOXOTO, valorisées par les informations plus anciennes du poste de JUAZEIRO, localisé bien en amont.

Dans le cadre de l'aménagement du rio SAO FRANCISCO, il est actuellement envisagé la construction d'un grand réservoir de régularisation à SOBRADINHO, situé peu en aval de JUAZEIRO, et pour lequel nous avons déjà été convié en septembre 1969 à fournir une expertise du débit régularisable [2].

La CHESF désire actuellement entreprendre l'étude complète de ce débit régularisable par SOBRADINHO, dont l'incidence sur le dimensionnement des usines hydro-électriques du groupe MOXOTO-PAULO AFONSO est évidente. Comme nous l'avons indiqué dans les deux rapports précités, cette étude ne peut être valablement réalisée qu'en procédant à un fonctionnement simulé sur une très longue période du réservoir de SOBRADINHO. Dans cette optique, la CHESF nous a demandé de préparer tous les éléments hydrologiques nécessaires à cette simulation, c'est-à-dire en d'autres termes :

- a) calculer de manière homogène les débits entrant dans le réservoir de SOBRADINHO
- b) procéder à l'ajustement d'une loi de distribution sur la série des modules observés
- c) définir la forme de la répartition mensuelle de ces modules selon les années
- d) tirer au hasard dans la loi de distribution des modules, et tenant compte de la répartition mensuelle, une très longue chronique fictive de 300 ans de débits entrant dans le réservoir de SOBRADINHO.

Le débit entrant dans la retenue de SOBRADINHO pouvant être assimilé au débit mesuré à la station hydrométrique de JUAZEIRO, les études définies ci-dessus sont effectuées sur l'information disponible à JUAZEIRO. Le présent rapport présente les résultats de ces études.

I. LE CALCUL DES DEBITS A JUAZEIRO

1.1. Les relevés limnimétriques

Le rio SAO FRANCISCO à JUAZEIRO draine un bassin de 519.580 km². Des observations limnimétriques y sont effectuées depuis le 1er septembre 1928 par le DNAE, puis également par la SUVALE (≡) depuis janvier 1958, ce dernier organisme ayant implanté un limnigraphe le 25 octobre 1966.

.../...

(≡) DNAE : Departamento Nacional de Aguas e Energia
SUVALE : Superintendencia do Vale do São Francisco.

On possède des relevés limnimétriques complets depuis le 1er septembre 1928, à l'exclusion des mois d'août 1966 et décembre 1967 (non communiqués, peut-être perdus ou réellement non observés). Ces relevés semblent avoir été faits 2 fois par jour, à 7 h. et 17 h. en général ; ils ne nous ont pas été systématiquement communiqués, et la plupart du temps on ne nous a remis seulement que la valeur moyenne journalière (1928 à 60, 1964, 1967), mais étant donné la régularité de l'écoulement l'erreur est négligeable à l'échelle du débit mensuel.

Les relevés ne nous ont été remis sous forme de photocopies des carnets originaux des observateurs que pour la courte période de 1964 à 67 inclus. Pour les autres années, nous avons reçu :

- soit des tableaux dactylographiés des cotes moyennes et débits moyens journaliers (1928-63)
- soit des tableaux dactylographiés des cotes en 1968 (plusieurs par jour, en nombre variable, vraisemblablement tirées des limnigrammes)
- soit des tableaux de sortie d'ordinateur contenant cotes à 7 h., 17 h., moyennes journalières et débits moyens journaliers (1969-71).

A part pour la dernière série traitée sur ordinateur et qui a dû être contrôlée, on peut craindre quelques erreurs dans les documents dactylographiés. En réalité, la régularité de l'écoulement est telle qu'une grosse erreur ne passe pas inaperçue ; nous en avons pratiquement peu rencontré et elles sont aisées à rectifier ; on peut donc considérer l'ensemble de ces relevés limnimétriques comme étant de bonne qualité à l'échelle journalière et d'excellente qualité à l'échelle mensuelle.

1.2. Les mesures de débits et le tarage

La station de JUAZEIRO a fait l'objet de plusieurs centaines de mesures de débits au moulinet (méthode américaine de 1 à 2 points par verticale), exactement 125 par le DNAE et 250 par la SUVALE.

La liste complète des jaugeages du DNAE et des 94 premiers de la SUVALE, effectués avant 1966, a été publiée par HLDROSERVICE dans son étude de 1968 sur l'aménagement du moyen SAO FRANCISCO [3] .

Nous avons une photocopie des résultats de tous les jaugeages de la SUVALE jusqu'en 1971.

Tous ces jaugeages sont assez bien répartis dans le temps, à part une assez longue interruption de 1943 à 1950, comme le montre le tableau ci-joint.

... / ...

: Nombre de mesures ::			: Nombre de mesures ::		
: Année :	: DNAE :	: SUVALE :	: Année :	: DNAE :	: SUVALE :
: 1928 :	: 2 :	: - :	: 1954 :	: 5 :	: 4 :
: 29 :	: 1 :	: - :	: 55 :	: 12 :	: 22 :
: 32 :	: 1 :	: - :	: 56 :	: 8 :	: 8 :
: 33 :	: 3 :	: - :	: 57 :	: 39 :	: 6 :
: 34 :	: 3 :	: - :	: 58 :	: 1 :	: 6 :
: 35 :	: 4 :	: - :	: 59 :	: - :	: 7 :
: 36 :	: 17 :	: - :	: 60 :	: - :	: 9 :
: 37 :	: 8 :	: - :	: 61 :	: - :	: 6 :
: 38 :	: 5 :	: - :	: 62 :	: - :	: 12 :
: 39 :	: 1 :	: - :	: 63 :	: - :	: 12 :
: 42 :	: 2 :	: - :	: 65 :	: - :	: 8 :
: 51 :	: 3 :	: - :	: 66 :	: - :	: 26 :
: 52 :	: 2 :	: - :	: 67 :	: - :	: 26 :
: 53 :	: 8 :	: - :	: 68 :	: - :	: 26 :
:	:	:	: 69 :	: - :	: 24 :
:	:	:	: 70 :	: - :	: 24 :
:	:	:	: 71 :	: - :	: 22 :

La répartition de ces mesures de débits sur l'amplitude des hauteurs limnimétriques n'est pas trop mauvaise non plus.

L'étiage minimal est bien défini puisque l'on trouve plus de 10 mesures entre Om 73 (550 m³/s) et Om 80, et que la cote de Om 73 fut la plus basse jamais observée depuis 1928 (octobre 1955).

Les hautes eaux sont évidemment moins bien connues, tout au moins pour les débits exceptionnels. Une cote de 4m 50 à l'échelle est observée en moyenne au moins dans 30 % des mois de janvier à mars et représente à peu près la médiane des cotes maximales annuelles ; plus de 40 jaugeages ont été effectués à des cotes supérieures à 4m 50 et, malgré leur dispersion, ils doivent permettre une assez bonne définition des hautes eaux ordinaires. Les mesures de débits les plus élevées furent effectuées d'une part en 1957 par le DNAE à 6m 10, et d'autre part en 1966 par la SUVALE à 6m 37 ; mais elles sont encore plus de 2 mètres en dessous de la cote maximale observée de 8m 82 en mars 1949 ; une extrapolation du tarage est donc nécessaire.

Si l'on reporte tous ces jaugeages sur un même graphique, on constate une très faible dispersion au cours des années surtout en moyennes eaux. Pour les cotes extrêmes, plus basses ou plus hautes eaux jaugées, l'écart maximal des résultats de jaugeages est de $\pm 7\%$ autour d'une position médiane sans que l'on puisse observer une variation liée aux années des mesures.

... / ...

On peut en conclure que la relation hauteur-débits à JUAZEIRO est à peu près sûrement stable et univoque. C'est ainsi que HIDROSERVICE a proposé en 1969 [3] une dernière équation unique de tarage :

$$Q = 857 H^{1,227}$$

équation à l'aide de laquelle sont actuellement calculés les débits par la SUVALE, gestionnaire de la station. Reportée sur le graphique contenant tous les points de jaugeages, cette équation occupe une position médiane assez raisonnable pour des cotes comprises entre 4m 50 et 5m 50. En dessous de 4m 50, il n'est pas exclu qu'une certaine instabilité de basses eaux puisse être mise en évidence pour certaines années ; une étude finie le permettrait mais nous l'avons jugé actuellement inutile puisque notre problème est celui du remplissage d'un réservoir pour lequel les variations de débits de basses eaux ont une influence négligeable. Par contre, au-dessus de 5m 50, la courbe de HIDROSERVICE semble nettement sous-estimer les débits. Le graphe 1 montre clairement que cette équation adopte un tracé inférieur à la majorité des mesures de débits surtout au-delà de 5 m, et cela sans raison apparente. Comme il fallait de toute façon extrapoler la courbe de tarage jusqu'à 8m 80, nous avons jugé utile de revoir le tracé de cette courbe pour les hautes eaux.

Nous avons alors tracé, sur le graphe 2, les courbes des vitesses moyennes et des surfaces mouillées en fonction des hauteurs, pour tous les jaugeages de hautes eaux. Pour ces mêmes jaugeages, ont été calculés les paramètres de l'équation d'écoulement de Manning-Strickler :

$$Q = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot S.$$

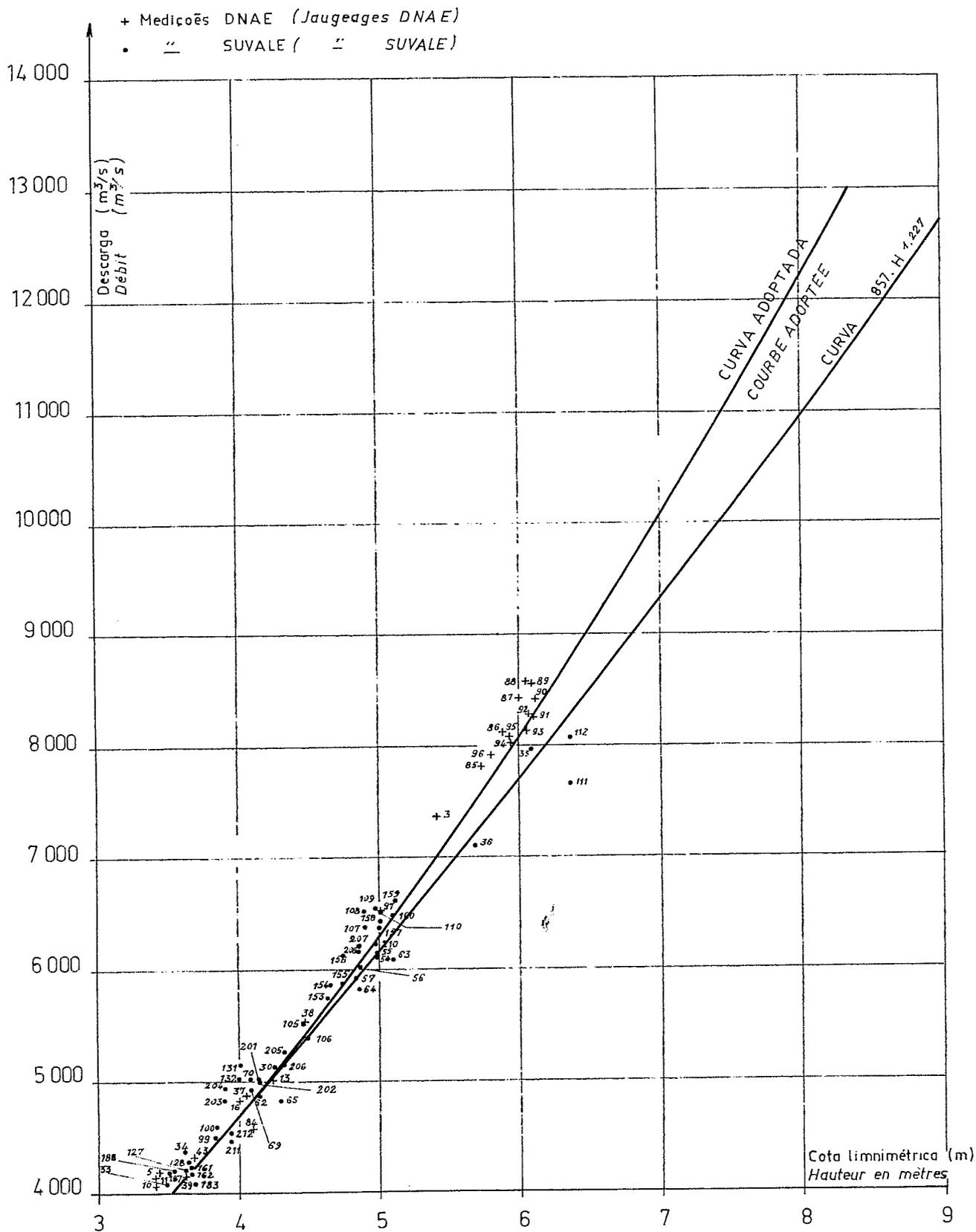
Dans cette équation, le débit Q, la surface mouillée S et le rayon hydraulique R sont connus ; les valeurs du produit $KI^{1/2}$, du coefficient de rugosité K par la racine carrée de la pente I, doivent être homogènes et varier régulièrement avec la hauteur à l'échelle pour une même station de jaugeages. Dans ce calcul, comme sur les graphes 1 et 2, il se confirme que les mesures 35-36-111 et 112 de la SUVALE sont hétérogènes par rapport aux autres (vitesses, produits $KI^{1/2}$ et débits trop faibles), ce qui justifie l'hypothèse que le tracé de la courbe de tarage ne doit pas tenir compte de ces points et passer au-dessus d'eaux.

Dans l'extrapolation des valeurs de $KI^{1/2}$, de la vitesse moyenne et de la surface mouillée en fonction de la hauteur limnimétrique, nous avons été gêné parce-que nous n'avions pas le profil en travers - donc la surface - pour la cote maximale observée ; nous avons dû admettre une croissance régulière de la surface mouillée, ce qui reste à vérifier. A cette réserve près, notre extrapolation menée jusqu'à la cote de 9 m. peut être considérée comme satisfaisante et homogène ; elle figure sur les graphes 1 et 2. Il faut noter que ceci revient à augmenter les débits des très hautes eaux, par rapport à l'équation d'HIDROSERVICE ; l'augmentation est croissante de 4m 50 jusqu'à 9m. où elle atteint (14.400 m³/s contre 12.700 m³/s) 13 % environ.

... / ...

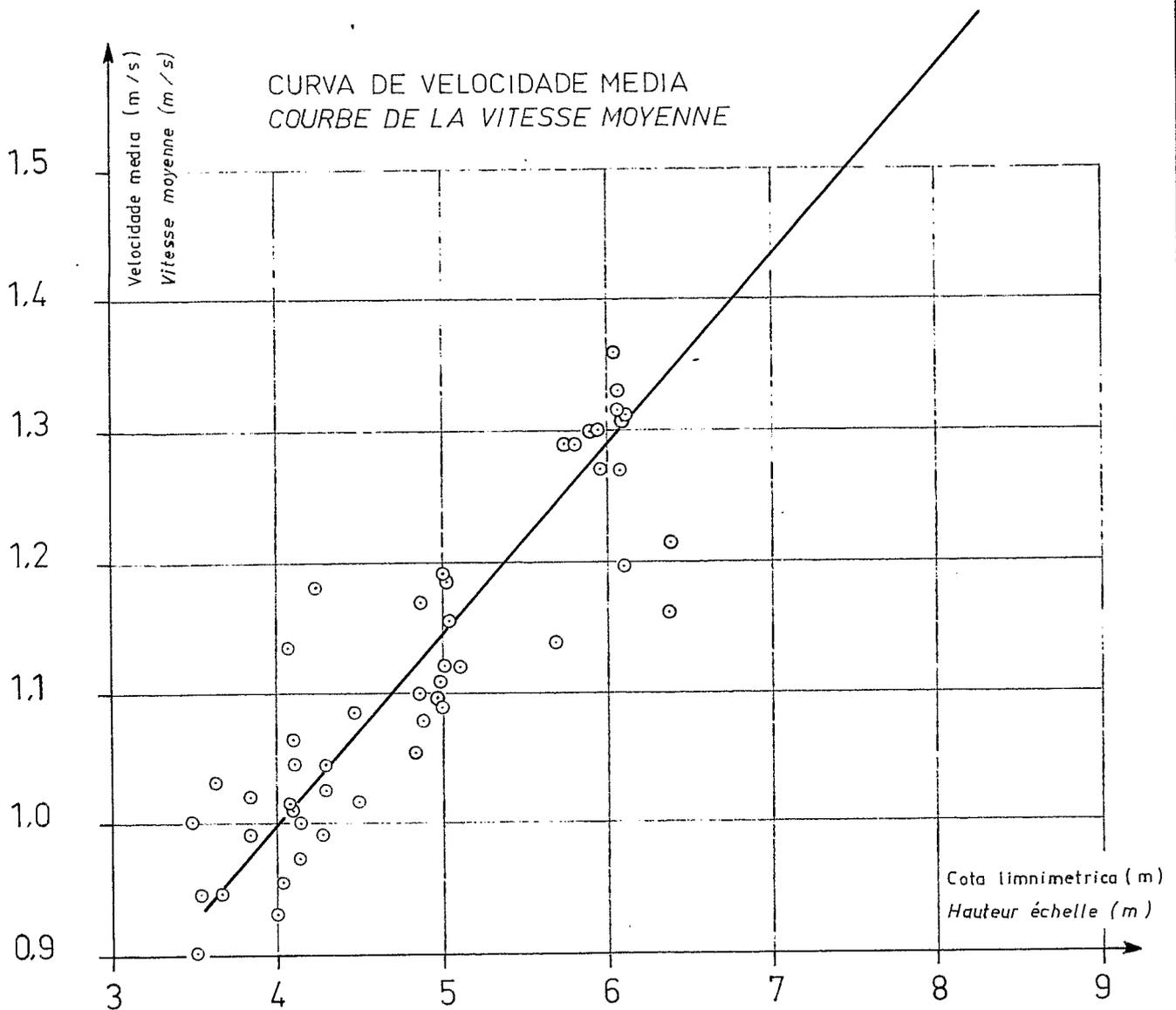
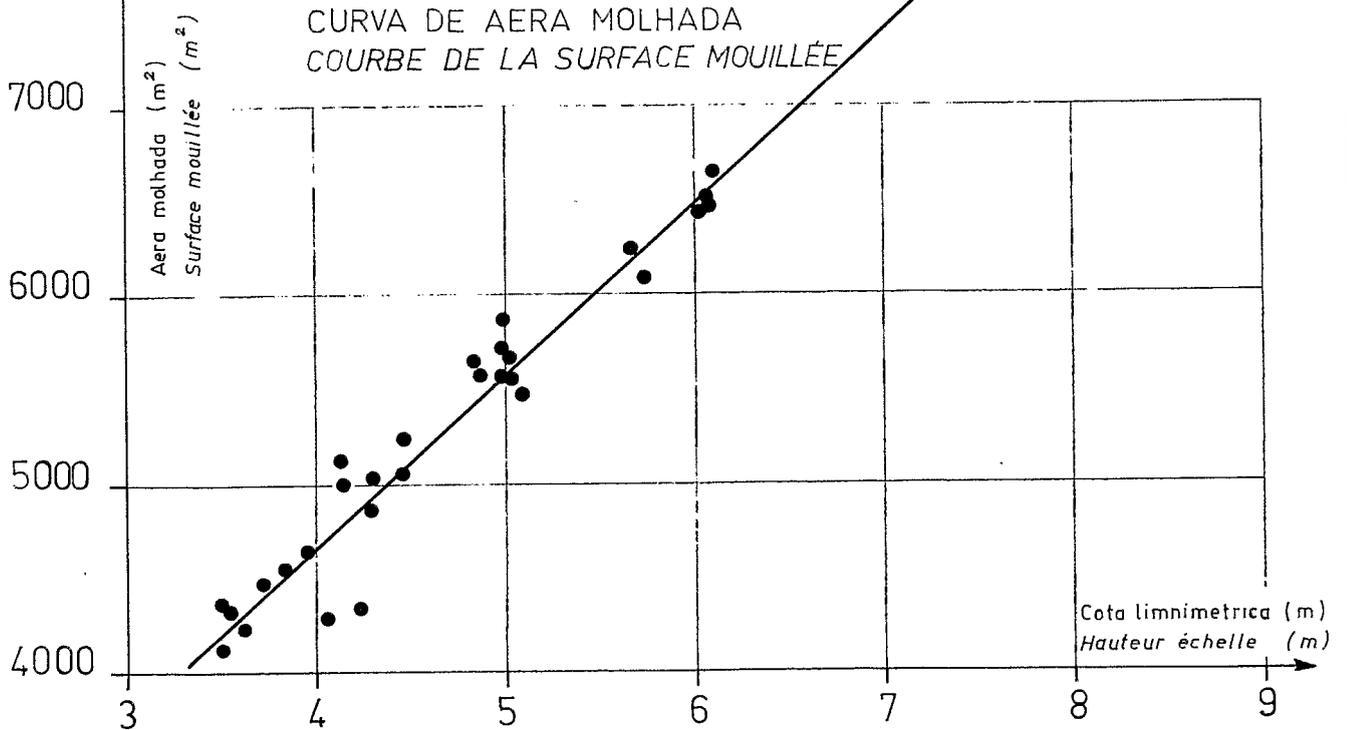
Curva de relação cota-descarga para águas altas
do SAO FRANCISCO em JUAZEIRO

(Tarage de hautes eaux du SAO FRANCISCO à JUAZEIRO)



SAO FRANCISCO - JUAZEIRO

Gr. 2



Nous proposons donc en définitive d'adopter un tracé comparable à celui de l'équation d'HIDROSERVICE, en dessous de 4m 50, et suivant notre extrapolation graphique au-dessus.

1.3. La transformation des hauteurs en débits

La courbe de tarage ainsi rectifiée est introduite dans un programme d'ordinateur (⊗) non pas sous la forme d'une équation unique de type $Q = aH^n$ mais sous celle de tronçons successifs de paraboles répondant à l'équation de base $Q = aH^2 + bH + C$. Neuf tronçons ont été calculés entre les hauteurs à l'échelle 0,50 - 1 - 2 - 3 - 4,20 - 5 - 6 - 7 - 8 et 9 mètres. Le tableau 1 montre les points repères de dix en dix centimètres de ce tarage.

Nous avons utilisé tantôt une, tantôt deux hauteurs observées par jour, selon l'information disponible, pour calculer les débits moyens journaliers entre le 1er septembre 1928 et le 30 juin 1971, le programme d'ordinateur opérant par année civile du 1er janvier au 31 décembre.

Pour les études ultérieures envisagées, nous n'avons gardé que les débits mensuels et annuels des années complètes c'est-à-dire pour les 42 années de 1929 à 1970.

Les débits des deux mois sans relevés durant cette période - août 1966 et décembre 1967 - ont été estimés par interpolation dans le programme, et cette interpolation a été contrôlée sur la corrélation étroite qui existe entre les débits mensuels aux stations de JUAZEIRO et PETROLÂNDIA.

Un programme spécial récapitule tous les débits mensuels, les modules et les débits maximaux de toutes les années et calcule leurs moyennes sur la période totale puis en fournit un tableau de sortie d'imprimante, qui figure en annexe à l'exemplaire original de ce rapport. Ce tableau est le document de base pour toute exploitation ultérieure sur base mensuelle des débits à JUAZEIRO.

Comme l'année hydrologique va de octobre à septembre pour le SAO FRANCISCO; nous avons fait établir le même tableau pour l'année hydrologique (le programme utilisé ayant pour but d'offrir une sortie condensée pour impression, les débits sont arrondis à 3 chiffres significatifs). Ce tableau figure également en annexe à l'exemplaire original : il offre évidemment la même information que le tableau précédent, présentée sous une forme différente et en réalité légèrement décalée puisque les 42 années de 1928-29 à 1969-70 vont du 1er octobre 1928 au 30 septembre 1970.

... / ...

(⊗) Dans cette étude, on a utilisé plusieurs programmes existant de la programmation du Service Hydrologique de l'ORSTOM, sur laquelle quelques références sont données dans la liste des documents consultés.

TABIEAU 1

Barème hauteurs-débits adopté
pour le SAO FRANCISCO à JUAZEIRO

Hauteur (m)	Débit (m ³ /s)	Hauteur (m)	Débit (m ³ /s)	Hauteur (m)	Débit (m ³ /s)
0,50	340	3,50	3 980	6,50	9 090
0,60	442	3,60	4 120	6,60	9 290
0,70	545	3,70	4 260	6,70	9 490
0,80	650	3,80	4 410	6,80	9 690
0,90	757	3,90	4 550	6,90	9 900
1,00	865	4,00	4 700	7,00	10 100
1,10	968	4,10	4 850	7,10	10 300
1,20	1 070	4,20	5 000	7,20	10 500
1,30	1 180	4,30	5 150	7,30	10 700
1,40	1 290	4,40	5 310	7,40	10 900
1,50	1 400	4,50	5 470	7,50	11 100
1,60	1 520	4,60	5 630	7,60	11 400
1,70	1 630	4,70	5 790	7,70	11 600
1,80	1 750	4,80	5 960	7,80	11 800
1,90	1 880	4,90	6 120	7,90	12 000
2,00	2 000	5,00	6 290	8,00	12 200
2,10	2 120	5,10	6 460	8,10	12 400
2,20	2 250	5,20	6 630	8,20	12 600
2,30	2 370	5,30	6 800	8,30	12 900
2,40	2 500	5,40	6 980	8,40	13 100
2,50	2 630	5,50	7 160	8,50	13 300
2,60	2 760	5,60	7 340	8,60	13 500
2,70	2 890	5,70	7 530	8,70	13 700
2,80	3 030	5,80	7 720	8,80	14 000
2,90	3 160	5,90	7 910	8,90	14 200
3,00	3 300	6,00	8 100	9,00	14 400
3,10	3 430	6,10	8 300		
3,20	3 570	6,20	8 490		
3,30	3 700	6,30	8 690		
3,40	3 840	6,40	8 890		

N.B. Débits arrondis à 3 chiffres significatifs

1.4. L'homogénéité de la série de débits calculée

Nous avons déjà signalé dans notre rapport de 1969 [1] que la mise en service du barrage réservoir de TRÉS MARIAS sur le haut SAO FRANCISCO influençait le régime aval de ce fleuve. Cette influence est bien visible à partir de 1962-63 sur les débits journaliers de basses eaux et n'est pas négligeable sur les débits mensuels faibles (juillet-novembre).

Les débits à JUAZEIRO, après 1962-63, ne sont donc plus homogènes avec ceux de la période antérieure. Pour les rendre homogènes, il faudrait reconstituer les débits naturels en tenant compte des variations d'emmagasinement du réservoir de TRÉS MARIAS, des lachûres en aval et du temps de parcours jusqu'à JUAZEIRO. Nous ne disposons pas de ces éléments.

Il faut donc considérer l'ensemble des débits calculés à JUAZEIRO comme formé de deux sous-ensembles distincts :

- a) l'un de débits naturels de 1928-29 à 61-62 ou de 1929 à 1962
- b) l'autre de débits influencés de 1962-63 à 69-70 ou de 1963 à 1970

L'effet de l'évaporation sur la retenue, évaluée par ELETROBRAS à $38 \text{ m}^3/\text{s}$ [4] peut être considéré en première approximation comme négligeable vis-à-vis du module ; si l'on admet qu'il en est de même pour la variation d'une année sur l'autre de la réserve accumulée dans TRÉS MARIAS, on peut supposer que l'hétérogénéité signalée sur les débits journaliers et mensuels est très diminuée au niveau des modules.

Nous estimons que l'on peut encore maintenant, sans risque d'erreur importante considérer les séries des 42 modules à JUAZEIRO comme étant homogènes. Cette homogénéité va permettre une analyse statistique sur l'échantillon complet des modules observés.

2. L'ANALYSE DES MODULES ET DES DEBITS MENSUELS

2.1. La loi de distribution des modules :

Nous avons recherché sur la série des 42 modules d'années civiles et sur celle des 42 modules d'années hydrologiques quelle loi de probabilité rendrait le mieux compte de la distribution des échantillons ainsi rassemblés. Les deux séries des 42 modules ont une moyenne de $2789 \text{ m}^3/\text{s}$ et un écart-type de $708,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Comme nous l'avons déjà noté [1], les modules à JUAZEIRO ne paraissent pas suivre une loi normale de GAUSS, ce qui n'est pas étonnant pour un cours d'eau dont l'irrégularité annuelle est assez grande et dont la partie aval du bassin (entre JANUARIA et JUAZEIRO) est sous climat semi-aride.

Le report des 42 valeurs observées sur un papier à échelle gaussique des abscisses montre à l'évidence une concavité vers le haut, signe d'une dissymétrie positive par rapport à la loi normale (graphe n° 3).

Nous avons essayé d'ajuster aux deux échantillons de modules l'une des lois hypergaussiques classiques en hydrologie : log-normale, GUMBEL, GOODRICH FRECHET et PEARSON III ou gamma incomplète. L'ajustement le plus satisfaisant est celui de la loi gamma incomplète, ce qui est conforme à ce que nous connaissons des régimes hydrologiques arides et intertropicaux.

Nous rappelons que la loi gamma incomplète - ou de PEARSON III - a pour fonction de répartition :

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^u u^{\gamma-1} e^{-u} du$$

avec :

$F(x)$ fréquence au non-dépassement

$$u = (x - x_0) / s$$

$\Gamma(\gamma)$ la fonction gamma incomplète égale à $\int_0^\infty u^{\gamma-1} e^{-u} du$

x_0 paramètre de position, borne inférieure de définition de la variable

s paramètre d'échelle, positif, différent de zéro

γ paramètre de forme, positif, différent de zéro

Lorsque u varie de 0 à $+\infty$, ou x de x_0 à $+\infty$, $F(x)$ croît de zéro à un.

Dans l'exemple étudié, x représente le module d'une année.

Les résultats de l'ajustement, c'est-à-dire le calcul des paramètres définissant la fonction de répartition, sont fournis par un programme d'ordinateur :

	Série civile	Série hydrologique
Moyenne	2789 m ³ /s	2788 m ³ /s
Par. de forme γ	2,07763	2,63132
Par. d'échelle s	500,23730	433,89966
Par. de position x_0	1750 m ³ /s	1646 m ³ /s

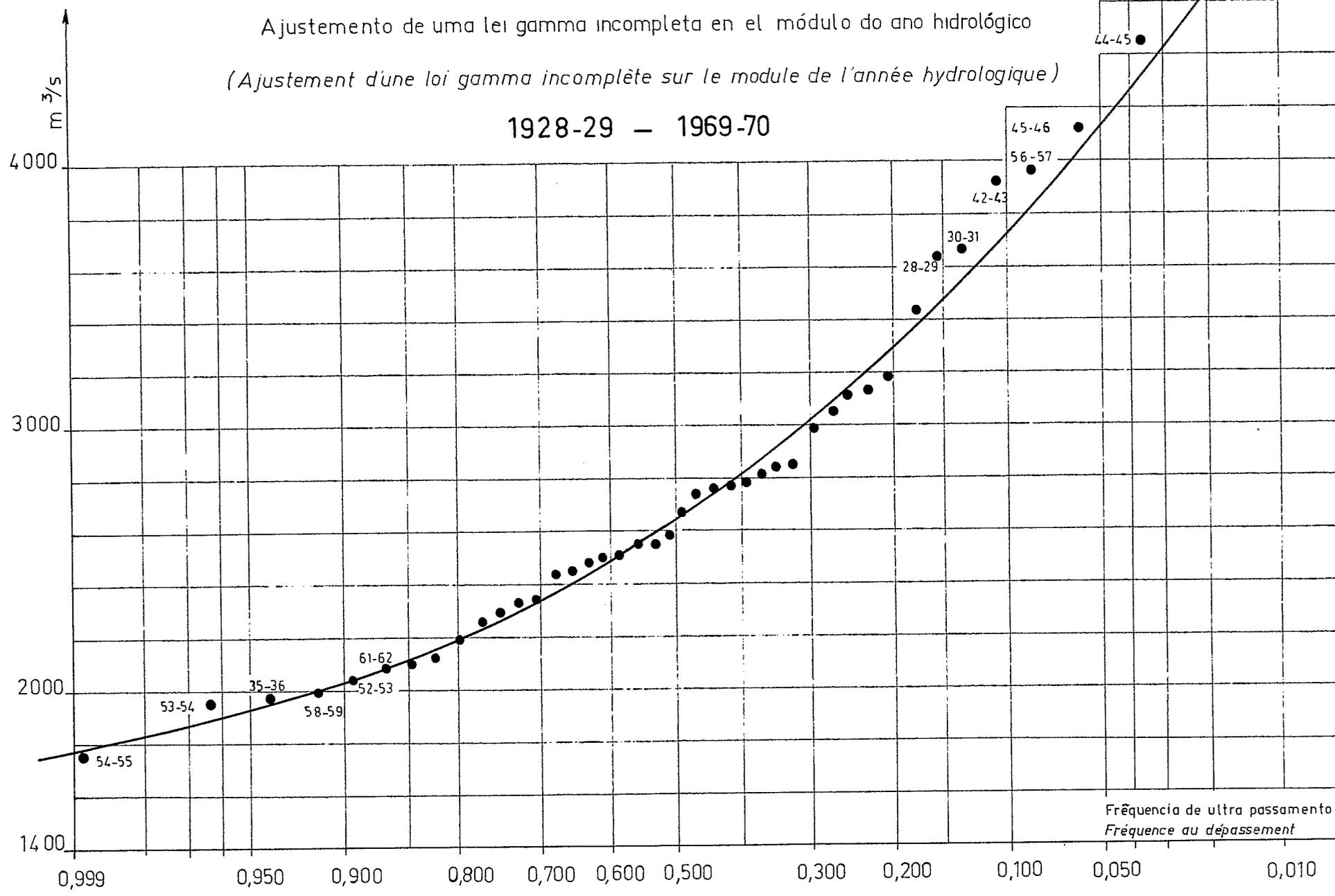
Les lois de distribution ainsi estimées permettent de calculer les valeurs remarquables de la variable pour des fréquences exceptionnelles ; nous donnons un aperçu de ces valeurs ci-après :

... / ...

SAO FRANCISCO-JUAZEIRO

Ajustement de uma lei gamma incompleta en el módulo do ano hidrológico
(Ajustement d'une loi gamma incomplète sur le module de l'année hydrologique)

1928-29 - 1969-70



Fréquence	Réurrence (ans)	Série civile (m ³ /s)	Série hydrologique (m ³ /s)
0.0020	500	6.062	5.857
0.0100	100	5.142	5.019
0.5000	2	2.628	2.647
0.990	100	1.833	1.783
0.998	500	1.787	1.717

On note que les valeurs extrêmes observées sur 42 ans sont pour la série civile de 4.820 (1945) et 1.820 (1955) m³/s et pour la série hydrologique de 4.740 (1948-49) et 1.750 (1954-55) m³/s.

Les adéquations des lois aux échantillons sont satisfaisantes et comparables pour les valeurs centrales des modules ; pour les valeurs extrêmes, la loi de distribution des modules d'années civiles donne des chiffres supérieurs et s'ajuste un peu moins bien que celle des modules d'années hydrologiques. Etant donné l'importance des années d'hydraulicité exceptionnelle dans un problème de réservoir de régularisation, nous conseillons de retenir l'ajustement sur la série hydrologique des modules comme étant le plus adéquat. Le graphe 3 montre cet ajustement.

2.2. La répartition mensuelle des débits

Compte tenu de la technique que nous allons employer pour créer une chronique fictive de 300 ans de débits mensuels entrant dans le réservoir de SOBRADINHO, il est nécessaire de savoir au préalable si la répartition mensuelle des débits est indépendante, ou non, des modules. Cette répartition mensuelle est indépendante si la forme de l'hydrogramme annuel représenté par les douze débits mensuels successifs n'est pas la même lors d'une année déficitaire et lors d'une année abondante.

Pour vérifier cela, nous nous sommes attachés aux mois de hautes eaux dont le poids est le plus élevé dans le bilan annuel de remplissage d'un réservoir. Les débits mensuels q_i ont été remplacés par des nombres sans dimension, les coefficients mensuels de débits exprimés en pourcentage de l'apport annuel ; Q étant le module et N_i le nombre de jours d'un mois, ces coefficients ont l'équation suivante :

$$(q_i \times N_i) / (Q \times 365).$$

On a comparé aux modules les coefficients mensuels du mois le plus abondant, la somme des coefficients mensuels des groupes février-avril, décembre-avril et décembre-mai.

.../...

On peut voir ces comparaisons sur le graphe 4. L'indépendance est totale pour trois d'entre elles ; la légère tendance à la liaison pour le groupe février-avril n'est pas significative étant donné la dispersion des points. On peut donc conclure sans risque à l'indépendance entre la répartition mensuelle des débits et la valeur des modules.

En revanche, on doit rappeler l'altération subie par les débits mensuels du fait du réservoir de TRÊS MARIAS, altération qui se traduit par une modification très nette des valeurs des coefficients mensuels de débits surtout en période de basses eaux. On doit donc considérer que les répartitions mensuelles de débits influencés par TRÊS MARIAS ne doivent pas être prises en compte dans la suite de l'étude.

III. LA CONSTITUTION D'UNE CHRONIQUE DE 300 ANS DE DEBITS MENSUELS

La recherche du débit maximal régularisable par la retenue de SOBRADINHO a déjà été évoquée dans les rapports précédents déjà cités [1, 2] . On avait alors montré que cette recherche ne pouvait se réaliser efficacement qu'en simulant le fonctionnement de ce réservoir durant une très longue période, en adoptant diverses hypothèses d'exploitation : valeurs variables de l'emmagasinement maximal, règles de lâchures, production d'énergie de base liée à la hauteur de chute ... etc... En procédant à autant de simulations qu'il y a d'hypothèses différentes, on obtient des résultats d'exploitation caractérisés par les défaillances de fournitures soit du débit régularisable, soit de l'énergie produite pour divers seuils considérés de ces variables, choisis comme hypothèses d'exploitation.

Le choix de la règle d'exploitation conduisant au débit régularisable maximal peut être aisément déduit de la comparaison de ces simulations.

Comme l'analyse comparative va s'exercer sur le taux plus ou moins élevé des défaillances, il importe d'avoir un échantillon assez grand pour que la probabilité de défaillances soit significative.

L'utilisation de l'échantillon observé de 42 ans est insuffisante. On est donc amené à créer une chronique fictive plus longue, disons de 300 ans par exemple. Cette création s'effectue en tirant au hasard, au moyen d'un générateur à congruence de nombres aléatoires, une série de 300 nombres de 7 chiffres, compris entre 0 et 1, et qui sont censés représenter une fréquence. Pour chacun de ces nombres, c'est-à-dire pour chaque valeur de fréquence ainsi tirée au hasard, on détermine le module correspondant sur la fonction de répartition de la loi gamma incomplète, ajustée à l'échantillon observé de 42 modules, qui est représentative de la population des modules à JUAZEIRO.

Le pas de temps recommandé pour la simulation est le pas de temps mensuel. Il faut par conséquent attribuer à chacun des 300 modules de la chronique ainsi constituée une répartition mensuelle. Comme nous avons démontré l'indépendance de cette répartition mensuelle et de la valeur du module, on peut donc affecter à chacun de ces modules l'une quelconque des répartitions mensuelles observées.

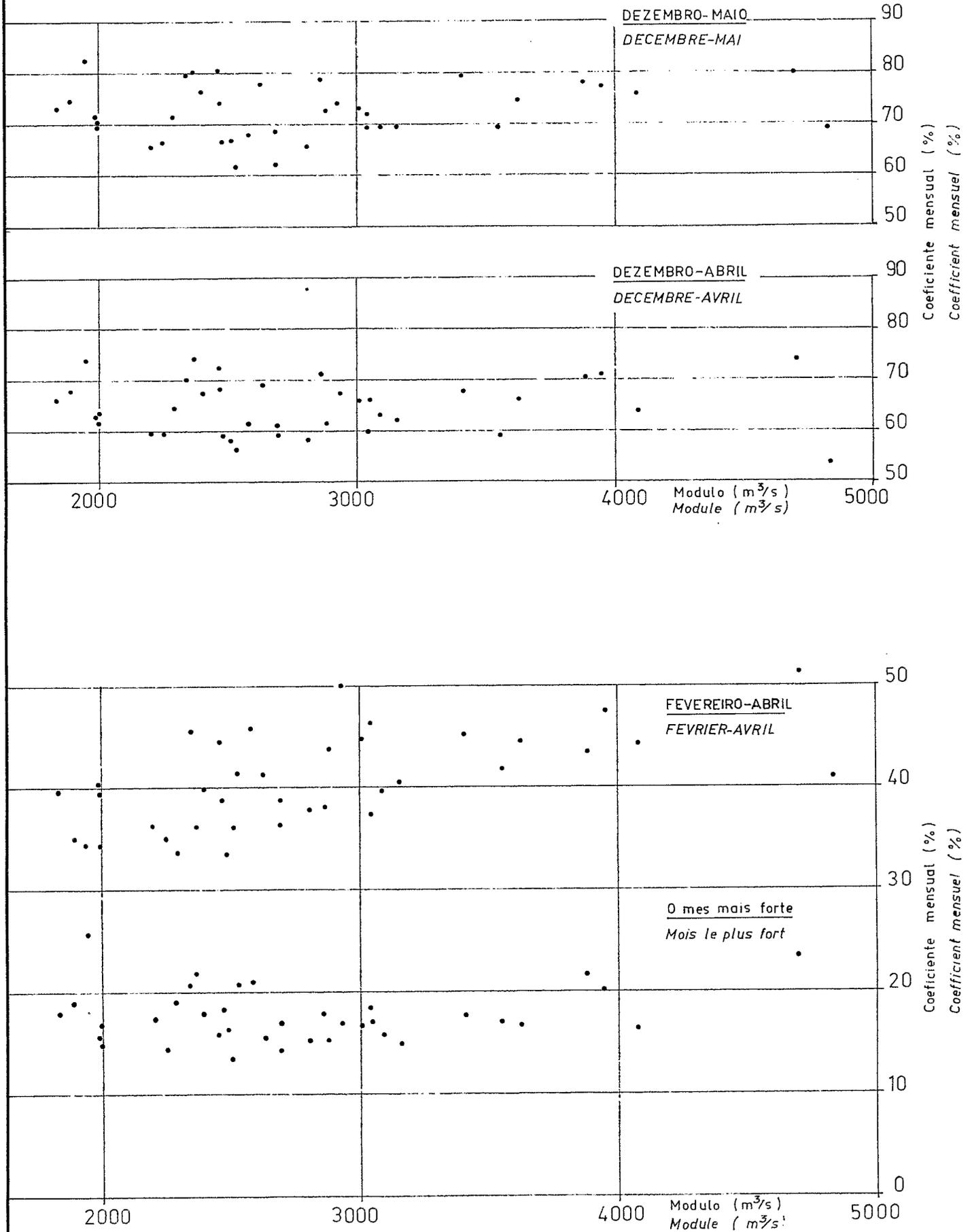
... / ...

SAO FRANCISCO - JUAZEIRO

Gr. 4

Relações entre coeficientes mensais de descarga e módulos

(Coefficients mensuels de débits et modules)



On se contente d'un tirage au sort pour procéder à cette affectation en représentant par un numéro de 1 à 34 les 34 ensembles de douze débits mensuels observés en conditions naturelles et homogènes d'écoulement, c'est-à-dire avant 1962-63 date de mise en service de TRÉS MARIAS.

Ces deux tirages au hasard successifs fournissent donc une chronique de 300 séries de douze débits mensuels. Cette chronique n'a pas d'intérêt en elle-même mais seulement comme susceptible de fournir des résultats d'exploitation sur 300 ans qui pourront être analysés statistiquement.

Un programme de calcul sur ordinateur effectue tout ce travail. A partir des débits mensuels et modules observés durant les 42 années hydrologiques, il commence par calculer les coefficients mensuels de débits sous la forme simple du rapport débit mensuel sur module. Chaque année est affectée d'un numéro de 1 à 42 ; seuls les 34 premiers numéros sont retenus. Ils constituent le réservoir de formes mensuelles dans lequel le programme viendra tirer au hasard pour répartir en douze valeurs mensuelles les modules tirés dans la loi gamma incomplète.

On trouve en annexe d'une part le réservoir de formes mensuelles et d'autre part la chronique de 300 ans ainsi générée. (⌘)

Il est important d'indiquer ici l'avantage de la simulation sur une longue période de l'exploitation d'un grand réservoir à régularisation inter-annuelle. En effet, le remplissage de ce réservoir n'est pas instantané ; en d'autres termes, les conditions initiales (état de remplissage du réservoir l'an zéro) de l'exploitation simulée influencent certainement les résultats de cette exploitation les premières années. Ce n'est qu'ensuite que l'on peut considérer que le processus se stabilise et devient indépendant des conditions initiales. On conseille donc de choisir un réservoir vide l'an zéro, et d'éliminer les résultats de la simulation des quinze premières années. Seuls les résultats de la simulation des 285 années suivantes constituent un échantillon homogène et de grandeur encore suffisante pour une analyse statistique, ce que n'aurait pas permis la seule prise en compte des données observées (échantillon homogène réduit de 42 à 27 ans).

Il est enfin déconseiller de juxtaposer l'échantillon observé de 42 ans et l'échantillon fictif de 300 ans pour allonger encore la chronique, car l'on risque de ne plus avoir un ensemble aléatoire homogène.

IV. LA SIMULATION DE FONCTIONNEMENT DU RESERVOIR DE SOBRADINHO

Le fonctionnement du réservoir de SOBRADINHO peut être simulé pour diverses hypothèses d'exploitation à l'aide de la chronique de 300 ans de débits mensuels ainsi constituée.

Les résultats homogènes des diverses exploitations fictives (sélection des 285 dernières années) doivent être à même de faire apparaître le débit maximal régularisable avec la probabilité de défaillance correspondante (risque moyen de ne pas avoir ce débit sur une longue période ...).

... / ...

(⌘) les valeurs imprimées sous le titre de modules dans le tableau du réservoir de formes mensuelles sont des valeurs approchées calculées en divisant la somme des débits mensuels par douze.

L'utilisation des données choisies pour cette simulation n'est pas parfaite, et cela conduit à limiter la portée des résultats d'une part sur le plan de SOBRADINHO et d'autre part sur celui du dimensionnement des futures usines aval (PAULO AFONSO et autres).

Tout d'abord, il n'a pas été tenu compte de l'influence de TRÊS MARIAS. On a effectivement conseillé d'utiliser une série de débits mensuels à JUAZEIRO représentative des conditions naturelles d'écoulement du SAO FRANCISCO, avant la mise en service de TRÊS MARIAS, en admettant que l'influence de ce réservoir était négligeable, ce qui n'est peut-être pas rigoureusement exact.

Pour être exacte, la simulation devrait tenir compte du fonctionnement de TRÊS MARIAS qui altère en partie les débits arrivant à JUAZEIRO. Ceci nécessiterait une étude des apports à TRÊS MARIAS comparable à celle que nous venons de faire pour JUAZEIRO, suivie d'une simulation de fonctionnement de ce réservoir, selon des règles d'exploitation qui lui sont propres. Un tel travail dépasse le cadre de cette étude, et de toute manière les éléments numériques relatifs aux apports et aux règles d'exploitation de TRÊS MARIAS ne sont pas en notre possession.

On suppose donc ici que l'effet de TRÊS MARIAS est négligeable sur le fonctionnement de SOBRADINHO ; mais ceci n'est pas démontré.

Ensuite, le débit régularisé par SOBRADINHO n'est pas le débit qui arrive au complexe aval de MOXOTÓ et PAULO AFONSO. Il peut y avoir, en période pluvieuse intense (janvier-mars) des apports non négligeables du bassin intermédiaire qui viennent s'ajouter au débit en provenance de l'amont. On a, en effet, déjà montré [1] que le module à MOXOTÓ était significativement différent de celui de JUAZEIRO. La station hydrométrique de PETROLÂNDIA, située juste en amont de MOXOTÓ a déjà un module supérieur d'environ $70 \text{ m}^3/\text{s}$ à celui de JUAZEIRO, soit quelques 2,5 % de supplément. Le module à MOXOTÓ serait approximativement supérieur de 80 à $90 \text{ m}^3/\text{s}$ à celui de JUAZEIRO.

Ces apports du bassin intermédiaire, entre SOBRADINHO et MOXOTÓ, surviennent généralement en période de hautes eaux du SAO FRANCISCO. En l'absence du réservoir de SOBRADINHO, ces apports se superposent à ceux de l'amont et donnent des pointes de crue qui déversent à PAULO AFONSO sans être turbinables. Mais une fois le régime régularisé par le réservoir de SOBRADINHO, les apports du bassin intermédiaire se superposent à des débits modérés et les pointes de crue seront très atténuées ; il n'est pas impossible qu'une fraction, peut-être non négligeable de ces apports, puisse être turbinée à MOXOTÓ et à PAULO AFONSO. Ceci mérite d'être pris en considération pour le calcul du débit turbinable et de l'énergie productible par ces usines.

Enfin, le réservoir de SOBRADINHO va réduire les pointes de crue du SAO FRANCISCO, ce qui aura pour effet de réduire les mêmes pointes de crue en aval ; la répartition statistique des crues va ainsi être modifiée en aval de ce réservoir, modification qui peut influencer le dimensionnement et l'exploitation des nouvelles unités à construire en aval.

... / ...

Tous ces éléments : influence de TRÊS MARIAS, amortissement des crues dans SOBRADINHO, utilisation des apports entre SOBRADINHO et MOXOTÓ ont certainement des effets non négligeables sur l'exploitation globale des ressources en eau du SAO FRANCISCO, effets que la simulation de fonctionnement de SOBRADINHO, exécutée isolément comme il est envisagé de le faire, ne prend pas en compte. Ce problème ne peut être totalement dominé que par un modèle d'exploitation étendu à l'ensemble du bassin du SAO FRANCISCO, modèle complexe bien qu'établi selon les mêmes principes que ceux que nous venons d'exposer pour SOBRADINHO.

Une résolution sommaire de ce problème (influence de TRÊS MARIAS exclue) pourrait être trouvée dans les opérations suivantes :

- simulation journalière de l'exploitation de SOBRADINHO sur quelques fortes crues
- étude de l'atténuation des crues par SOBRADINHO
- analyse statistique des crues atténuées par SOBRADINHO
- prise en compte des apports du bassin entre SOBRADINHO et MOXOTÓ pour évaluer les effets de l'atténuation des crues à MOXOTÓ et PAULO AFONSO.

Liste des documents consultés

- [1] P. DUBREUIL - 1969 - "Données hydrologiques pour l'aménagement de MOXOTÓ. Premières estimations et programme d'études"
CHESF - SOFRELEC, PARIS. multigr. 24 p + 1 fig.
- [2] P. DUBREUIL - 1969 - "Expertise sur documents du débit régularizable par le réservoir de SOBRADINHO sur le rio SAO FRANCISCO"
CHESF - SOFRELEC - multigr. 13 p.
- [3] HIDROSERVICE - 1968 - "Aproveitamento multiplo do submedio SAO FRANCISCO. Estudo preliminar de alternativas para o aproveitamento do MOXOTÓ"
SUVALE - HIDROSERVICE HE 66 A. R9.668. Rio
- [4] ELETROBRAS - 1968 - "Expansão da capacidade geradora do nordeste. Analise a curto e longo prazo".

Programmathèque du Service Hydrologique de l'ORSTOM

- M. ROCHE - 1968 - "Traitement automatique des données hydrométriques et des données pluviométriques au Service Hydrologique de l'ORSTOM"
Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie - Vol. V, n° 3
1968 - pp 1-119
- Y. BRUNET-MORET - 1969 - "Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie"
Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie - Vol. VI, n° 3,
1969. pp. 1-100.

A N N E X E S

1. Tableau des débits moyens mensuels et annuels en années calendaires
2. Tableau des débits moyens mensuels et annuels en années hydrologiques
3. Réservoir de formes mensuelles (débits mensuels divisés par le module)

N.B. 1. Dans l'exemplaire original du rapport, ces documents annexes ont été remis sous forme de tableaux sorties d'imprimante d'ordinateur

N.B. 2. La chronique de 300 ans de débits mensuels fictifs a été seulement remise en annexe unique à l'exemplaire original du rapport

La chronique est constituée de 300 lignes numérotées de 1 à 300 comportant chacune dans l'ordre après ce numéro le module tiré au hasard, les douze débits mensuels et enfin le numéro du réservoir de formes ayant servi à les calculer, lui aussi tiré au hasard.

DEBITS MOYENS MENSUELS , MODULE ET MAXIMUM ANNUEL EN M3/S

ANNEE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPT	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	MODULE	QMAX
29	5280.0	5880.0	7420.0	6330.0	3670.0	2480.0	2120.0	1810.0	1540.0	1210.0	1660.0	4110.0	3614.1	7940.0
30	3700.0	3660.0	3660.0	2830.0	2100.0	1580.0	1340.0	1170.0	1020.0	952.0	2900.0	4920.0	2480.7	5340.0
31	4660.0	4780.0	6610.0	7360.0	4470.0	2430.0	1900.0	1640.0	1470.0	1400.0	1970.0	2240.0	3400.7	7560.0
32	4030.0	4520.0	3230.0	2010.0	1450.0	1320.0	1200.0	1010.0	919.0	998.0	2120.0	3600.0	2194.5	5470.0
33	4980.0	5490.0	3440.0	2720.0	1920.0	1380.0	1270.0	1090.0	928.0	1210.0	1830.0	3350.0	2450.7	6420.0
34	6080.0	4200.0	2330.0	1640.0	1820.0	1190.0	1010.0	911.0	804.0	887.0	917.0	1630.0	1942.0	6940.0
35	4490.0	5400.0	5380.0	4680.0	3740.0	2040.0	1580.0	1260.0	1070.0	1100.0	1200.0	2600.0	2864.5	6390.0
36	2700.0	2690.0	4160.0	2790.0	2140.0	1320.0	1110.0	948.0	872.0	898.0	1620.0	2750.0	1999.8	4880.0
37	4610.0	5560.0	4240.0	2910.0	2270.0	1480.0	1250.0	1050.0	913.0	935.0	2430.0	4670.0	2677.9	6290.0
38	6280.0	4240.0	3840.0	2400.0	1630.0	1440.0	1170.0	1050.0	970.0	927.0	1560.0	2970.0	2366.3	6840.0
39	5060.0	5860.0	4890.0	2190.0	1650.0	1280.0	1130.0	1050.0	950.0	1300.0	1040.0	1730.0	2326.0	7090.0
40	3130.0	4710.0	5460.0	4290.0	1940.0	1440.0	1210.0	1040.0	872.0	939.0	2150.0	3790.0	2573.5	6160.0
41	4970.0	4410.0	4110.0	4760.0	2740.0	1690.0	1440.0	1270.0	1040.0	1150.0	1680.0	2330.0	2621.6	5600.0
42	4600.0	4410.0	5240.0	3370.0	2300.0	1570.0	1320.0	1140.0	1040.0	1340.0	2300.0	5130.0	2808.3	5920.0
43	6150.0	9680.0	8060.0	5070.0	2900.0	2150.0	1800.0	1540.0	1310.0	1420.0	2230.0	5110.0	3918.4	11500.0
44	6300.0	4830.0	4720.0	3730.0	2550.0	1760.0	1490.0	1300.0	1120.0	978.0	1680.0	3840.0	2855.9	7090.0
45	5590.0	6940.0	8070.0	7160.0	8930.0	3940.0	2620.0	2110.0	1730.0	2000.0	3270.0	5560.0	4818.0	10100.0
46	7320.0	10300.0	4570.0	5550.0	3590.0	2480.0	2040.0	1750.0	1520.0	1540.0	2170.0	3760.0	3840.2	12100.0
47	3750.0	5100.0	5670.0	7310.0	4330.0	2380.0	1970.0	1650.0	1630.0	1460.0	3120.0	4240.0	3537.4	7960.0
48	6320.0	4510.0	5380.0	4010.0	2240.0	1880.0	1610.0	1380.0	1230.0	1340.0	1530.0	5130.0	3048.3	6590.0
49	7930.0	9420.0	12800.0	7190.0	3510.0	2620.0	2190.0	1850.0	1570.0	1490.0	2950.0	2970.0	4681.1	14000.0
50	4430.0	4680.0	3470.0	3780.0	2650.0	1770.0	1540.0	1330.0	1090.0	1290.0	2180.0	4110.0	2682.3	5470.0
51	4170.0	4140.0	4420.0	4830.0	2550.0	1880.0	1510.0	1290.0	1120.0	1040.0	955.0	1660.0	2452.9	5660.0
52	3320.0	4690.0	5750.0	6940.0	3270.0	2000.0	1630.0	1330.0	1210.0	1150.0	1810.0	3390.0	3032.3	7810.0
53	3570.0	1820.0	2710.0	3740.0	1960.0	1330.0	1120.0	986.0	867.0	1180.0	1430.0	3200.0	1995.8	5120.0
54	4380.0	2800.0	2790.0	2450.0	1460.0	1220.0	992.0	860.0	707.0	627.0	879.0	3540.0	1890.9	5340.0
55	2340.0	4030.0	2200.0	2630.0	1450.0	1080.0	909.0	789.0	663.0	640.0	2000.0	3320.0	1822.2	5090.0
56	5320.0	2240.0	4560.0	2570.0	1800.0	1660.0	1350.0	1080.0	914.0	846.0	1480.0	3660.0	2297.2	5870.0
57	5910.0	7130.0	6900.0	8040.0	5830.0	2790.0	2060.0	1670.0	1390.0	1540.0	1440.0	4320.0	4067.3	8320.0
58	3630.0	5180.0	3390.0	3120.0	2440.0	1710.0	1430.0	1430.0	1140.0	1540.0	1860.0	1880.0	2377.7	5490.0
59	3600.0	3660.0	3470.0	2730.0	1380.0	1140.0	1030.0	914.0	823.0	853.0	1620.0	2740.0	1987.5	4880.0
60	3310.0	5690.0	6100.0	6050.0	2490.0	1790.0	1400.0	1160.0	987.0	909.0	1090.0	4140.0	2916.1	8100.0
61	5280.0	6240.0	5560.0	3470.0	2430.0	1780.0	1370.0	1190.0	990.0	894.0	1030.0	1600.0	2632.5	6480.0
62	3170.0	4760.0	3640.0	2850.0	2090.0	1660.0	1550.0	1110.0	849.0	1120.0	1820.0	3110.0	2296.2	5330.0
63	6210.0	7050.0	3410.0	1700.0	1520.0	1310.0	1250.0	1220.0	1150.0	1070.0	1240.0	1370.0	2347.8	8590.0
64	3160.0	6360.0	4210.0	2260.0	1490.0	1220.0	1130.0	1110.0	1020.0	1220.0	3200.0	4030.0	2519.9	6860.0
65	4250.0	4400.0	5360.0	5740.0	2770.0	1940.0	1750.0	1570.0	1380.0	1730.0	2900.0	4090.0	3148.2	6460.0
66	3620.0	6030.0	6180.0	4200.0	2580.0	2030.0	1800.0	1720.0	1510.0	1760.0	2280.0	2490.0	2997.5	6940.0
67	4150.0	4140.0	3620.0	3320.0	2490.0	1690.0	1530.0	1430.0	1290.0	1270.0	1810.0	3310.0	2495.9	5020.0
68	5460.0	4080.0	5880.0	4950.0	2410.0	1860.0	1700.0	1590.0	1580.0	1530.0	2000.0	4070.0	3092.5	6980.0
69	2630.0	3520.0	3620.0	2390.0	1820.0	1440.0	1500.0	1460.0	1230.0	1250.0	2140.0	4000.0	2244.5	4910.0
70	4950.0	5850.0	4500.0	2530.0	1980.0	1590.0	1500.0	1450.0	1580.0	1970.0	3140.0	2900.0	2810.2	6260.0

DEBITS INTERANNUELS , MENSUELS ET ANNUELS

4637.8	5120.9	4881.4	4061.6	2636.9	1779.5	1495.7	1302.6	1143.0	1212.0	1919.8	3413.3	2788.7	14000.0
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

STATION : BRESIL SAO FRANCISCO SAO FRANCISCO JUAZEIRO
 NUMERO : 59700110

RECAPITULATION DES DEBITS MOYENS MENSUELS (EN M3/S)

	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	MODULE
28-29	942.	1910	4420	5280	5880	7420	6330	3670	2480	2120	1810	1540	3638
29-30	1210	1660	4110	3700	3660	3660	2830	2100	1580	1340	1170	1020	2332
30-31	952.	2900	4920	4660	4780	6610	7360	4470	2430	1900	1640	1470	3667
31-32	1400	1970	2240	4030	4520	3230	2010	1450	1320	1200	1010	919.	2101
32-33	998.	2120	3600	4980	5490	3440	2720	1920	1380	1270	1090	928.	2478
33-34	1210	1830	3350	6080	4200	2330	1640	1820	1190	1010	911.	804.	2191
34-35	887.	917.	1630	4490	5400	5380	4680	3740	2040	1580	1260	1070	2741
35-36	1100	1200	2600	2700	2690	4160	2790	2140	1320	1110	948.	872.	1970
36-37	898.	1620	2750	4610	5560	4240	2910	2270	1480	1250	1050	913.	2445
37-38	935.	2430	4670	6280	4240	3840	2400	1630	1440	1170	1050	970.	2583
38-39	927.	1560	2970	5060	5860	4890	2190	1650	1280	1130	1050	950.	2442
39-40	1300	1040	1730	3130	4710	5460	4290	1940	1440	1210	1040	872.	2339
40-41	939.	2150	3790	4970	4410	4110	4760	2740	1690	1440	1270	1040	2776
41-42	1150	1680	2330	4600	4410	5240	3370	2300	1570	1320	1140	1040	2503
42-43	1340	2300	5130	6150	9680	8060	5070	2900	2150	1800	1540	1310	3919
43-44	1420	2230	5110	6300	4830	4720	3730	2550	1760	1490	1300	1120	3046
44-45	578.	1680	3840	5590	6940	8070	7160	8930	3940	2620	2110	1730	4455
45-46	2000	3270	5560	7320	10300	4570	5550	3590	2480	2040	1750	1520	4123
46-47	1540	2170	3760	3750	5100	5670	7310	4330	2380	1970	1650	1630	3425
47-48	1460	3120	4240	6320	4510	5380	4010	2240	1880	1610	1380	1230	3113
48-49	1340	1530	5130	7930	9420	12800	7190	3510	2620	2190	1850	1570	4735
49-50	1490	2950	2970	4430	4680	3470	3780	2650	1770	1540	1330	1090	2666
50-51	1290	2180	4110	4170	4140	4420	4830	2550	1880	1510	1290	1120	2783
51-52	1040	955.	1660	3320	4690	5750	6940	3270	2000	1630	1330	1210	2806
52-53	1150	1810	3390	3570	1820	2710	3740	1960	1330	1120	986.	867.	2041
53-54	1180	1430	3200	4380	2800	2790	2450	1460	1220	992.	860.	707.	1954
54-55	627.	879.	3540	2340	4030	2200	2630	1450	1080	909.	789.	663.	1748
55-56	640.	2000	3320	5320	2240	4560	2570	1800	1660	1350	1080	914.	2294
56-57	846.	1480	3660	5910	7130	6900	8040	5830	2790	2060	1670	1390	3956
57-58	1540	1440	4320	3630	5180	3390	3120	2440	1710	1430	1430	1140	2550
58-59	1540	1860	1880	3600	3660	3470	2730	1380	1140	1030	914.	823.	1993
59-60	853.	1620	2740	3310	5690	6100	6050	2490	1790	1400	1160	987.	2836
60-61	909.	1090	4140	5280	6240	5560	3470	2430	1780	1370	1190	990.	2854
61-62	894.	1030	1600	3170	4760	3640	2850	2090	1660	1550	1110	849.	2084
62-63	1120	1820	3110	6210	7050	3410	1700	1520	1310	1250	1220	1150	2548
63-64	1070	1240	1370	3160	6360	4210	2260	1490	1220	1130	1110	1020	2121
64-65	1220	3200	4030	4250	4400	5360	5740	2770	1940	1750	1570	1380	3125
65-66	1730	2900	4090	3620	6030	6180	4200	2580	2030	1800	1720	1510	3182
66-67	1760	2280	2490	4150	4140	3620	3320	2490	1690	1530	1430	1290	2507
67-68	1270	1810	3310	5460	4080	5880	4950	2410	1860	1700	1590	1580	2991
68-69	1530	2000	4070	2630	3520	3620	2390	1820	1440	1500	1460	1230	2263
69-70	1250	2140	4000	4950	5850	4500	2530	1980	1590	1500	1450	1580	2760

DEBITS INTERANNUELS , MENSUELS ET ANNUELS

7188 1891 3449 4638 5121 4881 4062 2637 1780 1496 1303 1143 2787

STATION NUMERO 59700110

DEBITS MOYENS MENSUELS DIVISES PAR MODULE DE L ANNEE

ANNEE	MODULE	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	
28	3650.	0.258	0.523	1.211	1.447	1.611	2.033	1.734	1.005	0.679	0.581	0.496	0.422	1
29	2337.	0.518	0.710	1.759	1.583	1.566	1.566	1.211	0.899	0.676	0.573	0.501	0.437	2
30	3674.	0.259	0.789	1.339	1.268	1.301	1.799	2.003	1.217	0.661	0.517	0.446	0.400	3
31	2108.	0.664	0.934	1.062	1.912	2.144	1.532	0.953	0.688	0.626	0.569	0.479	0.436	4
32	2495.	0.400	0.850	1.443	1.996	2.201	1.379	1.090	0.770	0.553	0.509	0.437	0.372	5
33	2198.	0.551	0.833	1.524	2.766	1.911	1.060	0.746	0.828	0.541	0.460	0.414	0.366	6
34	2756.	0.322	0.333	0.591	1.629	1.959	1.952	1.698	1.357	0.740	0.573	0.457	0.388	7
35	1969.	0.559	0.609	1.320	1.371	1.366	2.113	1.417	1.097	0.670	0.564	0.481	0.443	8
36	2463.	0.365	0.658	1.117	1.872	2.258	1.722	1.182	0.922	0.601	0.508	0.426	0.371	9
37	2588.	0.361	0.939	1.805	2.427	1.638	1.484	0.927	0.630	0.556	0.452	0.406	0.375	10
38	2460.	0.377	0.634	1.207	2.057	2.382	1.988	0.890	0.671	0.520	0.459	0.427	0.386	11
39	2347.	0.554	0.443	0.737	1.334	2.007	2.327	1.828	0.827	0.614	0.516	0.443	0.372	12
40	2776.	0.338	0.775	1.365	1.791	1.589	1.481	1.715	0.987	0.609	0.519	0.458	0.375	13
41	2512.	0.458	0.669	0.927	1.831	1.755	2.086	1.341	0.915	0.625	0.525	0.454	0.414	14
42	3952.	0.339	0.582	1.298	1.556	2.449	2.039	1.283	0.734	0.544	0.455	0.390	0.331	15
43	3047.	0.466	0.732	1.677	2.068	1.585	1.549	1.224	0.837	0.578	0.499	0.427	0.368	16
44	4466.	0.219	0.376	0.860	1.252	1.554	1.807	1.603	2.000	0.882	0.587	0.472	0.387	17
45	4162.	0.480	0.786	1.336	1.759	2.474	1.098	1.333	0.862	0.596	0.490	0.420	0.365	18
46	3438.	0.448	0.631	1.094	1.091	1.483	1.649	2.126	1.259	0.692	0.573	0.480	0.474	19
47	3115.	0.469	1.002	1.361	2.029	1.448	1.727	1.287	0.719	0.604	0.517	0.443	0.395	20
48	4757.	0.282	0.322	1.078	1.667	1.980	2.691	1.512	0.738	0.551	0.460	0.389	0.330	21
49	2679.	0.556	1.101	1.109	1.653	1.747	1.295	1.411	0.989	0.661	0.575	0.496	0.407	22
50	2791.	0.462	0.781	1.473	1.494	1.483	1.584	1.731	0.914	0.674	0.541	0.462	0.401	23
51	2816.	0.369	0.339	0.589	1.179	1.665	2.042	2.464	1.161	0.710	0.579	0.472	0.430	24
52	2038.	0.564	0.888	1.664	1.752	0.893	1.330	1.835	0.962	0.653	0.550	0.484	0.425	25
53	1956.	0.603	0.731	1.636	2.240	1.432	1.427	1.253	0.747	0.624	0.507	0.440	0.361	26
54	1761.	0.356	0.499	2.010	1.328	2.288	1.249	1.493	0.823	0.613	0.516	0.448	0.376	27
55	2288.	0.280	0.874	1.451	2.325	0.979	1.993	1.123	0.787	0.726	0.590	0.472	0.400	28
56	3975.	0.213	0.372	0.921	1.487	1.793	1.736	2.022	1.466	0.702	0.518	0.420	0.350	29
57	2564.	0.601	0.562	1.685	1.416	2.020	1.322	1.217	0.952	0.657	0.558	0.558	0.445	30
58	2002.	0.769	0.929	0.939	1.798	1.828	1.733	1.363	0.689	0.569	0.514	0.456	0.411	31
59	2849.	0.299	0.569	0.962	1.162	1.997	2.141	2.123	0.874	0.628	0.491	0.407	0.346	32
60	2871.	0.317	0.380	1.442	1.839	2.174	1.937	1.209	0.846	0.620	0.477	0.415	0.345	33
61	2100.	0.426	0.490	0.762	1.509	2.266	1.733	1.357	0.995	0.790	0.738	0.529	0.404	34