

PROJET DE CACHUELA ESPERANZA

Etude sommaire des apports

par

J. BOURGES

PHICAB - Novembre 1987

La station de Cachuela Esperanza contrôle un bassin de 282.000 km² situé entre 10° et 18° de latitude Sud et 65° et 73° de longitude Ouest.

La plaine amazonienne constitue 60 % de cette superficie, le reste étant formé des contreforts orientaux andins qui alimentent le Beni et son principal affluent le Madre de Dios, dont une grande partie du bassin est située en territoire péruvien. Cette importante influence montagneuse va conférer à ce bassin un caractère turbulent et irrégulier en comparaison de l'autre affluent du Madeira qu'est le Mamoré, et rendre ainsi son observation et son étude plus délicates.

Installée par ENDE en février 1980 en vue de l'étude de préfactibilité du projet, cette station située à 140 m d'altitude, de coordonnées 10°32'30"S et 65°37'00"W, a été observée de façon très irrégulière ; on ne dénombre que 26 mois complets d'observation au cours des cinq premières années, et encore faut-il les considérer avec réserve car la rareté des contrôles et le laxisme des lecteurs n'incitaient guère à des observations de qualité.

La présence de chutes d'environ 6 mètres et le débit important du fleuve avaient éveillé sur ce site l'intérêt des autorités pour l'approvisionnement en énergie de cette région de la Bolivie et en particulier des populations de Riberalta et de Guayaramerin. Inscrit dans le plan national d'amélioration et de développement 1984-1987, ce projet a été réactivé et fait l'objet au niveau des études depuis 1986 d'une priorité.

Les observations sont effectuées sur deux stations limnimétriques situées à l'amont et à l'aval des chutes. Un limnigraphe installé en 1983 n'a fonctionné que quelques mois avant d'être partiellement emporté par les crues. Deux autres limnigraphes à pression sont en fonctionnement depuis 1986. Nous prendrons en considération pour cette étude les données de la station amont qui bénéficie des mêmes périodes d'observation que la station aval.

Le tarage de cette station basé sur 17 jaugeages du PHICAB et des mesures de ENDE met en évidence, outre un ajustement de basses eaux en 1983, un détarage à partir du 1^{er} avril 1986, probablement consécutif aux fortes crues de mars, bien que la configuration rocheuse du lit se prête peu à priori à des détarages. Un autre tarage couvre la période antérieure au 22 janvier 1981, date à laquelle ont été implantées les échelles actuellement utilisées. Les vitesses maximales relevés au cours de mesures de débit, sur une section située à 3 km en amont des chutes, atteignent 3,8 m/s et dépassent probablement 4 m/s pour les plus hautes eaux observées.

Etude des apports et extension à la période 1976-1987

L'observation directe à la station ne fournit de's résultats crédibles que pour la période postérieure à mai 1985, période trop courte pour être exploitable. Aussi à partir de novembre 1983, nous prendrons en considération les données existantes mais les observations, lorsqu'elles sont aberrantes, seront corrigées en fonction des données des trois stations situées à l'amont sur le Beni, sur le Madre de Dios et sur l'Orthon. Ainsi nous disposons de 6 mois en 1984, de 12 mois en 1985 et 1986 et de 4 mois en 1987 (voir Tableau 1). Les données antérieures couvrant la période 1980-1983, soit vingt mois, seront prises telles quelles, en corrigeant les erreurs de lecture les plus évidentes mais avec une crédibilité moindre que la période postérieure.

Il est évident que cet échantillon ne peut permettre une étude fiable des apports éventuels au site du barrage.

N'ayant aucune station à l'amont immédiat avant 1983 nous ferons appel, pour étendre la période d'étude, à la seule station possible, située à l'aval sur le Madeira : Abuna. Les services brésiliens de la DNAEE disposent sur cette station de 11 années d'observation depuis 1976.

TABLEAU 1

BRUTON

*** FLE DÉTRISSE ***
 DÉBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS EN M³/S

LA FORTIFICATION D'HYDROLOGIE

STATION : 2650301312 CACHUELA ESPERANZA LATIT. -10.38.30
 RIVIERE : BENI LONGIT. -65.37.00
 PAYS : BOLIVIE ALTIT. 1400
 BASSIN : MADEIRA AIRE 302470. KME

ANNEE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	ANNUEL
1980	-	14200	-	-	-	-	-	-	3500.	4620.	4820.	6610.	-
1981	7360.	15800	18500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	22200	18100	8350.	6570.	6350.	3870.	3110.	6140.	9870.	11100	-
1983	11600	13400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	15300	17100	21400	17900	9390.	-	-	-	-	-	-	11000	-
1985	16800	17400	14100	11600	8390.	4660.	3920.	3300.	2990.	4260.	6960.	7700.	8570.
1986	15700	20800	23500	20000	11700	7390.	3080.	4170.	3670.	5010.	4850.	10400	11000
1987	17600	18100	11900	8330.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANNEE JANV FEVR MARS AVRI MAI JUIN JUIL AOUT SEPT OCTO NOVE DECE ANNUEL

MODULE CUMULE
ABUNA m³/s

Modules cumulés ABUNA / GUAYARAMERIN

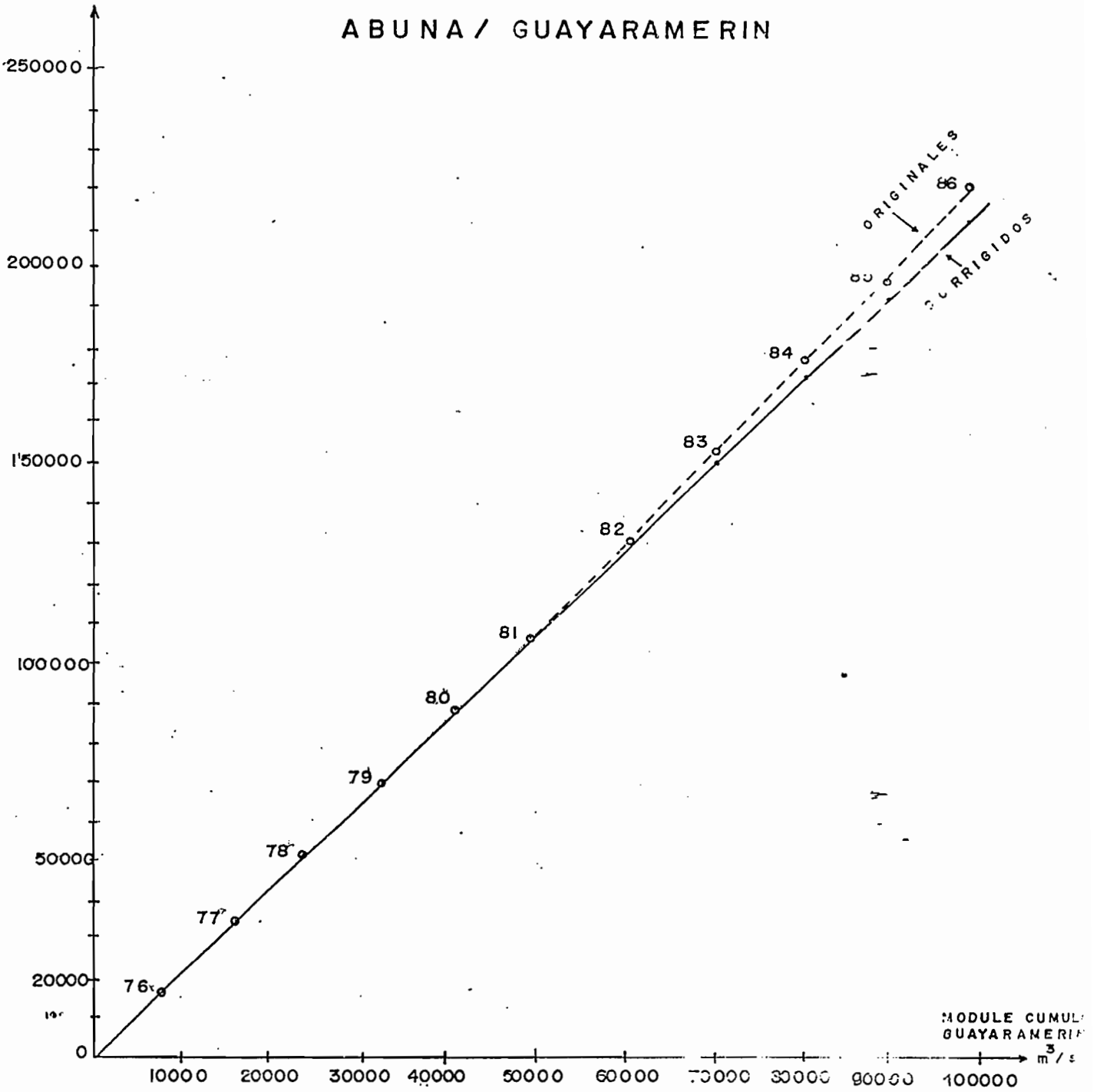


Fig - 1

En prenant pour base les modules annuels, l'homogénéisation des données de Abuna et de Guayaramerin fait apparaître une cassure au niveau de l'année 1980 (Fig. 1). D'autre part on met en évidence pour la période postérieure à 1980 une assez forte différence entre les débits calculés à Abuna, et la somme des débits des divers affluents. Cette différence ne peut provenir que des tarages des stations.

Les débits à la station de Cachuela étant cohérents avec ceux des trois stations amont, et ceux de Guayaramerin étant cohérents avec ceux de Guajara-Mirim nous considérons, en l'état actuel des mesures, les débits à ces stations comme exacts.

Dans la pratique, la modification de la période de validité des tarages, et l'élimination du troisième tarage qui paraît nettement surestimé permettent de corriger cette cassure et d'obtenir des débits du Madeira à Abuna qui, si ils ne paraissent pas toujours cohérents avec les stations amont, sont au moins homogènes avec la station référence de Guayaramerin.

A partir de ces données, nous allons calculer les débits, au pas de temps mensuels, à Cachuela en partant du principe de conservation des débits. Les apports qui transitent à Abuna sont la somme des débits du Mamoré à Guayaramerin, du Beni à Cachuela, du rio Abuna à sa confluence, et d'un bassin intermédiaire dont la superficie totale est de 25.400 km² principalement constituée par le bassin du rio Yata.

Nous ne disposons pas de mesures sur le rio Abuna mais à partir des observations effectuées sur le rio Orthon, affluent du Beni, dont le bassin est adjacent à celui du rio Abuna, et qui présente les mêmes caractéristiques géomorphologiques, pluviométriques et la même superficie, nous pouvons estimer, sans risque, les apports des deux bassins comme égaux.

Les observations effectuées en 1984, 1985 et 1986 sur le rio Orthon mettent en évidence la régularité de ce rio de plaine ; les modules sont de 500, 501 et 567 m³/s et les débits moyens mensuels varient au maximum de 25 % d'une année à l'autre et sont très faibles en regard de ceux du Beni et du Mamore.

Donc, en première approximation, nous choisirons les débits moyens mensuels du rio Abuna et du rio Yata comme proportionnels à la moyenne interannuelle des débits moyens mensuels du rio Orthon (Tableau 2) dans le rapport des superficies des bassins versants.

Ainsi, partant des débits mensuels à Abuna, à Guayaramerin, et sur les petits bassins nous obtenons par différence un débit qui devrait être celui de Cachuela.

Dans la réalité, en procédant de cette manière, nous cumulons les imprécisions d'étalonnage des trois stations de référence.

Tableau 2. Moyennes interannuelle des débits du rio Orthon
1984-1986

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
700	800	900	900	700	500	300	250	240	260	300	400	520

Dans la pratique, sans chercher à quantifier cette imprécision, nous allons établir une corrélation entre les 54 valeurs des débits moyens mensuels déduits de l'observation directe à Cachuela, et les 54 débits moyens mensuels correspondants déduits, selon la méthode déjà exposée, de Abuna et Guayaramerin.

Cette méthode a l'inconvénient de faire fi des temps de propagation entre les trois stations principales qui sont de 1 à 2 jours entre Cachuela et Abuna, et de 2 à 3 jours entre Guayaramerin et Abuna durant la saison des moyennes et hautes eaux. Ils peuvent atteindre 4 à 6 jours en saison d'étiage. Ainsi une crue importante survenant en fin de mois sur une station amont, peut passer au début du mois suivant à Abuna et ainsi fausser la correspondance des débits.

Mais cet inconvénient se trouve minimisé à Guayaramerin du fait de la très faible variabilité du niveau de l'eau qui ne dépasse pas 5 cm/jour en crue et 8 cm/j en décrue, et d'autre part à cause de l'absence, excepté en début de saison de pluies, de crues rapides. Donc en première approximation nous nous baserons sur les débits mensuels sans procéder à un décalage dans le temps des moyennes qui n'apporterait guère plus de précision à la méthode.

Par pointage des 54 couples de point de débits mensuels sur un graphique nous mettons en évidence une corrélation non linéaire qui traduit par rapport à Cachuela une quasi égalité des débits en basses eaux et très hautes eaux, et une surestimation de Abuna supérieure à 10 % en moyennes eaux (Voir Fig. 2).

CACHUELA
m³/s

CORRELATION ENTRE LES DEBITS MENSUELS OBSERVES A CACHUELA ET CEUX DEDUITS DE ABUNA

Fig-2

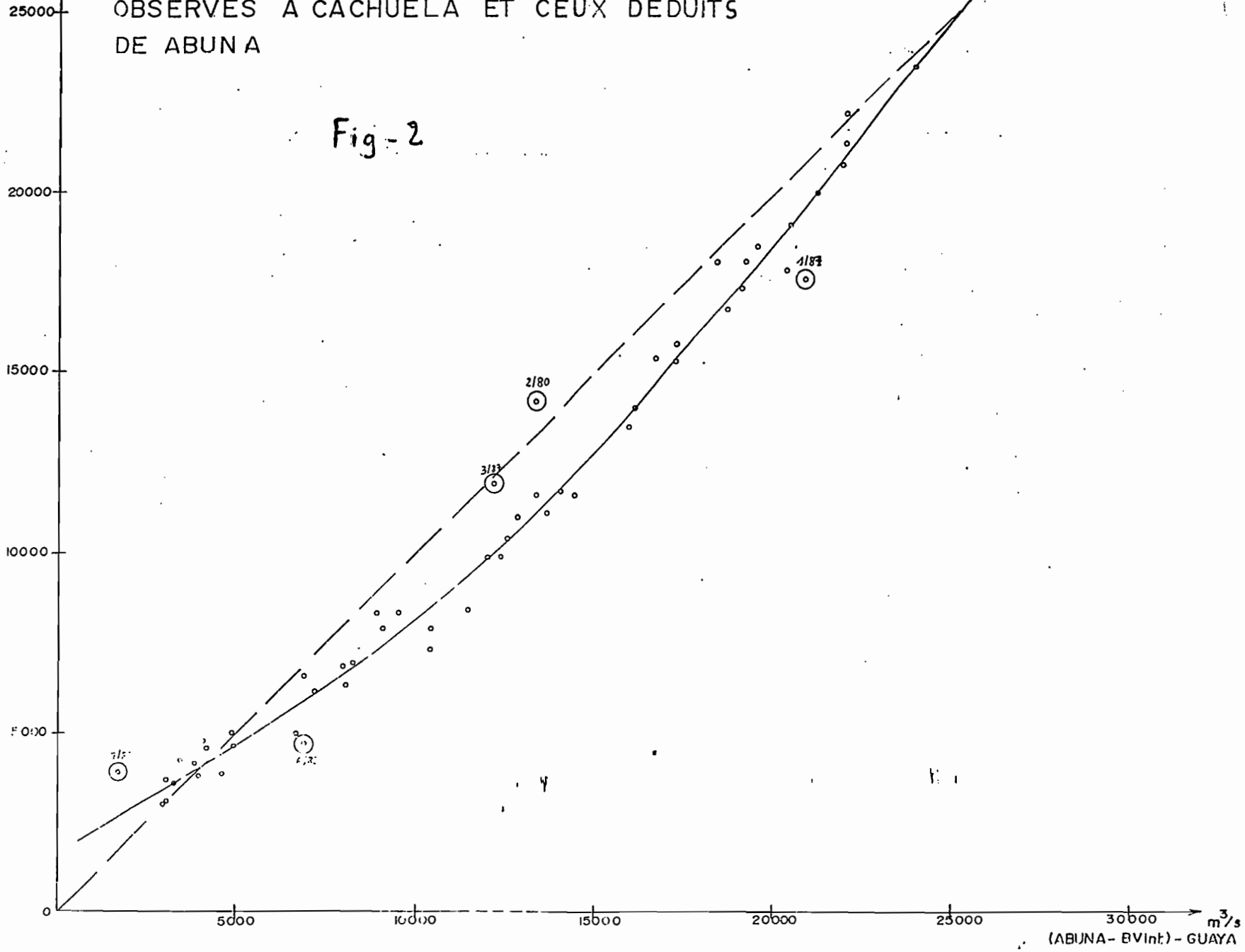


Tableau 3

Débits moyens mensuels à Cachuela déduits de l'aval

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1976	10 900	14 600	13 800	9 160	6 480	5 630	3 650	2 930	2 980	3 300	4 650	6 510	7 050
1977	10 900	11 600	16 900	11 600	7 530	4 190	4 130	3 720	3 440	3 900	5 990	8 540	7 700
1978	11 400	13 800	16 900	9 650	6 620	5 740	4 610	3 190	2 590	2 990	4 450	9 890	7 650
1979	13 000	14 100	12 700	11 300	6 820	4 190	3 520	3 170	3 430	3 440	4 390	5 950	7 170
1980	9 970	11 300*	12 900	10 900	6 070	4 590	3 310	3 580	3 580	4 700	4 150	6 120	6 760
1981	8 690	15 200	17 900	13 600	9 320	8 610	4 710	3 320	2 970	4 220	6 510	9 730	8 730
1982	17 500	20 000	21 000	16 500	8 150	6 890	6 850	4 470	3 440	6 200	9 810	11 300	11 000
1983	11 100	14 500	16 100	10 800	11 200	8 150	6 960	3 770	2 930	3 200	4 410	5 700	8 230
1984	13 500	19 000	21 000	18 900	10 400	7 840	5 970	3 150	2 560	3 540	8 540	10 600	10 420
1985	16 600	17 400	13 800	12 200	9 650	6 140	2 580	4 060	3 360	3 740	6 960	7 620	8 680
1986	14 900	20 900	23 500	20 000	11 800	8 690	5 950	3 990	3 460	4 660	4 230	10 400	11 040

* Points "particuliers". Voir page 5.

En dehors de cinq points assez écartés de la courbe et qui peuvent s'expliquer soit par des raisons de calage d'échelle (février 1980) soit de changements de référence de stations (janvier et mars 1987) soit tout simplement par la qualité des observations (juin et juillet 1985), les points représentatifs de cette corrélation sont très proches de la courbe moyenne. Les écarts sont en moyenne de 8 % en basses eaux, 5 % en moyenne et hautes eaux, et ne dépassent pas dans chacun des cas respectifs 16 % et 11 %. On peut donc estimer cette corrélation comme très bonne.

Pour évaluer les débits mensuels à Cachuela de 1976 à 1985, il suffit donc à partir des débits correspondants de Abuna, et de Guayaramerin et avec l'approximation faite sur les petits bassins intermédiaires sur la base de la moyenne interannuelle, de calculer le débit déduit de cette différence et au moyen de cette corrélation de calculer le débit corrigé à Cachuela (Tableau 3).

Extension des modules jusqu'à 1968

L'évaluation des débits mensuels par la méthode précédente nous permet de connaître les modules annuels sur la période 1976-1986 soit onze années civiles (Tableau 8 en annexe). Etant donné la finalité de cette étude, afin de simplifier, nous adopterons pour cette première estimation, l'année civile de préférence à l'année hydrologique tenant compte du fait que tous les calculs de pluviométrie sont effectués sur cette base.

Afin de mieux cerner les modules nous les estimerons par deux méthodes :

- à partir des modules de Guayaramerin.
- à partir des hauteurs des pluies annuelles moyennes sur le bassin de Cachuela.

La comparaison de ces résultats nous permettra de mieux déterminer les modules.

1. Extension a partir des modules de Guayaramerin.

Les essais de corrélation directe entre Guayaramerin et Cachuela ou Abuna s'avérant assez mauvais, nous aurons recours à une méthode moins précise mais qui permet une approximation raisonnable : nous prolongeons la droite des doubles cumuls obtenue par comparaison des modules de Abuna et de Guayaramerin de façon à estimer les modules d'Abuna à partir de ceux de Guayaramerin de 1971 à 1975.

Par la même méthode que précédemment nous déduirons les modules théoriques de Cachuela et au moyen d'une nouvelle corrélation établie entre les modules théoriques et les modules observés on estime les modules de 1971 à 1975 (Voir Tableau 4).

2. Extension à partir de la pluviométrie.

Des hauteurs annuelles de pluie calculées sur chacun de sous-bassins, Beni (ESPINOZA, 1985) et Madre de Dios (ABASTO, 1987), nous en avons déduits les totaux annuels sur le bassin du Beni à Cachuela de 1968 à 1982 (Tableau 9 en annexe).

La corrélation hydro-pluviométrique directe étant assez mauvaise nous utiliserons l'extrapolation des doubles cumules à partir de la période 1981-1976. L'année 1982 dont la pluviométrie paraît nettement sous-estimée sur le bassin du Beni, n'est pas prise en compte.

Nous en déduisons d'autres estimations du module de Cachuela pour la période 1976-1978 (Voir Tableau 4).

3. Comparaison des résultats.

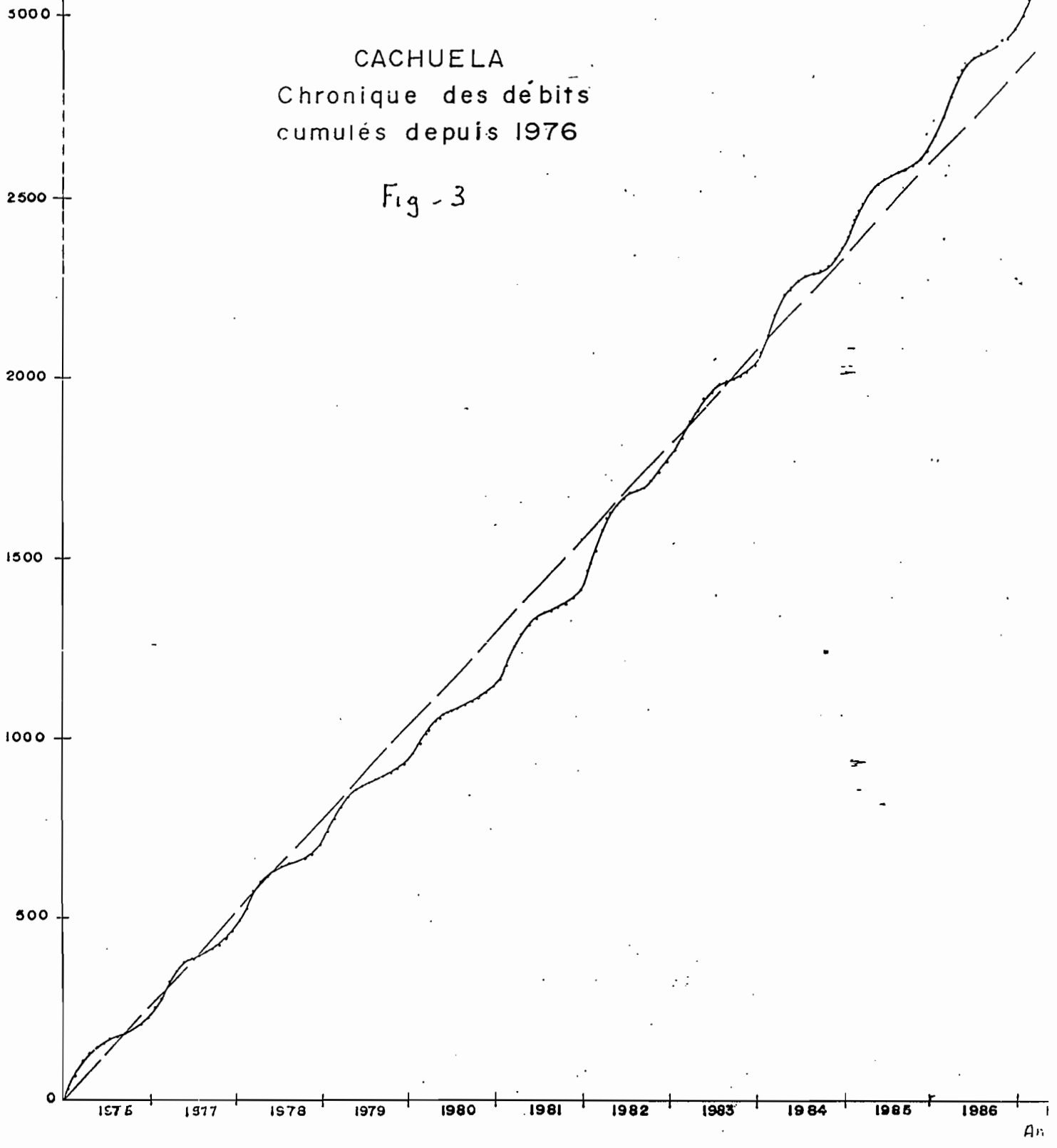
La comparaison des résultats obtenus par ces deux méthodes met en évidence des modules plus forts par la méthode pluviométrique.

Le module que nous adopterons pour cette période est la moyenne de deux estimations, et pour les années 1968 à 1970, il sera calculé à partir de la seule estimation possible minorée pour tenir compte de la différence des deux estimations (Tableau 4).

Apports
cumulés
 10^9 m^3

CACHUELA
Chronique des débits
cumulés depuis 1976

Fig - 3



Etude sommaire du débit garanti

Si la retenue étant supposée remplie, on réalise une simulation de sa gestion sur la période 1976-1987, en portant les apports cumulés depuis le 1^{er} janvier 1976 (Fig. 3) et en faisant fi au stade actuel de l'étude de l'évaporation qu'on peut estimer à environ 1400 mm/an, on s'aperçoit qu'il faudrait une retenue d'une capacité utile au moins égale à 150.10^9 m³ pour que le débit garanti dépasse 8000 m³/s, le déficit maximum étant observé en décembre 1980 et janvier 1981. Mais l'hydraulicité après 1981 étant supérieure aux années antérieures, on devrait déverser plus de 1500 m³/s. Une telle retenue est inconcevable tant pour des raisons économiques que de marché car on ne pourrait jamais consommer dans l'état actuel du peuplement de cette région les 300 à 400 MW produits.

Tableau 4

Modules de Cachuela obtenus pour la période 1968-1975 (m³/s)

Année	Module déduit de ABUNA-GUAYA	Module déduit de hydro-pluvio	Différence	Module adopté
1975	7500	8430	+930	7960
1974	7950	7800	-150	7880
1973	6970	7700	+730	7330
1972	6730	7700	+970	7210
1971	7070	7500	+430	7290
1970	-	7800	-	7510
1969	-	6700	-	6450
1968	-	7300	-	7030

Si on choisit un débit plus modeste, 7450 m³/s, une retenue de 20 à 30 milliards de m³ serait suffisante, mais à partir de 1980, on devrait évacuer un débit moyen de l'ordre de 500 à 3500 m³/s selon les années.

Dans un premier stade il est évident qu'il est suffisant de turbiner au fil de l'eau pour obtenir la production nécessaire de quelques 30 MW qui demanderait un débit inférieur à 1000 m³/s, débit pratiquement toujours garanti.

Etude fréquentielle des modules

Une rapide étude des fréquences de retour des modules donne un aperçu de l'importance des modules de fréquence rare.

Nous avons testé les ajustements sur la loi normale et log-normale pour deux périodes :

- la période 1986-1976 où les résultats sont fiables.
- la période 1986-1968 où une partie des résultats est "laminé" par les méthodes d'estimation utilisées.

Au simple vu des graphiques (Fig. 4, 5 et 6), il apparaît que l'ajustement sur la première période est meilleur mais il est établi sur une période plus courte. Les paramètres statistiques de ces deux périodes traduisent une différence qui n'est pas négligeable et qui ne provient pas uniquement des méthodes mais aussi de l'hydraulicité des années.

Tableau 5

Caractéristiques statistiques des modules de Cachuela

Période	1976-1986 (11 ans)	1968-1986 (19 ans)
Moyenne	8570	8050
Médiane	8240	7650
Ecart-type	1570	1360
Minimum	6760	6450
Maximum	11000	11000
Quartile inf.	7170	7170
Quartile sup.	10420	8570

Ajustement sur loi normale
CACHUELA ESPERANZA

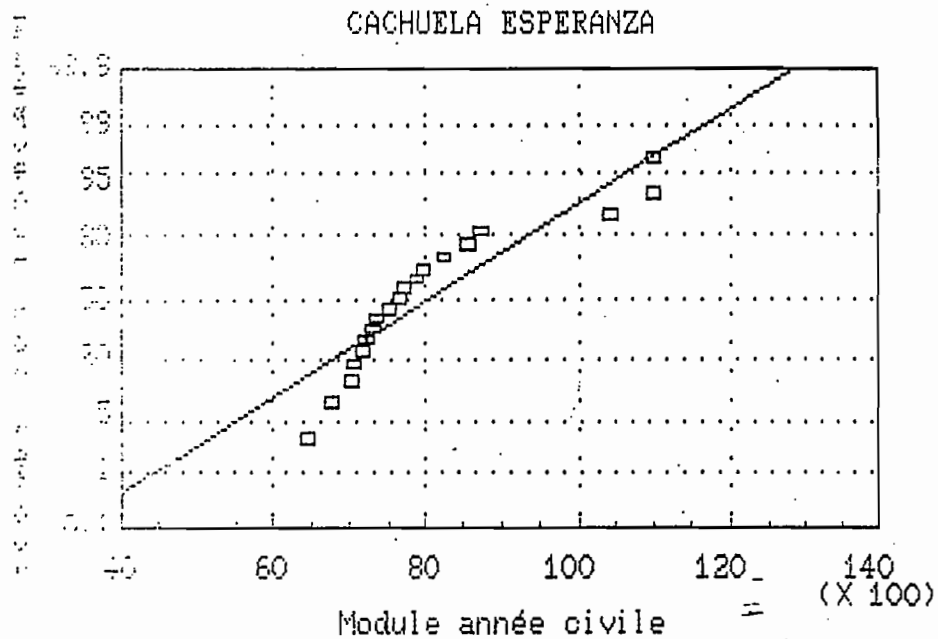


Fig - 4 et 5

Ajustement sur loi normale 1975-1988
CACHUELA ESPERANZA

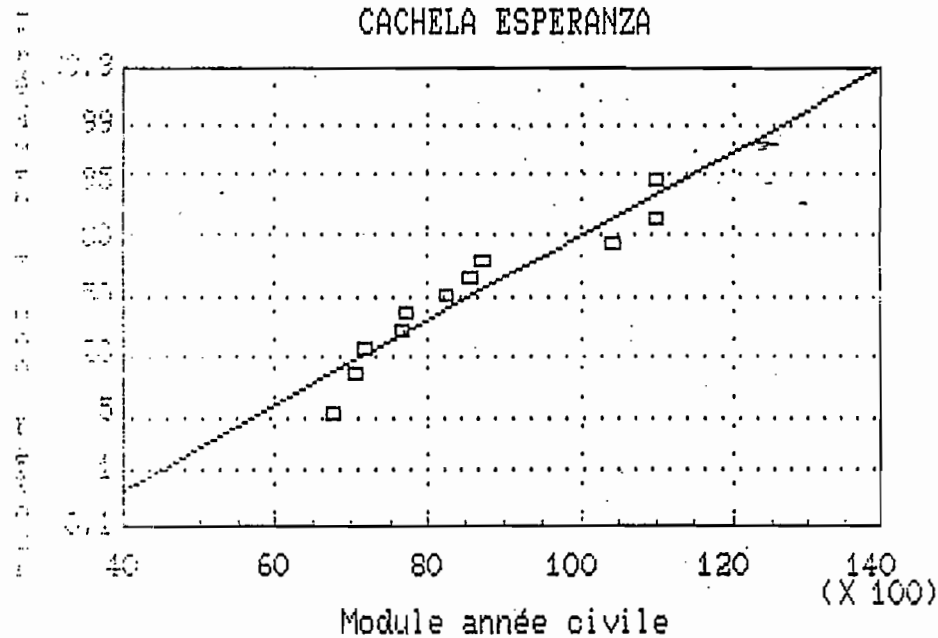
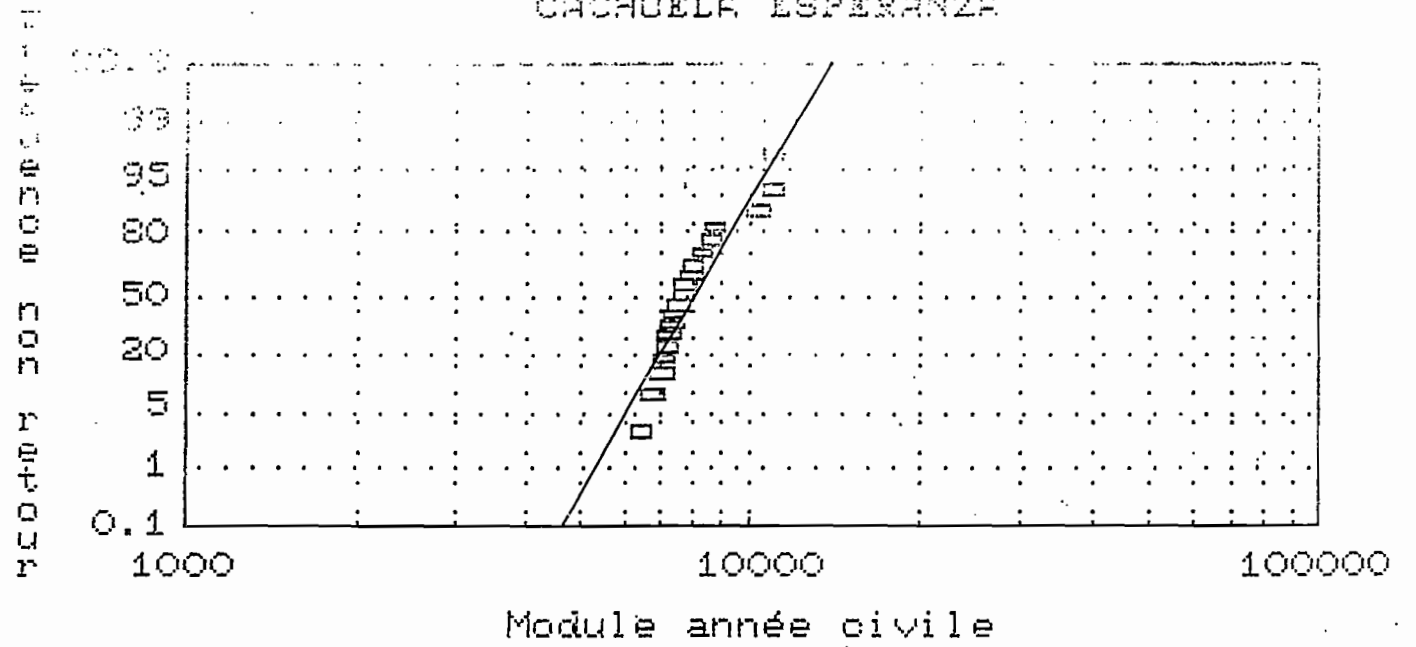


Fig - 6

Ajustement sur loi log normale
CACHUELA ESPERANZA



Des ajustements de ces modules sur lois de Gauss ou log-normale, on tire des estimations des débits des fréquences rares, assez concordants excepté bien entendu aux fréquences très rares (Voir Tableau 6).

Tableau 6

Modules de fréquence rare à Cachuela

Loi	Fréquence 100 ans		Fréquence 1000 ans	
	Année sèche	Année humide	Année sèche	Année humide
Normale 1976-1986	4500	12700	3300	14000
Normale 1968-1986	4500	11700	3300	12800
Log-Normale 1968-1986	5200	11500	4500	14000

Débits maximums

Etant donné les délais de propagation des crues et l'écrêtement des hydrogrammes lorsque se propage la crue de l'amont vers l'aval, il est difficile d'adapter la méthode précédente au pas de temps journalier.

Pour l'instant, nous nous bornerons à donner les valeurs des maximums observées, l'étude de ces débits devant faire l'objet d'investigations ultérieures.

Tableau 7

Débits journaliers maximums observés

Station	CACHUELA		ABUNA	
Année	Débit (m ³ /s)	Date	Débit (m ³ /s)	Date
1982	24 200	18/03	42 500	22/04
1984	25 700	7/03	44 300	12/04
1985	19 300	2/02	35 200	3/05
1986	26 800	31/03	43 000	1/04
1987	21 600	7/02	35 500	24/01

La corrélation soit entre maximums absolus, soit entre maximums correspondants (appartenant à la même crue) ne donne qu'une allure générale, et ne peut permettre une extension à la période antérieure.

Conclusion

Si les résultats de la période 1976-1986 sont satisfaisants, il est évident que l'extension jusqu'à 1968 est moins fiable et surtout ne rend pas compte de la variabilité de ces données, la méthode utilisée, la seule possible par ailleurs, présentant l'inconvénient de laminer les écarts.

Néanmoins, sur cette station où nous possédons très peu de données il nous a semblé intéressant d'exploiter tout ce qui pouvait l'être même si certains de ces résultats peuvent appeler des réserves.

Annexe

Tableau 8

Modules de CACHUELA

Année	Module année civile	
	déduits	observés
1986	11.040	11.000
1985	8.680	8.570
1984	10.420	-
1983	8.240	-
1982	11.010	-
1981	8.740	-
1980	6.760	-
1979	7.170	-
1978	7.650	-
1977	7.700	-
1976	7.050	-
1975	7.960	-
1974	7.880	-
1973	7.330	-
1972	7.210	-
1971	7.290	-
1970	7.510	-
1969	6.450	-
1968	7.030	-

Annexe

Tableau 9

Pluviométrie du Bassin du Beni

Année	Pluviométrie annuelle Beni à Angosto	Pluviométrie annuelle Madre de Dios à Miraflores	Moyenne pondérée à Cachuela
1968	1236	2585	1950
1969	1203	2461	1870
1970	1401	2815	2150
1971	1375	2674	2060
1972	1312	2836	2120
1973	1450	2760	2140
1974	1542	2673	2140
1975	1550	2853	2240
1976	1469	2623	2080
1977	1471	2652	2100
1978	1264	2870	2110
1979	1396	2580	2020
1980	1318	2477	1930
1981	1457	2854	2200
1982	1127	2811	2020

Bourges Jacques (1987)

Projet de Cachuela Esperanza : étude sommaire des apports.

La Paz (BOL)

La Paz : ORSTOM ; SENAMHI, 20 p. multigr