

**RÉPUBLIQUE UNIE
DU CAMEROUN**

**RÉGIME HYDROLOGIQUE DU FLEUVE WOURI
ET ESTIMATION DES APPORTS REÇUS PAR
L'ESTUAIRE ET LA MANGROVE DU WOURI**



J.C. OLIVRY

REGIME HYDROLOGIQUE DU FLEUVE WOURI
ET ESTIMATION DES APPORTS REÇUS PAR
L'ESTUAIRE ET LA MANGROVE DU WOURI

J.C. OLIVRY

Mai 1974

S O M M A I R E

INTRODUCTION

1. APERÇU CLIMATOLOGIQUE

1.1. Généralités - Zones climatiques de la région étudiée

1.2. Quelques observations climatologiques

1.2.1. Les températures

1.2.2. L'humidité relative

1.2.3. Evaporation

1.2.4. Insolation

1.2.5. Les vents

1.2.6. Conclusions

1.3. ETUDE DES PRECIPITATIONS

1.3.1. Répartition spatiale des précipitations annuelles

1.3.2. Répartition mensuelle des précipitations

1.3.3. Répartition statistique des précipitations

1.3.3.1. Précipitations annuelles

1.3.3.2. Précipitations mensuelles

1.3.3.3. Précipitations journalières

1.3.4. Hauteur moyenne des précipitations annuelles sur les différents bassins

2. LE REGIME HYDROLOGIQUE DU WOURI A YABASSI

2.1. GENERALITES

2.1.1. Introduction

2.1.2. Caractéristiques géomorphologiques du bassin

2.1.3. Géologie - Pédologie - Végétation

2.1.4. Les stations hydrologiques

2.1.5. Mesures de débit - Etalonnage

2.2. ETUDE DU REGIME HYDROLOGIQUE DU WOURI A YABASSI

2.2.1. Les données de base

2.2.2. Etude des modules

2.2.2.1. Distribution statistique des modules

2.2.2.2. Variations de l'hydraulicité

2.2.2.3. Module spécifique

2.2.3. Etude des crues maximales annuelles

2.2.3.1. Distribution statistique des maximums annuels

2.2.3.2. Débits spécifiques de crue et dates d'apparition

2.2.4. Etude des étiages absolus et du tarissement

2.2.4.1. Distribution statistique des étiages absolus

2.2.4.2. Débits spécifiques et date d'apparition des étiages absolus

2.2.4.3. Le tarissement

2.2.5. Etude du bilan hydrologique

2.2.5.1. Bilan annuel

2.2.5.2. Bilan mois par mois

3. ESTIMATION DES APPORTS ANNUELS DANS L'ESTUAIRE DU WOURI

3.1. BILAN DES APPORTS ANNUELS DANS L'ESTUAIRE DU WOURI

3.2. IRREGULARITE INTERANNUELLE DES APPORTS

3.3. IRREGULARITE ANNUELLE DES APPORTS

3.4. APPORTS DE LA SANAGA

3.5. CONCLUSIONS

INTRODUCTION

L'évolution du milieu saumâtre dans lequel baigne la mangrove varie dans le temps et dans l'espace en fonction des influences respectives et opposées du milieu marin d'une part et du milieu eau douce d'autre part.

L'influence du milieu marin se traduit par les marées dont l'onde de translation remonte fort en amont dans le lit des fleuves, pénètre la mangrove et dont le flût et le jusant entraînent des variations semi-diurnes de la salinité.

L'influence du milieu eau-douce se traduit par les précipitations que reçoit la mangrove mais surtout par les apports des fleuves et rivières qui drainent l'arrière pays. Elle est très variable suivant la saison alors que les "contraintes" du milieu marin sont stables. De ce fait les conditions physiques du biotope de la mangrove évoluent essentiellement en fonction du régime hydrologique des rivières tributaires.

La présente note se propose de faire le point des connaissances hydrologiques sur les rivières tributaires de l'estuaire du Wouri.

Limité au Sud par la pointe de Souellaba et au Nord par le Cap Cameroun l'estuaire du Wouri (ou du Cameroun), reçoit les apports en eau douce de trois fleuves cotiers : la Dibamba, le Wouri, le Mungo.

La mangrove s'est installée, entre le Cap Bimbia au Nord et, pratiquement, l'estuaire de la Sanaga au Sud, sur les dépôts alluviaux (sables, limons et vases) des trois fleuves déjà cités, des torrents du Mt. Cameroun, et de la Sanaga (ramenés vers le Nord par un courant cotier).

La Sanaga a un estuaire bien marqué. S'il est probable que ses eaux jouent un certain rôle dans l'adoucissement du milieu au large de l'estuaire du Wouri, du fait du courant cotier S.N., elle reste toutefois indépendante du complexe Wouri. Nous nous bornerons plus loin à rappeler les caractéristiques hydrologiques du plus grand fleuve du Cameroun.

Les torrents du Mt. Cameroun sont assez mal connus mais leurs apports sont relativement modestes. Ils sont cependant responsables d'un alluvionnement important au Sud de Tiko.

En ce qui concerne le "complexe Wouri", la Dibamba et le Wouri ont un estuaire profond et large alors que le Mungo aboutit dans la baie de Bodeaka par un delta.

Les biefs maritimes de ces trois fleuves sont importants et l'influence de la marée n'y a pas permis l'installation de stations hydrométriques.

De ce fait, la Dibamba est mal connue car la marée remonte au delà de Bonepoupa (route d'Edéa) - En amont, l'absence d'accès dans la forêt dense n'a pas permis l'installation de stations de mesures, - Au bac de Pitti Dibamba, le bassin versant couvre 2 400 km² environ.

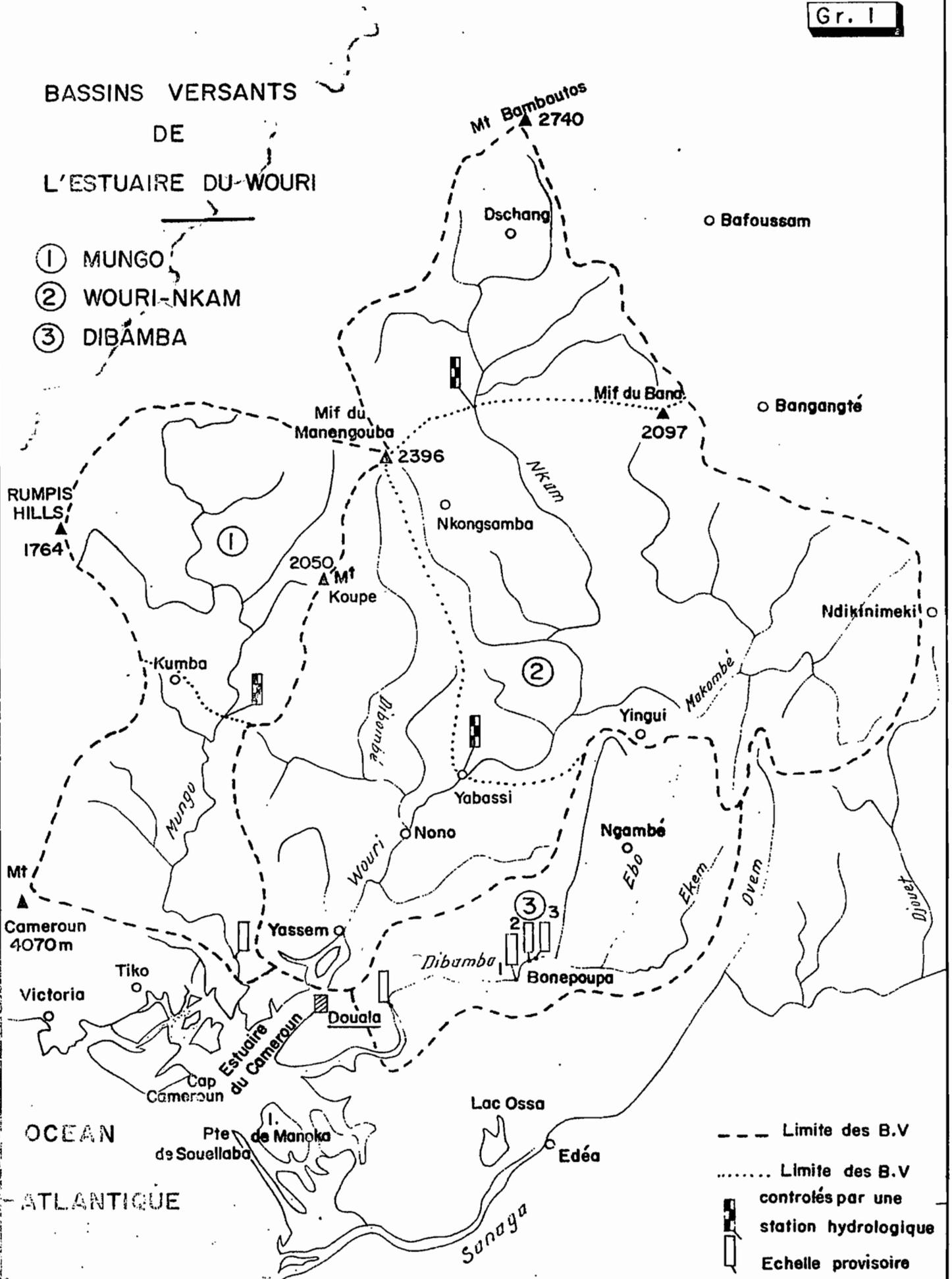
Le bassin versant du Mungo est contrôlé à Mundamé près de Kumba sur une superficie de 2 500 km² pour une superficie totale de 4 400 km² à l'exutoire.

Le bassin versant du Wouri-Nkam est suivi depuis de longues années à la station de Yabassi qui en contrôle environ les 8/10. Le haut bassin est également bien connu (station de Mélong) - Le bassin du Wouri-Nkam couvre plus de la moitié de la surface de l'estuaire du Wouri ; son régime hydrologique est représentatif de l'ensemble de la région.

Après un aperçu sur la climatologie de la région, nous nous proposons de définir les caractéristiques hydrologiques principales du fleuve Wouri et à partir de ces résultats nous tenterons d'estimer le volume des apports reçus par la mangrove et l'estuaire du Wouri.

BASSINS VERSANTS DE L'ESTUAIRE DU WOURI

- ① MUNGO
- ② WOURI-NKAM
- ③ DIBAMBA



--- Limite des B.V.
 Limite des B.V. contrôlés par une station hydrologique
 Station hydrologique
 Echelle provisoire

Echelle : 1/1.000.000

1. APERCU CLIMATOLOGIQUE

1.1. GENERALITES - ZONES CLIMATIQUES DE LA REGION ETUDIEES.

En étudiant sommairement la climatologie de Douala et de quelques stations de l'intérieur, nous nous sommes proposé d'en définir les caractéristiques pour l'estuaire du Wouri d'une part, l'arrière pays (bassin versant du Wouri) d'autre part.

La mangrove est relativement mal connue au point de vue climatologique du fait de l'absence de stations d'observations. Douala est la seule station pour laquelle des mesures complètes des principaux paramètres climatiques soient effectués depuis de longues années. Cependant pour un certain nombre de paramètres, Douala n'est pas vraiment représentative du climat de la mangrove.

Pour l'arrière pays les stations sont assez nombreuses et permettent de suivre les variations climatiques entre les parallèles nord 4 et 6 (limites approximatives du bassin du Wouri).

La région étudiée fait partie de la zone à climat équatorial côtier nord dont l'originalité, pour un climat équatorial, n'est d'avoir qu'une seule saison des pluies et une seule saison sèche. On sait que les déplacements du front intertropical (FIT) sont liés à celui de l'anticyclone de Ste Hélène suivant en cela le mouvement apparent du soleil avec un décalage de 1 mois environ. La masse d'air humide (zone C) responsable de la saison des pluies située à 400 km au sud du FIT et large de 1 200 km environ atteint sa position la plus septentrionale en juillet. A cette époque les régions situées au sud du 5°, 6° parallèle connaissent une petite saison sèche. Dans la région de Douala cependant, la masse d'air humide s'élargit considérablement du fait d'une part de l'effet orographique du Mt. Cameroun, d'autre part de l'abondance de la mousson qui vient frapper de plein fouet la zone côtière du fond du golfe de Guinée (alizés du S.E. détournés par les forces de Coriolis), et l'on n'observe pas de petite saison sèche mais au contraire de fortes précipitations.

La partie septentrionale des bassins versants du Mungo, mais surtout du Wouri-Nkam est dans la zone à climat tropical de l'Ouest où l'altitude apparaît comme un des facteurs conditionnels essentiels du climat.

Quelle que soit la zone climatique considérée, on observe une longue saison des pluies de mars à novembre et une courte saison sèche de décembre à février marquée, surtout sur le littoral, par des précipitations non négligeables.

Les observations climatologiques et pluviométriques permettent de préciser le régime climatique de la région étudiée.

1.2. QUELQUES OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES

1.2.1. Les températures :

Les températures moyennes des maximums journaliers (\bar{T}_x), des minimums journaliers (\bar{T}_n) et journalières ($\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$) ainsi que l'amplitude thermique moyenne journalière ($\bar{T}_x - \bar{T}_n$) ont été réunies pour chaque mois dans le tableau ci-dessous, (voir également graphique 2.)

TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année

DOUALA (29 ans)													
\bar{T}_x	31,2	31,8	31,8	31,7	31,1	29,2	27,2	27,1	28,4	29,5	30,3	31,0	30,0
\bar{T}_n	23,0	23,5	23,3	23,1	23,2	22,9	22,4	22,4	22,5	22,4	22,8	23,0	22,8
$(\bar{T}_x + \bar{T}_n)/2$	27,1	27,7	27,6	27,4	27,2	26,1	24,8	24,8	25,5	26,0	26,6	27,0	26,4
$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	8,2	8,3	8,5	8,6	7,9	6,3	4,8	4,7	5,9	7,1	7,5	8,0	7,1

TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (suite)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
NKONGSAMBA (17 ans)													
\bar{T}_x	27,6	28,6	28,1	27,8	27,4	25,6	23,9	23,8	25,0	26,1	27,0	27,4	26,5
\bar{T}_n	18,5	18,9	19,4	19,4	19,4	18,7	18,5	18,4	18,5	18,7	18,9	18,5	18,8
$(\bar{T}_x + \bar{T}_n)/2$	23,1	23,8	23,8	23,6	23,4	22,1	21,2	21,1	21,8	22,4	22,9	22,9	22,7
$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	9,1	9,7	8,7	8,4	8,0	6,9	5,4	5,3	6,6	7,4	8,1	8,9	7,7
NGAMBE (16 ans)													
\bar{T}_x	28,7	29,7	29,2	29,0	28,5	26,4	24,2	24,0	25,8	27,1	28,1	28,2	27,4
\bar{T}_n	20,7	21,3	20,7	20,5	20,5	19,8	19,2	19,2	19,4	19,5	20,3	20,6	20,1
$(\bar{T}_x + \bar{T}_n)/2$	24,7	25,5	25,0	24,8	24,5	23,1	21,7	21,6	22,6	23,3	24,2	24,4	23,7
$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	8,0	8,4	8,5	8,5	8,0	6,6	5,0	4,8	6,4	7,3	7,8	7,6	7,2
DSCHANG (20 ans)													
\bar{T}_x	26,9	27,4	26,7	26,0	25,1	24,0	22,5	22,3	23,4	24,3	25,4	26,4	25,0
\bar{T}_n	13,6	14,6	15,6	16,2	16,2	15,5	15,5	15,5	15,4	15,4	14,6	13,4	15,1
$(\bar{T}_x + \bar{T}_n)/2$	20,3	21,0	21,2	21,1	20,7	19,8	19,0	18,9	18,4	19,9	20,0	19,9	20,1
$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	13,3	12,8	11,1	9,8	8,9	9,5	7,0	6,8	8,0	8,9	10,8	13,0	9,9

On observe un abaissement progressif de la température moyenne annuelle, ainsi que des maximum et minimum, de Douala à Dschang, abaissement lié à l'altitude. L'amplitude thermique ou écart diurne, varie en sens inverse. Les fortes amplitudes de Dschang montrent l'influence du climat tropical d'altitude et des effets de continentalité qui s'opposent à l'action adoucissante des masses océaniques sur le littoral.

Les variations mensuelles présentent une forte homogénéité d'une station à l'autre avec minimum des températures moyennes et des écarts diurnes moyens en juillet-août (1). Le maximum des températures moyennes apparaît en février pour Douala, mars-avril pour Dschang. Les écarts diurnes sont maximums en janvier-février pour Dschang et mars-avril pour Douala.

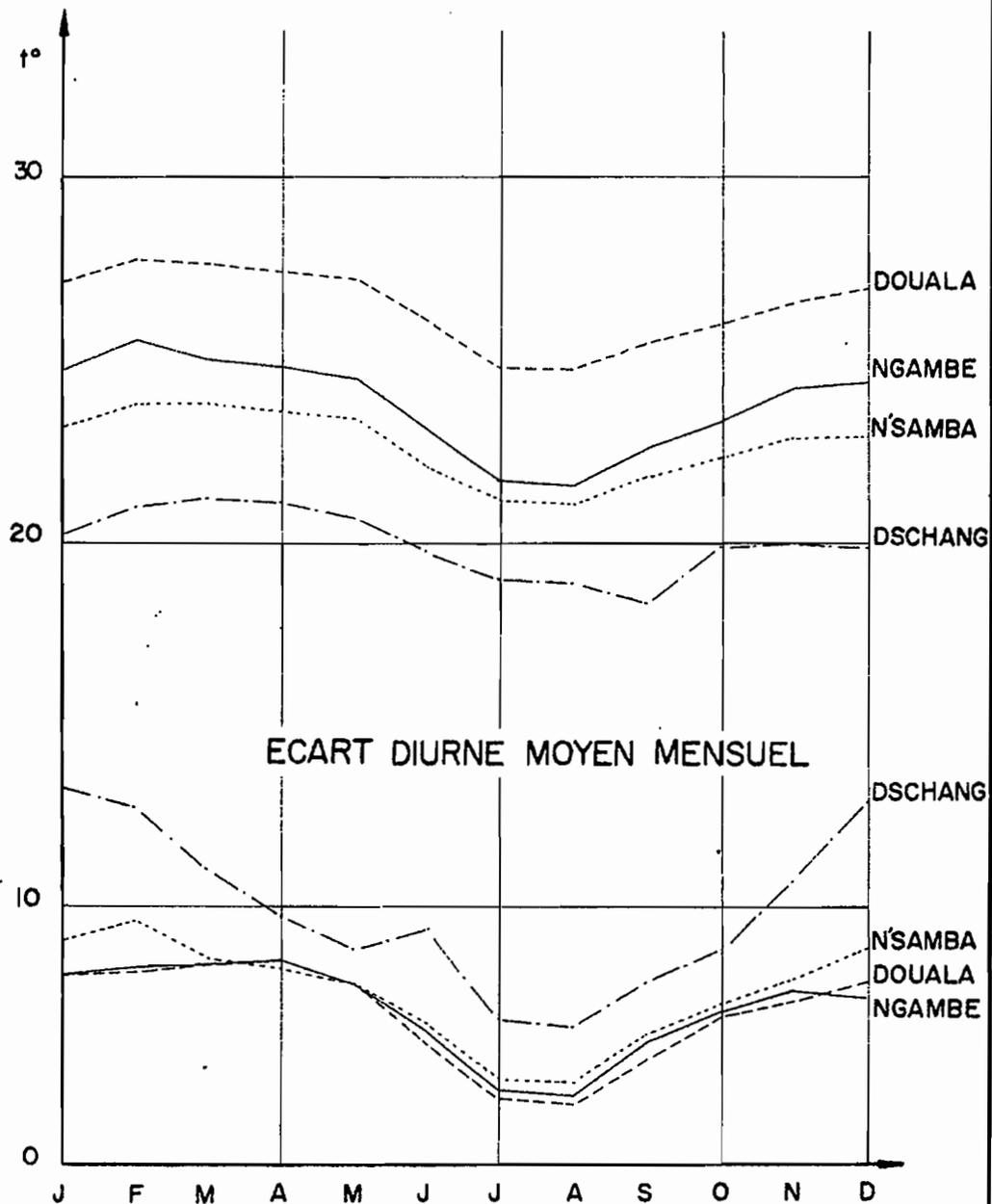
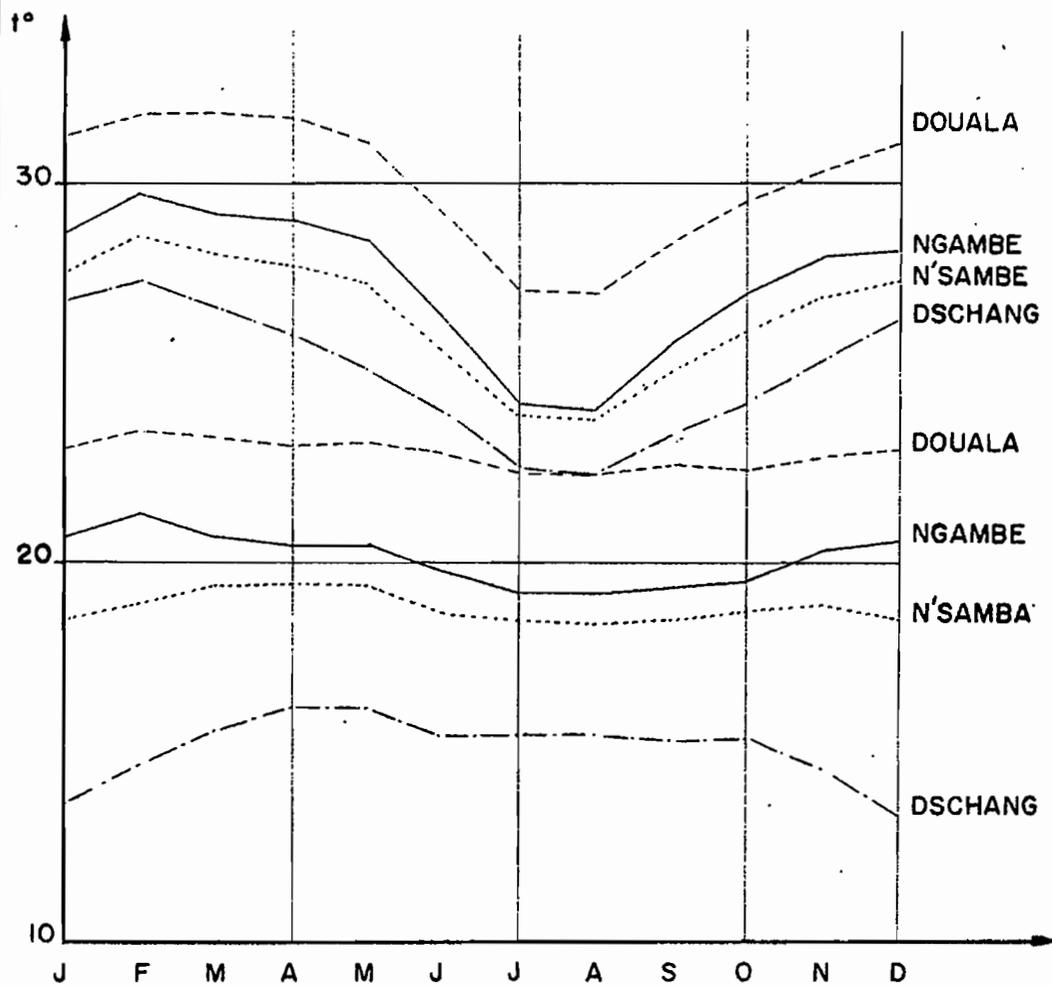
(1) Notons cependant que pour Dschang on observe déjà la valeur minimale de \bar{T}_n en décembre comme plus au Nord dans le régime tropical classique.

LES TEMPERATURES

Gr. 2

MOYENNE DES MAXIMUMS ET MINIMUMS MENSUELS

TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE



CLIMATOLOGIE DU BASSIN DU WOURI

1.2.2. L'humidité relative

Elle est mesurée à partir de la différence de température entre thermomètre sec et thermomètre mouillé, à 6 h, 12 h et 18 h.

A 6 h et 18 h les humidités sont toujours très élevées et l'étude des variations mensuelles de l'humidité relative est surtout intéressante sur les mesures de 12 h.

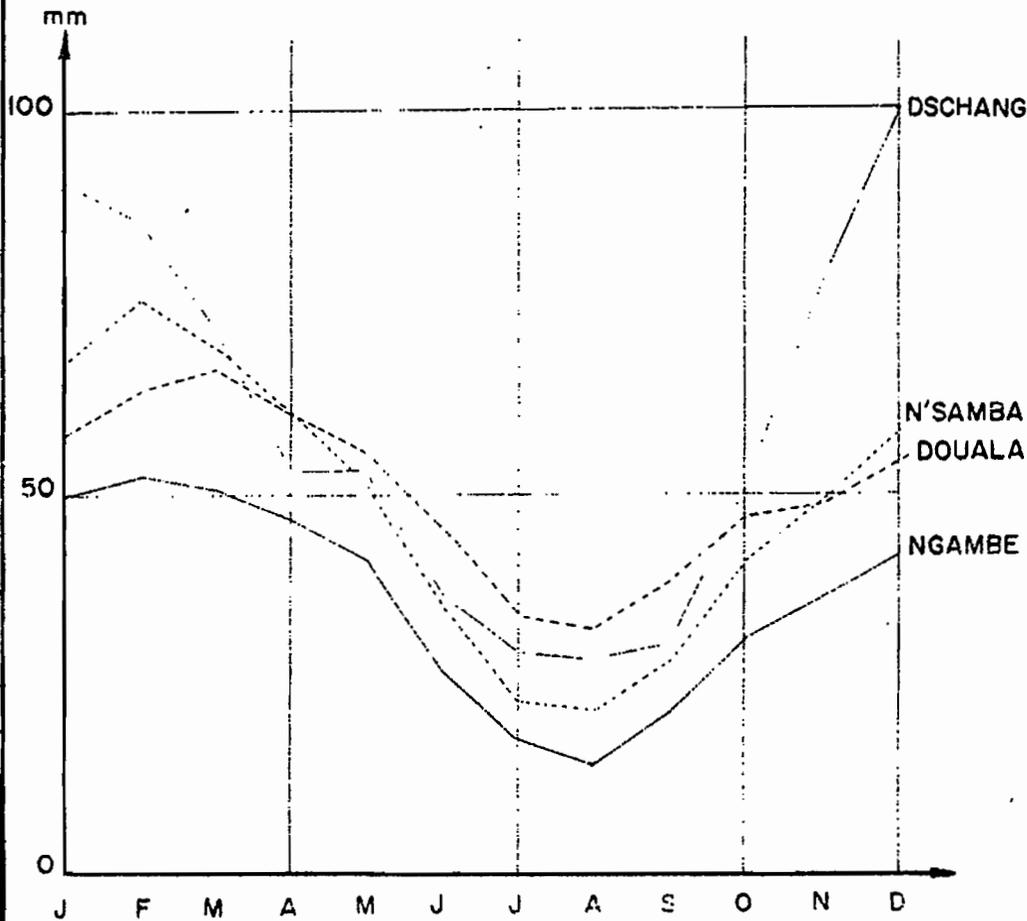
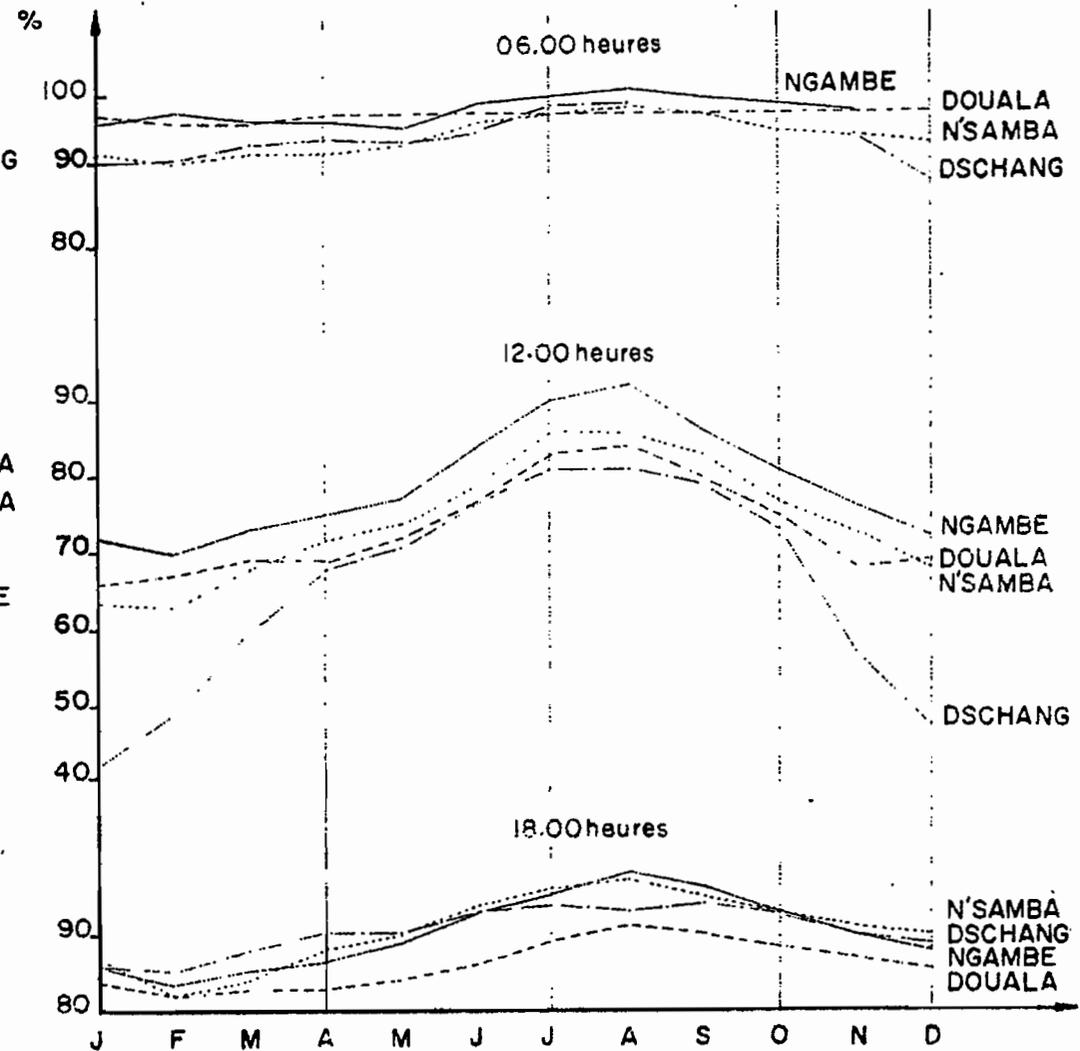
Le tableau ci-dessous et le graphique 3 indiquent ces variations.

HUMIDITE RELATIVE %

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DOUALA (17 ans)													
6 h	97	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
12 h	66	67	69	69	72	77	83	84	80	75	68	69	73
18 h	84	82	83	83	84	86	89	91	90	88	87	85	86
NKONGSAMBA (11 ans)													
6 h	92	91	92	92	93	96	97	98	97	95	94	93	94
12 h	64	63	68	72	74	79	86	86	83	77	73	68	74
18 h	87	82	84	88	90	94	96	97	95	93	91	90	91
NGAMBE (16 ans)													
6 h	96	97	96	96	95	98	99	100	99	97	97	97	97
12 h	72	70	73	75	77	84	90	92	86	81	76	73	79
18 h	86	83	85	86	89	93	96	98	96	93	90	88	90
DSCHANG (7 ans)													
6 h	91	92	93	94	93	95	98	98	97	95	94	87	94
12 h	42	49	60	68	71	77	81	81	79	73	57	47	65
18 h	86	85	88	90	90	93	94	93	94	93	90	89	90

HUMIDITE RELATIVE

EVAPORATION PICHE EN MM



C'est pour la station de Dschang que les variations d'humidité relative sont les plus importantes avec minimum en janvier 42 % et maximum en juillet-août 81 %. Ces variations se situent aux mêmes dates pour Douala mais avec un minimum de 66 % et un maximum de 84 %. (U % à 12 h)

Cette différence s'explique par les influences respectives de l'altitude pour Dschang et des masses d'air maritimes pour Douala.

Il nous faut souligner ici que les mesures d'humidité de Douala ne sont pas représentatives de celles qui seraient mesurées sur la mangrove. L'humidité est bien entendu plus élevée au sein de la mangrove. La saturation est atteinte sur de plus longues périodes.

1.2.3. Evaporation

Elle est mesurée sur évaporomètre Piche sous abri météo. Les résultats ont une valeur en tant qu'éléments de comparaison entre stations mais ne peuvent être utilisés dans la détermination des termes du bilan hydrologique.

Ci dessous nous donnons les valeurs mensuelles moyennes de l'évaporation Piche.

en mm	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DOUALA (29 ans)	57,7	63,3	66,6	60,6	55,9	45,8	34,2	32,5	39,0	47,5	49,0	54,6	606,7
NGAMBE (19 ans)	49,2	52,2	50,9	47,0	41,5	26,6	17,7	14,7	21,2	31,6	36,9	42,6	432,1
NKONGSAMBA (17 ans)	67,4	75,5	69,6	60,7	51,7	35,2	22,8	21,7	28,5	41,9	49,9	58,8	591,1
DSCHANG	90,8	85,7	71,2	53,3	53,1	36,7	29,2	28,9	30,8	51,4	79,1	101,3	711,5

L'évaporation Piche est plus importante à Douala qu'à Ngambé et Nkongsamba où les humidités relatives sont comparables à celles de Douala mais les températures moyennes plus faibles.

Les fortes valeurs de l'évaporation en décembre, janvier, février illustrent bien pour Dschang le caractère tropical de son climat avec une vraie saison sèche.

1.2.4. Insolation

Les mesures sont peu nombreuses. La station de Douala et celle de Koundja située à l'Est de Dschang en position plus continentale donnent les seuls éléments dont nous disposons.

INSOLATION MOYENNE EN HEURES PAR MOIS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DOUALA	130	144	137	151	140	89	43	39	69	113	127	134	1316 h
KOUNDJA	257	240	214	197	212	175	126	122	133	182	233	268	2359 h

A Dschang l'insolation annuelle est toutefois inférieure à celle de Koundja. Elle peut être estimée à 2000 - 2100 heures.

La faible ensoleillement de Douala n'est pas pour surprendre, vu son exposition aux perturbations du golfe de Guinée - L'insolation de Nkongsamba et Ngambe doit être d'environ 1 500 h par an et c'est donc uniquement le haut bassin du Nkam qui reçoit une forte insolation.

1.2.5. Les vents

La direction dominante des vents est du Sud-Ouest pour Douala, Nkongsamba, de l'Ouest et du Sud-Ouest pour Ngambe et du Nord Ouest au Sud Ouest pour Dschang (effets du relief). Le vent dominant est porteur de la mousson. On note seulement 48 % de calmes à Douala pour 70 % à Ngambe et Dschang.

Moins de 1 % des observations indique des vitesses du vent supérieures à 7 m/s.

1.2.6. Conclusions

De cet aperçu rapide sur quelques paramètres climatologiques on peut remarquer que les différentes observations effectuées à Nkongsamba et à Ngambe se rapprochent davantage de celles de Douala que de celles de Dschang. La vallée du Wouri et la plaine cotière favorisent la pénétration profonde des influences maritimes jusqu'aux obstacles orographiques de la dorsale camerounaise, du plateau bamileké et du plateau du Centre-Sud. La variante montagnarde du climat tropical de transition, ou climat tropical de l'Ouest, n'intéresse qu'une partie négligeable du haut bassin du Mungo et le bassin du Nkam au Nord de Melong.

1.3. ETUDE DES PRECIPITATIONS

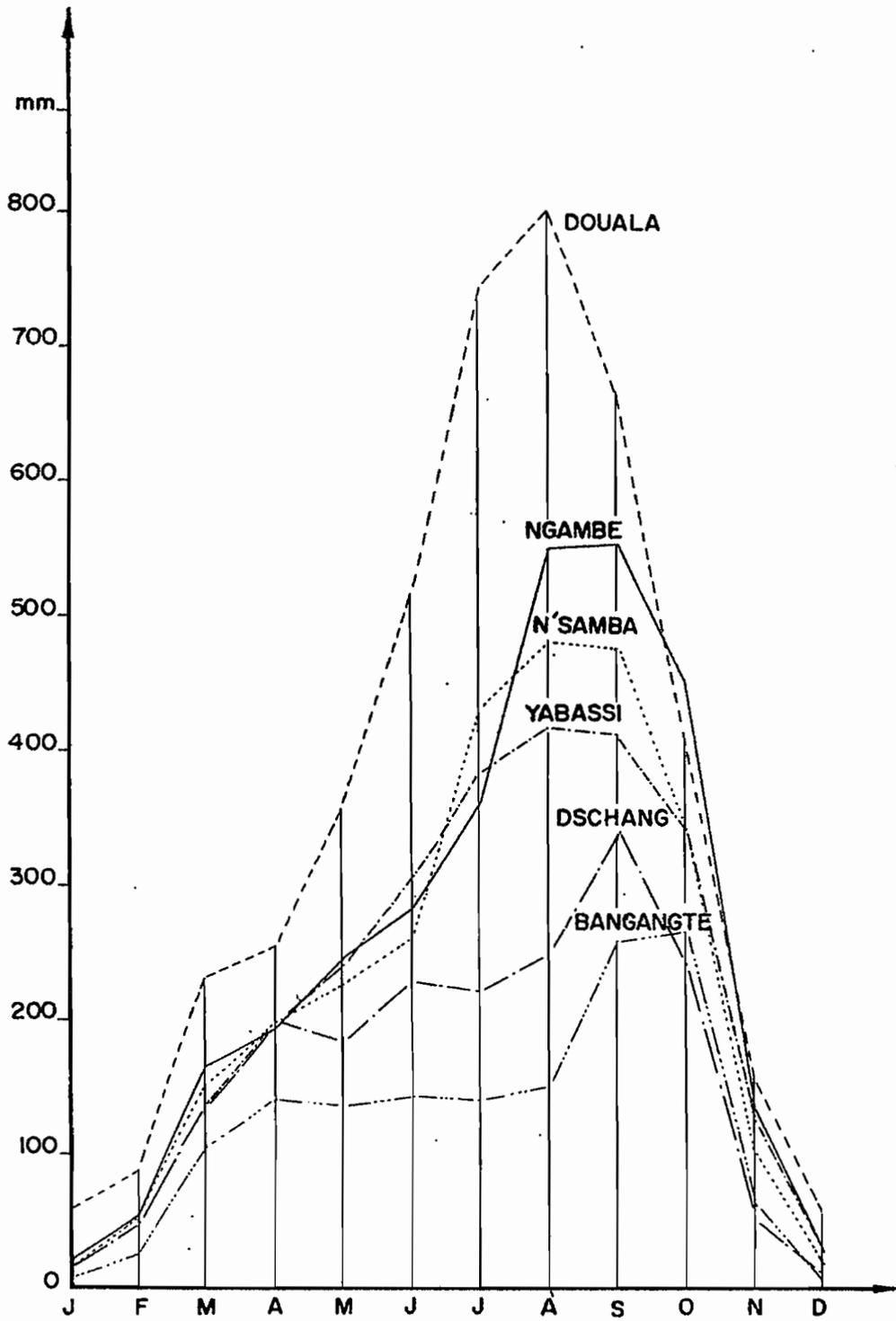
1.3.1. Répartition spatiale des précipitations annuelles

La carte des isohyètes interannuelles des bassins tributaires du Wouri traduit cette répartition spatiale des précipitations annuelles. Les plus fortes précipitations sont observées sur le littoral et notamment sur la mangrove où la hauteur moyenne des précipitations varie de 5 500 mm à 4 000 mm.

Les courbes isohyètes s'incurvent dans l'axe du Wouri et indiquent la pénétration des masses d'air océaniques dont nous parlions plus haut jusqu'à Nkondjock. Les précipitations restent soutenues sur l'axe SSW-NNE de la dorsale camerounaise (du Mont Cameroun aux Monts Bamboutos en passant par le massif du Manengouba), avec toutefois une zone de plus faible pluviosité entre Kumba et Tiko dû à l'effet d'écran de la masse du Mt. Cameroun.

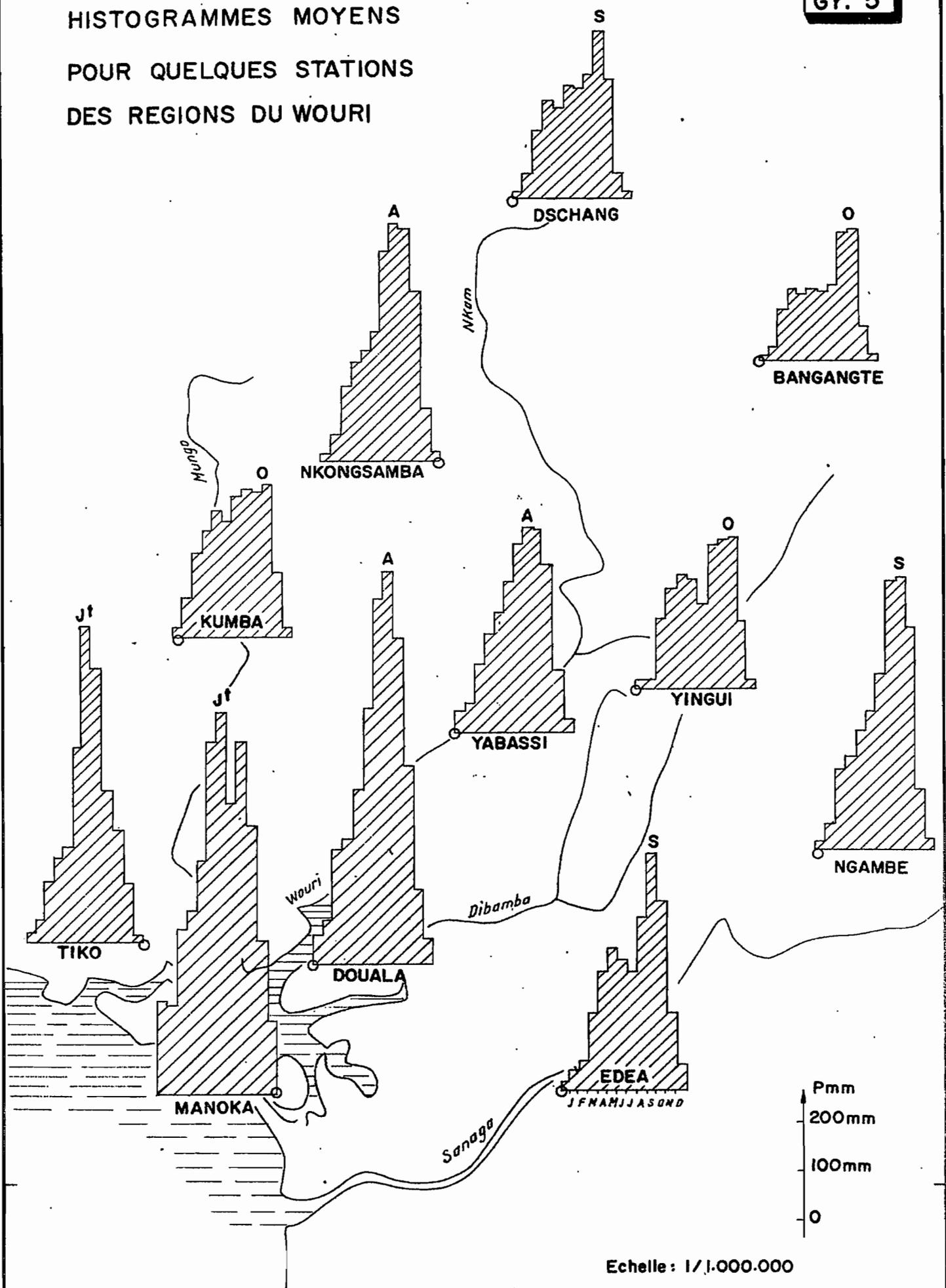
1.3.2. Répartition mensuelle des précipitations

Le tableau 1 donne les précipitations mensuelles de seize stations principales de la région étudiée. Les histogrammes de onze de ces stations ont été reportés dans le graphique. L'examen de ces histogrammes montre ce que J.B. SUCHEL a appelé "l'exaspération des traits océaniques du climat avec les paroxysmes pluviaux de l'empire de la mousson" au coeur de la saison des pluies pour les stations du littoral, Tiko, Manoka, mais aussi avec atténuation progressive, pour les stations de la vallée du Wouri, Yabassi, Nkongsamba.



BASSIN DU WOURI
PLUVIOMETRIE MENSUELLE

HISTOGRAMMES MOYENS POUR QUELQUES STATIONS DES REGIONS DU WOURI



La forme trapue de l'histogramme de Kumba est due à l'absence de paroxysmes pluviaux de la mousson (effet d'écran du Mt. Cameroun dont nous parlions plus haut). Enfin les stations de Dschang et Bangangté échappent aux manifestations paroxysmales de la mousson.

1.3.3. Répartition statistique des précipitations

1.3.3.1. Précipitations annuelles

Les valeurs significatives de la répartition statistique des précipitations annuelles ont été portées dans le tableau ci-après.

VALEURS CARACTERISTIQUES DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE

Station	Nb. an- nées	Pmax	Pmin	Ecart type	Années humides			Moyen	Années sèches			K3
					20ans	10ans	5ans		5ans	10ans	20ans	
DOUALA	34	5712	3393	485	5126	4951	4738	4338	3922	3708	3534	1,33
EDEA	40	3490	2156	352	3312	3185	3030	2734	2438	2283	2156	1,40
NGAMBE	33	3316	2255	205	3364	3290	3100	3028	2855	2764	2690	1,19
NKONDSAMBA	17	3300	2058	244	3200	3100	2980	2762	2325	2420	2535	1,28
DSCHANG	32	2358	1413	157	2194	2137	2068	1935	1803	1734	1677	1,23
BANGANGTE	34	1758	1118	181	1738	1673	1593	1457	1289	1209	1144	1,38

TABLEAU I

PLUVIOMETRIE MOYENNE

(Bassins versants de l'estuaire du Wouri)

STATION	Nb. années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
DOUALA	(34)	59	88	232	254	356	520	744	800	663	404	155	55	4330
YABASSI	(36)	42	58	139	199	242	307	383	417	413	341	124	27	2693
YINGUI	(10)	18	19	145	204	232	226	172	295	302	307	144	23	2086
NKONJOCK	(8)	27	37	160	251	266	300	428	475	509	370	146	18	2987
NKONGSAMBA	(34)	16	53	151	199	226	261	431	482	476	345	103	19	2762
NDIKINIMEKI	(32)	17	36	117	170	170	153	184	115	269	293	88	10	1522
EDEA	(40)	46	61	159	244	289	266	241	351	485	384	160	48	2734
BANGANGTE	(28)	8	27	107	142	136	144	140	151	259	265	68	10	1457
NGAMBE	(30)	21	55	167	190	245	282	360	550	554	453	127	24	3028
MANOKA	(11)	191	179	334	369	474	716	774	589	716	543	309	152	5345
DSCHANG	(33)	15	50	138	198	184	230	223	250	340	242	52	13	1935
BONA BERI	(16)	52	70	193	220	292	469	735	650	495	305	155	52	3685
MBANGA	(26)	23	55	162	225	202	227	300	318	365	339	116	22	2345
LOUM CHANTIER	(19)	40	65	159	216	269	360	416	462	480	369	128	29	2992
TIKO	(17)	21	49	127	174	195	400	646	560	308	231	119	14	2844
KUMBA	(30)	26	83	174	220	261	239	288	304	297	324	137	22	2364

Les résultats des observations ont été ajustées sur papier gaussique. La loi Gauss normale a été retenue. K3 est le rapport de la pluie decennale humide sur la pluie decennale sèche. Il traduit l'irrégularité interannuelle.

1.3.3.2. Précipitations mensuelles

Nous nous bornons ci-dessous à donner les valeurs extrêmes des observations P max, P min les quartiles supérieurs et inférieurs dépassés pour 25 % et 75 % des observations et la hauteur médiane de précipitation pour chaque mois aux stations principales (la hauteur mediane est différente de la hauteur moyenne)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
=====												
DOUALA												
P max	184	189	669	398	683	862	1229	1240	992	602	298	210
Q sup	79	123	282	300	428	639	889	996	777	453	181	79
P med	16	79	217	258	329	506	732	749	632	404	145	39
Q inf	27	47	165	195	276	407	666	669	524	346	121	21
P min	0	5	65	132	141	259	316	248	359	239	41	4
=====												
NGAMBE												
P max	79	161	325	353	493	583	552	768	900	642	254	150
Q sup	33	78	194	230	319	338	411	623	651	503	142	36
P med	14	51	162	191	229	263	337	552	546	446	120	16
P inf	1	22	118	160	177	201	287	480	445	382	92	4
P min	0	3	69	74	103	153	207	341	184	312	42	0
=====												
NKONGSAMBA												
P max	72	119	265	336	358	420	578	766	715	611	218	58
Q sup	20	62	199	252	276	312	503	582	560	477	131	24
P med	7	27	160	226	210	291	467	531	525	340	104	7
Q inf	2	12	132	148	166	221	395	443	378	294	72	1
P min	0	3	51	96	90	187	207	360	297	241	21	0
=====												

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DSCHANG												
P max	80	137	269	358	331	390	355	377	522	429	195	61
Q sup	26	76	160	215	195	259	232	293	398	259	66	15
P med	6	33	137	181	168	226	212	226	301	224	45	7
Q inf	0	20	160	147	139	185	171	189	275	205	23	0
P min	0	0	31	92	67	125	130	131	123	152	1	0

=====

1.3.3.3. Précipitations journalières

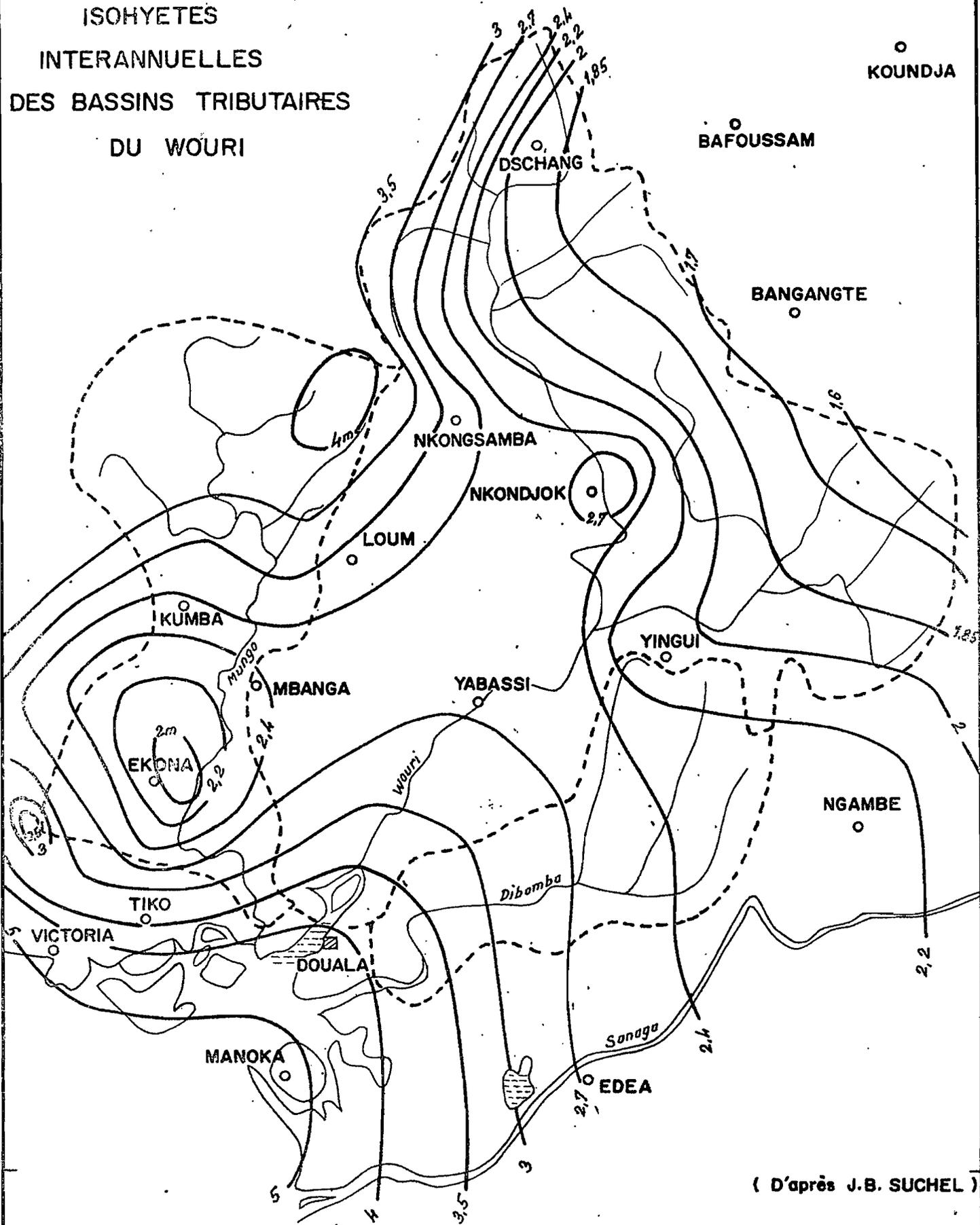
L'étude statistique des précipitations journalières maximales (voir tableau ci-dessous) montre que pour une averse de hauteur donnée la période de retour augmente très vite lorsque l'on s'éloigne du littoral et que l'on gagne en altitude. Ainsi la précipitation journalière centenaire de Dschang (117 mm) est de loin inférieure à celle que l'on observe une fois par an à Douala (155 mm). Cela est dû à une déperdition progressive de la puissance de la mousson. (1)

PERIODE DE RETOUR

STATION	1 ans	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
DOUALA	155	180	214	240	266	301	328
EDEA	99,4	115	135	151	167	188	204
YINGUI	71,8	81	93,1	102	111	123	132
NGAMBE	82,5	93,7	108	120	131	146	157
DSCHANG	60,5	69	80,3	88,9	97,4	109	117
BANGANGTE	57,5	65,3	75,6	83,4	91,1	101	109

(1) Il y a également une influence de l'altitude. En général pour des conditions identiques de latitude, d'exposition, et à la même distance de la mer, les stations de montagne présentent pour la même période de retour des hauteurs plus faibles.

ISOHYETES
INTERANNUELLES
DES BASSINS TRIBUTAIRES
DU WOURI



(D'après J.B. SUCHEL)

Echelle: 1/1000000

1.3.4. Hauteur moyenne des précipitations annuelles sur les différents bassins

Le planimétrage des courbes isohyètes interannuelles permet, d'obtenir pour chaque bassin la lame d'eau moyenne précipitée :

1 Estuaire du Wouri et Mangrove

$$P = 4\ 500 - 4\ 600\ \text{mm}$$

2 Bassin versant du Mungo

$$P = 3\ 100\ \text{mm}$$

3 Bassin du Wouri à Douala

$$P = 2\ 350\ \text{mm}$$

4 Bassin de la Dibamba

$$P = 2\ 660\ \text{mm}$$

2. LE REGIME HYDROLOGIQUE DU WOURI A YABASSI

2.1. GENERALITES

2.1.1. Introduction

Le bassin du Wouri à Douala (11 700 km²) comprend un bief maritime important envahi par les marées qui se font encore sentir au delà de Nono (confluent de la Dibamba). Sa partie "continentale" est drainée par deux affluents principaux :

- le Nkam, provenant des montagnes de la partie Nord-Ouest du bassin (Bamboutos, Manengouba) et du plateau bamileké, constituant la branche majeure du réseau.
- la Makombe, provenant des régions de Bangangté, Ndikinimeki et Ngambe.

Au confluent de ces deux rivières, le cours d'eau prend le nom de Wouri.

A Nono, en aval de Yabassi, le Wouri reçoit en rive droite un affluent important, la Dibombé, qui draine le flanc sud du Manengouba, les Mts Koupé près de Loum et la région de Mbanga.

Les mesures hydrologiques concernent le bassin du Wouri à Yabassi dont la superficie est de 8 250 km².

2.2.2. Caractéristiques géomorphologiques du bassin

La géométrie des bassins se traduit par un indice de compacité appelé coefficient de Gravelius choisi de telle manière qu'il soit égal à 1 pour un bassin de forme circulaire. Le Wouri à Yabassi a pour coefficient de Gravelius $K_0 = 1,50$.

On en déduit les dimensions du rectangle équivalent :

longueur : 192 km

largeur : 43 km

L'hypsométrie du bassin du Wouri à Yabassi montre que 25 % de sa superficie est comprise au dessus de 700 m, 50 % au dessus de 500 m et seulement 1/3 de sa superficie en dessous de 200 m.

Le profil hypsométrique (graph. 7) montre plusieurs cassures : la première montre le passage des zones montagneuses et du plateau bamileké à la zone intermédiaire correspondant à l'ensemble du haut bassin de la Makombé et également à la plaine des Mbos pour le Nkam. Cette zone est interrompue à la cote 700 environ par une seconde cassure qui fait la transition avec les zones de collines situées entre Nkongsamba, Nkondjok et Ndikinimeki. A la cote 200 environ la plaine cotière du Wouri est atteinte. L'altitude moyenne du bassin versant du Wouri à Yabassi est de 576 m. L'indice global de pente est de 7,6 m/km.

Le réseau hydrographique présente plusieurs particularités. Dans la partie orientale du bassin et principalement pour le bassin de la Makombe le réseau montre un chevelu extrêmement complexe marqué de brusques changements de direction perpendiculaires. Les directions privilégiées sont orientées SSW-NNE à SW-NE et WNW-ESE à NW-SE correspondant aux lignes de fractures bien connues dans la région appelées respectivement "ligne du Cameroun" et "ligne de la Benoué". Bien que ces accidents tectoniques n'aient pas tous été reconnus sur le terrain (forêt dense), ils semblent confirmés par le réseau hydrographique de la zone de collines entre Nkondjok, Yingui et Ndikinimeki.

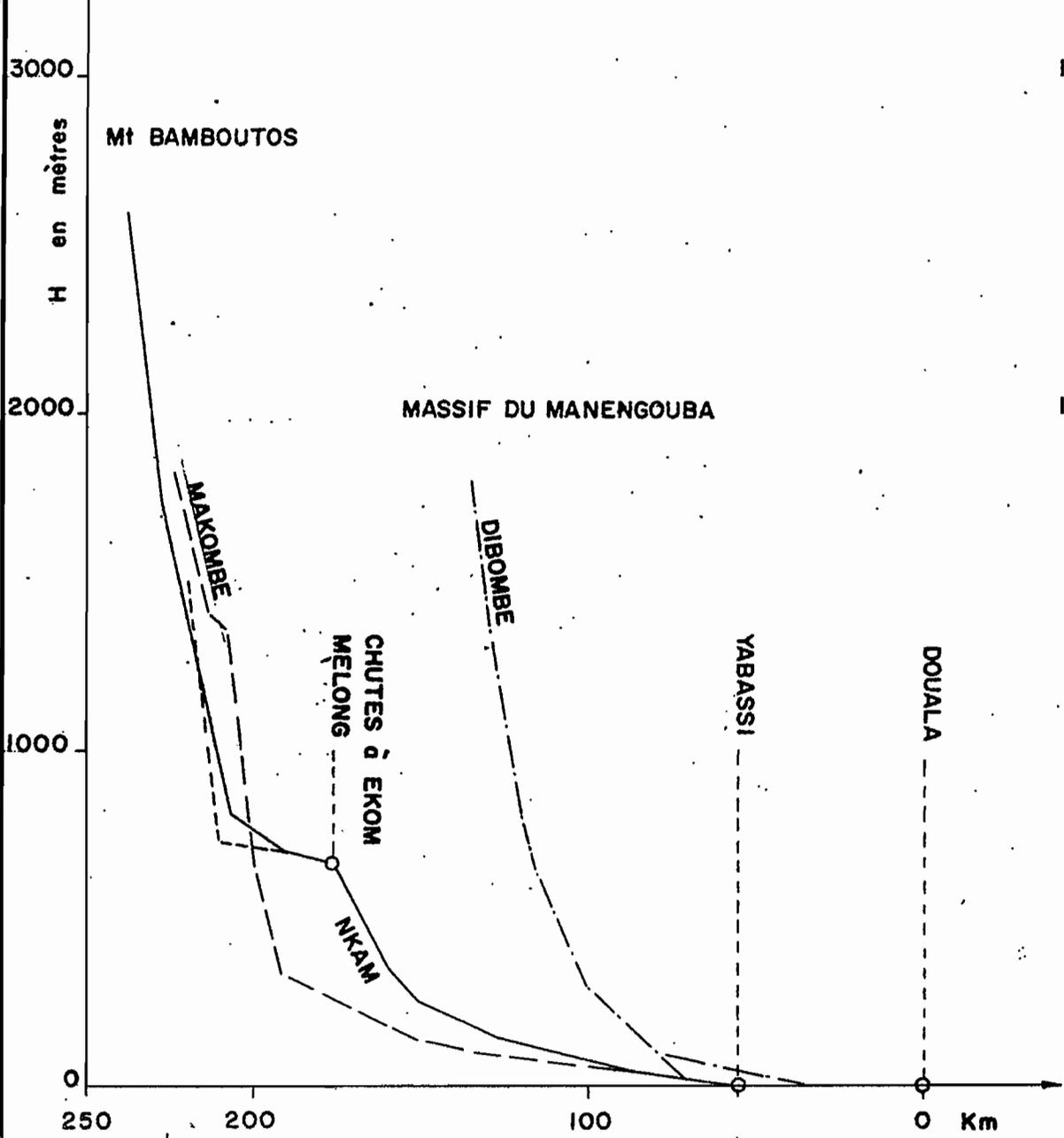
Dans la partie Nord-Ouest du bassin, le tracé du réseau présente un aspect de longues lanières au flanc des appareils volcaniques importants comme le Manengouba ou les Bamboutos (voir carte 8).

Les profils longitudinaux du Wouri-Nkam et de ses principaux affluents sont donnés dans le graphique 7. La pente moyenne du Wouri-Nkam, obtenue après élimination des 20 % aval et amont du profil est de 5,7 m/km.

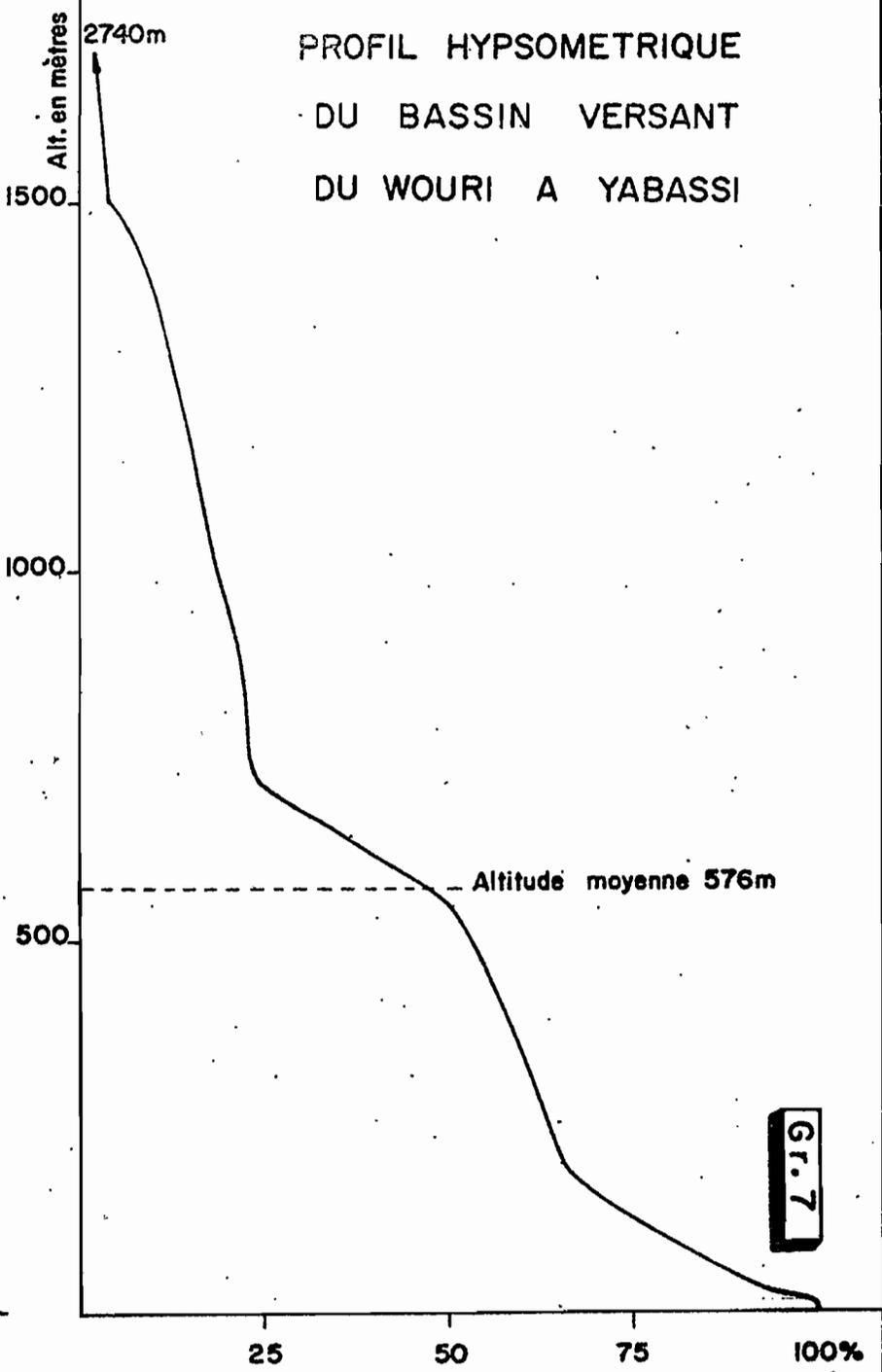
2.1.3. Géologie - Pédologie - Végétation

La majeure partie du bassin du Wouri à Yabassi a une couverture géologique constituée par les formations du socle essentiellement représentées par des gneiss-embredistes à biotite et secondairement par des anatexites, des granites syntectoniques non circonscrits et circonscrits. Ces derniers s'orientent sur un axe d'anticlinorium orienté SW-NE affleurant à l'est de Loum et dans le massif du Batie entre Bafang et Bandjoun.

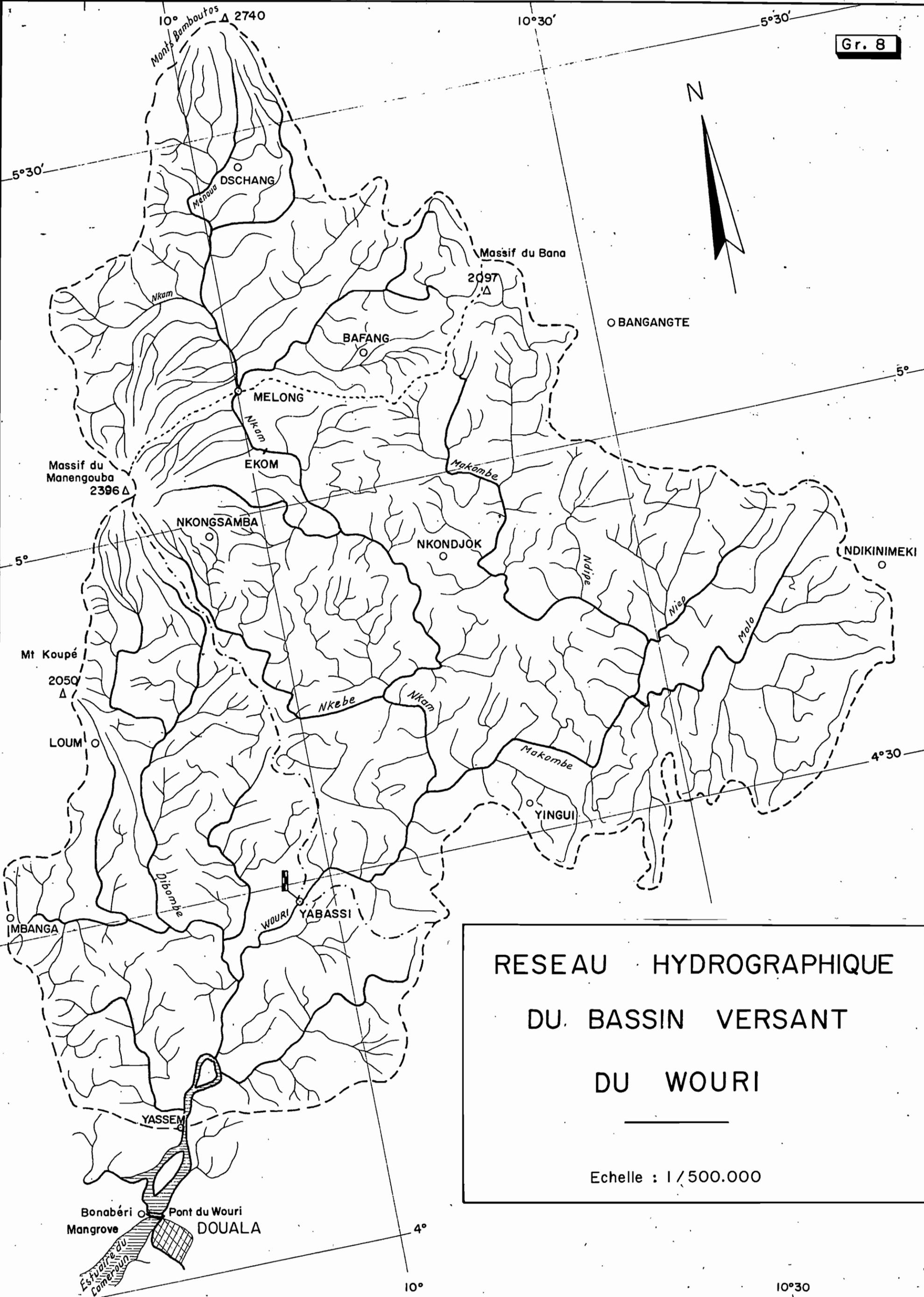
PROFILS LONGITUDINAUX
DU WOURI - NKAM ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS



PROFIL HYPOMETRIQUE
DU BASSIN VERSANT
DU WOURI A YABASSI



Gr. 7



RESEAU HYDROGRAPHIQUE
 DU BASSIN VERSANT
 DU WOURI

Echelle : 1/500.000

Les recouvrements volcaniques sont importants au Nord et à l'Ouest du bassin. Ils sont surtout constitués de basaltes aphyriques de la série noire inférieure (début du tertiaire), de quelques trachytes (série blanche moyenne) et de basaltes de la série noire supérieure (quaternaire) de Mbanga à Melong.

En aval de Yabassi, le bassin du Wouri a une couverture constituée par la série sédimentaire cotière du crétacé-inférieur au miopliocène en passant par l'éocène. Enfin signalons que l'ensemble de la région a été soumis à une tectonique cassante intense antérieure et contemporaine du volcanisme.

Les sols dérivés de ces roches sont évidemment très variés ; ce sont surtout : des sols ferrallitiques rouges dérivés de roche métamorphiques ou de basaltes et des sols bruns dérivés de basaltes.

La végétation du bassin du Wouri est essentiellement constituée par une forêt dense sempervirente atlantique de basse et moyenne altitude. Forêt ombrophile, elle est caractérisée par *Lophira alata* dans la zone littorale et de nombreuses espèces de légumineuses en moyenne altitude.

Elle est très dégradée dans la région de Yabassi (palmeraies) et de Mbanga à Nkongssamba (bananeraies et café robusta). Au dessus de 1 200 m dans le Nord et l'Ouest, on note des forêts clairsemées et des prairies de montagne ainsi que d'importantes zones de cultures (vivrières et café arabica).

2.1.4. Les stations hydrologiques

La station hydrologique de Yabassi contrôle un bassin versant de 8 250 km². Elle a pour coordonnées géographiques :

latitude : 4° 28' N

longitude : 9° 58' N

L'échelle limnimétrique a été installée le 26 janvier 1951 en rive droite du fleuve près du quai des Chargeurs réunis. Détruite, elle a été remplacée le 2 juillet 1959 sur un fer IPN d'un seul tenant de 0 à 6 mètres.

Les lectures d'échelle sont continues depuis 1951. Différents contrôles ont permis de vérifier la bonne qualité de l'ensemble des relevés limnimétriques. Seuls les mois de l'été 1961 ont des relevés visiblement erronés.

La station hydrologique de Melong sur le Nkam contrôle la partie septentrionale du bassin du Wouri sur une superficie de 2 277 km². Elle a pour coordonnées géographiques :

latitude : 5° 09' N

longitude : 10° 00' E

La station est à environ 700 m d'altitude. Elle a été installée le 23 janvier 1951 et se compose d'éléments d'échelles de 0 à 5 mètres. Les lectures sont régulières et de bonne qualité. L'intérêt de cette station dans la présente note est de montrer une bonne corrélation entre ses relevés et ceux de Yabassi et donc de confirmer la validité de ceux-ci.

2.1.5. Mesures de débit - Etalonnage

Quarante jaugeages ont été effectués sur le Wouri entre 1951 et 1974 entre 31 m³/s et 1 097 m³/s - (voir tableau II

Ces jaugeages ont permis d'établir la relation hauteur-débit et l'exploitation des observations de hauteurs d'eau.

Le graphique 9 montre les différentes courbes d'étalonnage du Wouri à Yabassi. En effet cette station est caractérisée par un tarage évolutif.

Celui-ci se traduit par une diminution des débits pour une même hauteur d'eau et le détarage est relativement important pour les mesures de basses eaux.

Les profondeurs de la section de mesure ont diminué depuis l'origine de nos observations. Quelques informations complémentaires expliquent ce détarage évolutif chronique. Le Wouri n'est actuellement plus navigable jusqu'à Yabassi alors qu'en 1950 le trafic des marchandises empruntant le fleuve était important. Ceci est dû à un alluvionnement important en aval de Yabassi. La crue annuelle du Wouri inonde chaque année de vastes zones de débordement qui n'étaient envahies que très exceptionnellement il y a 25 ans.

A un même débit correspond aujourd'hui une cote plus haute. Ceci montre une réduction du lit mineur dû justement à l'alluvionnement.

La construction du pont du Wouri à Douala est probablement responsable de ce phénomène. La digue centrale du pont aurait favorisé le dépôt d'alluvions en amont. Ceci aurait entraîné une diminution de la pente du bief aval de Yabassi, qui, si minime qu'elle ait pu être, aurait réduit les vitesses du courant provoquant l'alluvionnement des sédiments dont le dépôt s'effectuait antérieurement dans l'estuaire du Cameroun. A Yabassi, depuis l'origine des mesures on observe bien une réduction des vitesses moyennes du courant.

Les différentes courbes de tarage obtenues ont permis de traduire l'ensemble des observations journalières de hauteurs d'eau en débits journaliers, données de base qui vont nous permettre maintenant de préciser le régime hydrologique du tributaire principal de l'estuaire du Wouri.

WOURI à YABASSI

Gr. 9

Courbes de tarages

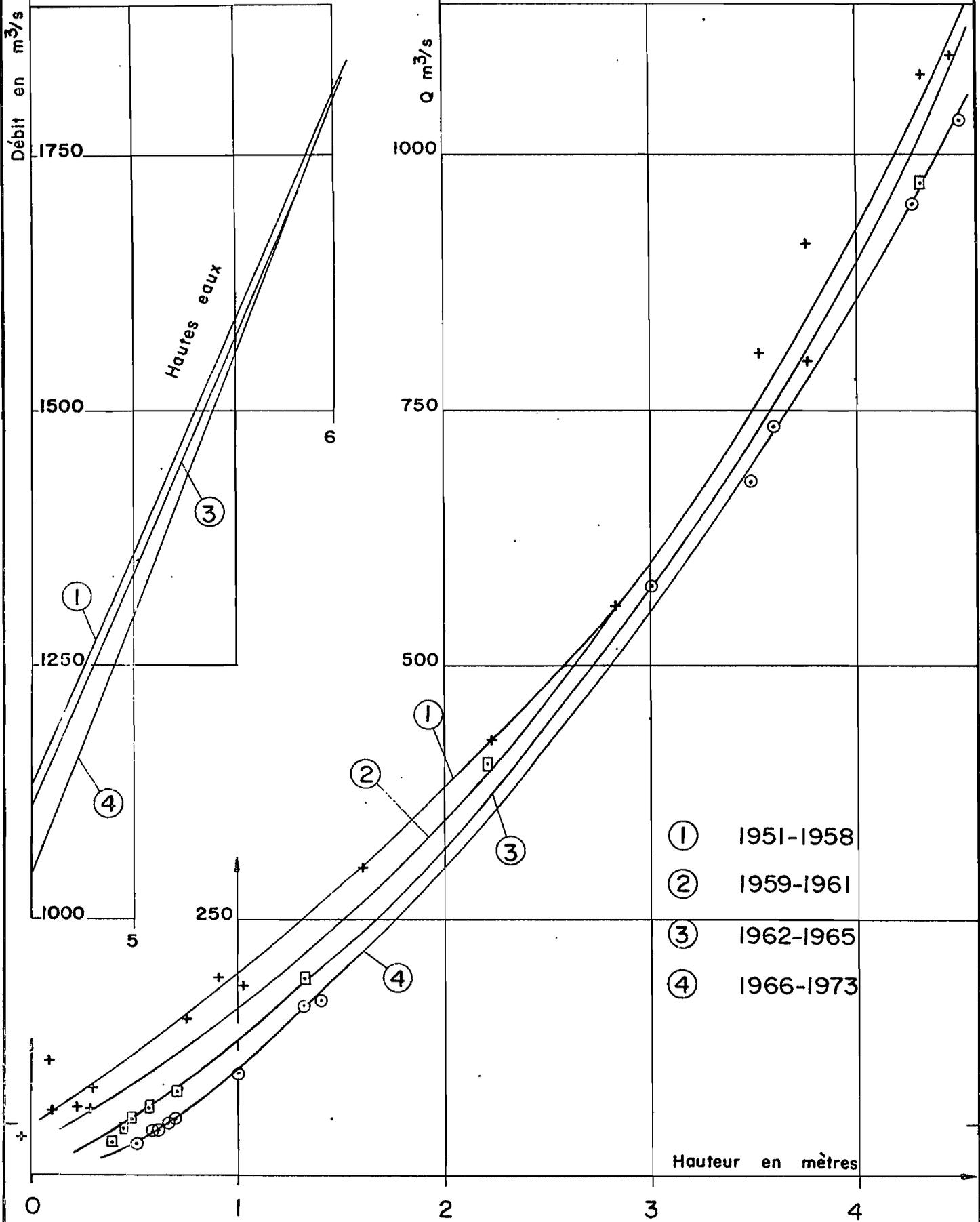


TABLEAU IILISTE DES JAUGEAGES

N°	Date	H. en cm	Q en m ³ /s
1	26. 1.51	19	113
2	2. 3.51	- 3	41
3	14.12.51	75	154
4	13. 1.53	28	86
5	3. 4.53	10	65
6	15.10.53	222	429
7	26.10.53	246	415
8	27.10.53	284	560
9	2. 6.55	90	197
10	31. 1.56	26	68
11	19. 6.56	158-153	303
12	12.12.56	102-101	188
13	11. 3.57	24	66
14	16.10.57	375-371	913
15	21.10.57	353-351	805
16	19. 9.58	454-436	1097
17	19. 9.58	375-370	797
18	17. 9.58	429-430	1078
19	15. 2.66	48	54
20	18. 1.67	72	79
21	22. 2.67	45	47
22	22. 3.67	39	39
23	19. 7.67	259	518
24	18.10.67	430-428	970
25	31. 1.68	62	67
26	26. 7.68	220	406
27	22. 4.69	133-131	195
28	10.12.69	141	171
29	27. 8.70	299-298	578
30	16. 9.70	347	680
31	23. 2.71	58	45
32	28. 8.71	358	732
33	3. 9.71	450-447	1030
34	15. 9.71	424-426	950
35	29.12.71	100	100
36	4. 2.72	70	60
37	17. 7.72	133	165
38	15. 2.73	60 ⁵	44,8
39	16. 3.73	66-65	51
40	13. 2.74	50	31

2.2. ETUDE DU REGIME HYDROLOGIQUE DU WOURI A YABASSI

2.2.1. Les données de base

Nous avons réuni dans le tableau III les valeurs des débits moyens mensuels et des débits moyens annuels ou modules de toute la période d'observation. Le tableau II donne les débits caractéristiques relevés pour chaque année : module, étiage absolu, débit caractéristique d'étiage, DCE, non dépassé pendant 10 jours, DC 11, débit caractéristique dépassé pendant 11 mois, DC1, débit caractéristique dépassé pendant 1 mois, débit caractéristique de crue DCC dépassé pendant 10 jours et le débit maximum de la crue annuelle.

Les graphiques 10 et 11 montrent les variations journalières des débits pour trois années : 1962 assez proche de l'année moyenne 1969 année forte et 1973 année exceptionnellement déficitaire, ainsi que les variations des débits moyens mensuels. De décembre à juin les débits sont faibles. La reprise de la pluviométrie en mars n'amène pas d'augmentation importante du débit. L'accroissement des débits augmente rapidement à partir de juin-juillet pour atteindre des maximums en août-septembre et octobre, liés aux maximums de la pluviométrie. Ce temps de latence entre la réponse du fleuve aux précipitations déjà importantes de mars-avril, mai-juin et ces dernières est dû à la reconstitution des réserves des nappes souterraines et du sol épuisées par le tarissement de la saison sèche.

L'examen de ces graphiques montre par ailleurs des fluctuations extrêmement rapides de la rivière. Du jour au lendemain on peut observer une augmentation de débit de plus de 1 000 m³/s. Des décrues du même ordre de grandeur, quoique moins rapides, n'excèdent pas deux ou trois jours.

TABLEAU III
DEBITS MOYENS MENSUELS DU
WOURI A YABASSI

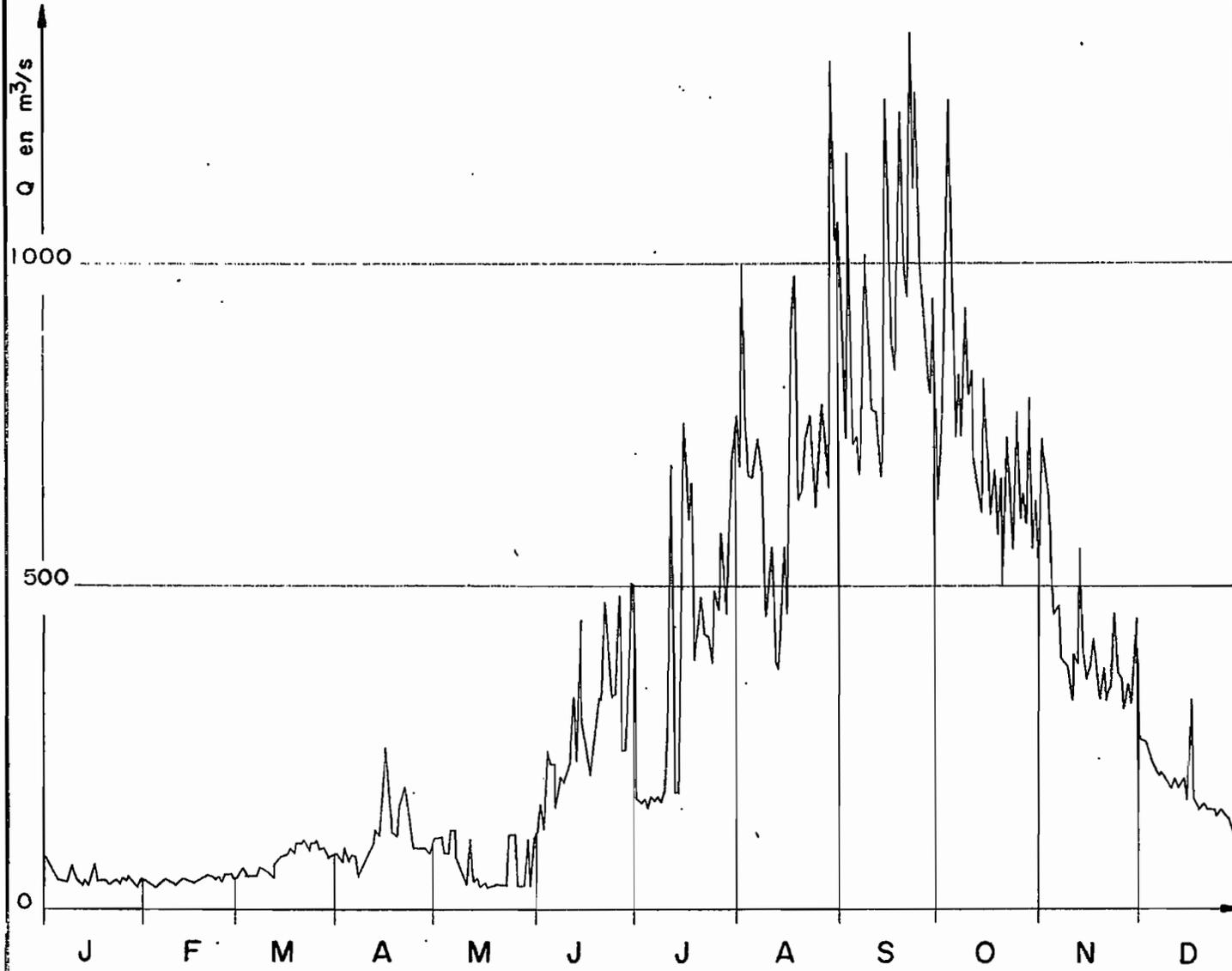
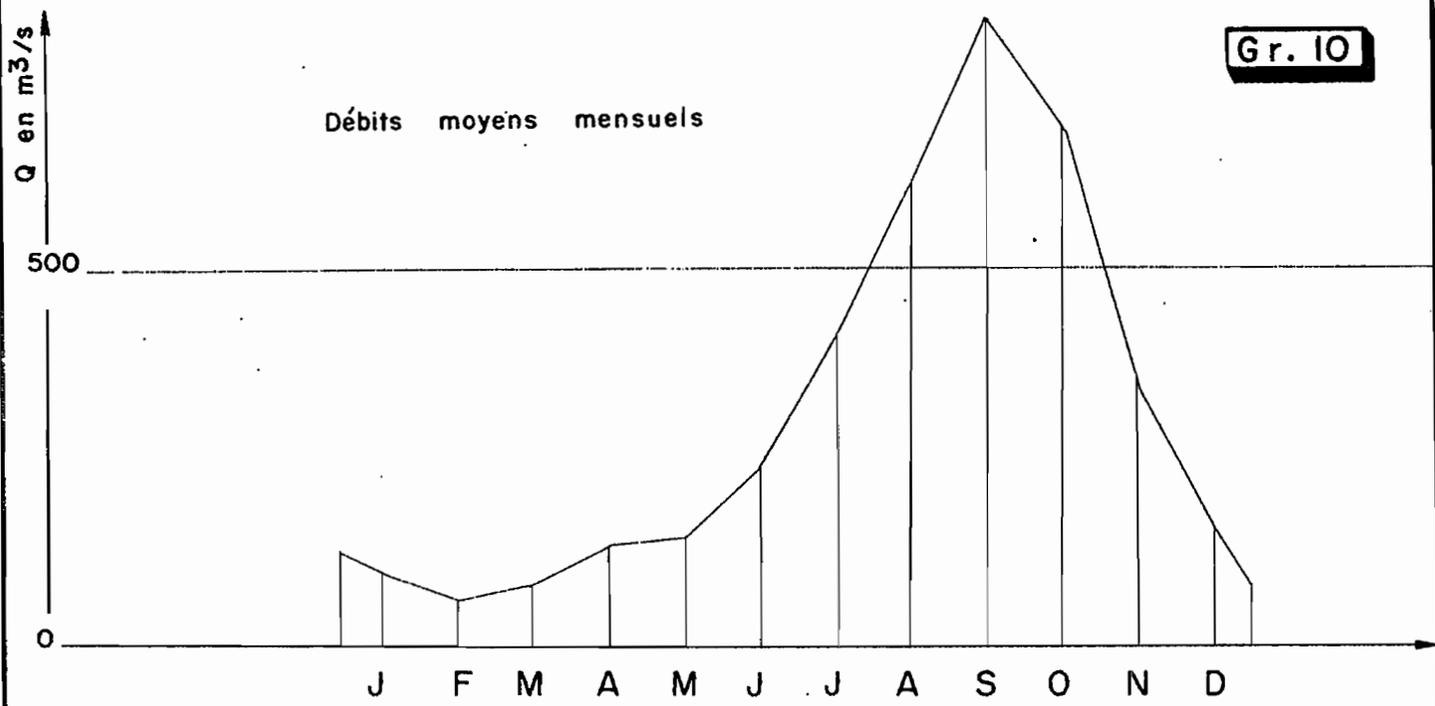
Année	Débits moyens mensuels en m ³ /s												Module m ³ /s
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1951	(80,0)	69,4	78,0	79,5	104	241	318	536	679	780	385	155	293
52	90,3	75,5	65,9	90,0	116	193	409	560	821	553	309	146	286
53	85,4	85,2	77,2	78,6	111	304	429	513	762	548	179	131	284
54	87,7	75,0	74,6	106	152	324	531	485	800	744	355	154	325
55	92,9	66,9	101	119	204	259	486	622	737	778	410	178	339
56	108	78,2	133	148	148	232	474	575	952	790	391	198	353
57	126	83,1	95,6	150	-	354	549	705	883	800	401	236	-
58	137	73,6	74,4	145	178	299	326	495	963	642	323	162	319
59	90,9	53,1	65,2	92,6	150	207	408	541	973	689	378	162	318
1960	104	59,1	60,9	105	177	189	439	828	810	636	377	166	330
61	101	62,8	57,4	107	107	272	(378)	(424)	(828)	(716)	151	(280) [⊗]	
62	48,1	44,7	77,9	110	67,6	292	412	703	920	722	417	183	334
63	96,1	72,3	61,5	91,9	132	120	366	457	673	549	269	129	252
64	78,0	54,9	64,2	131	129	241	490	316	1065	854	455	170	337
65	103	79,9	75,6	116	153	216	374	672	935	750	272	114	323
66	68,5	49,3	54,6	106	224	275	392	662	726	646	341	136	308
67	73,5	53,3	47,8	56,3	73,4	178	408	902	833	794	355	144	328
68	88,4	52,5	71,1	73,1	126	296	394	690	826	535	268	138	297
69	82,8	65,7	105	132	215	254	526	893	917	775	412	162	380
1970	85,2	63,0	65,6	87,1	146	200	417	646	706	692	381	138	304
71	88,0	67,9	68,0	76,3	85,9	140	495	676	879	764	288	166	318
72	104	68,2	81,2	94,8	162	176	199	580	766	541	279	130	265
73	94,4	63,3	62,7	95,7	130	154	216	326	494	379	252	110	199
	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
Moy.	91,9	65,9	74,7	132	140	235	411	608	824	680	340	156	310
	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!

⊗ Les valeurs douteuses de 1961 ont été remplacées par celles obtenues à partir de la corrélation établie entre les débits mensuels du Wouri à Yabassi et du Nkam à Melong de juillet à octobre

$$Q_m \text{ Wouri} = 4,32 \quad x \quad Q_m \text{ Nkam} + 32$$

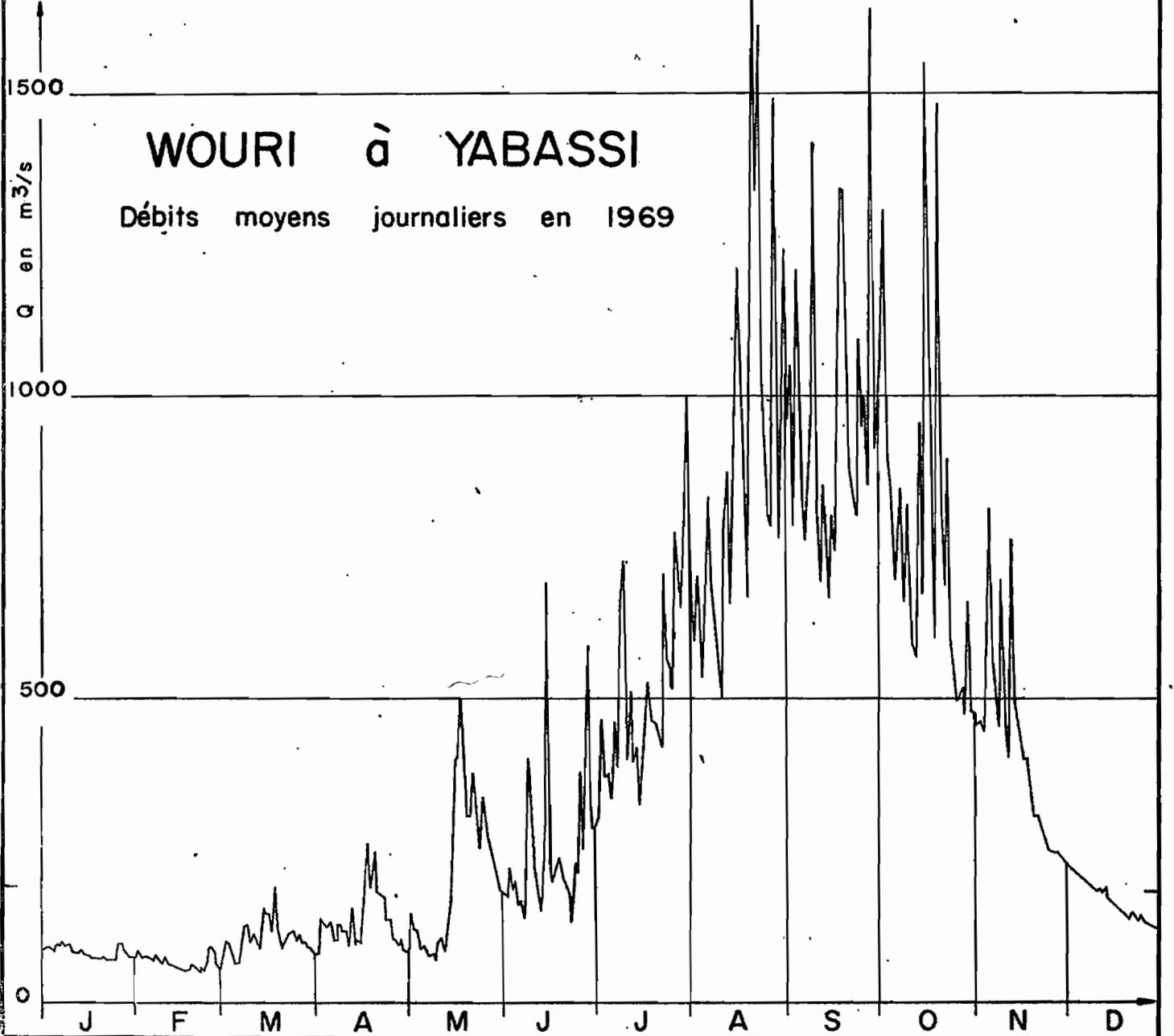
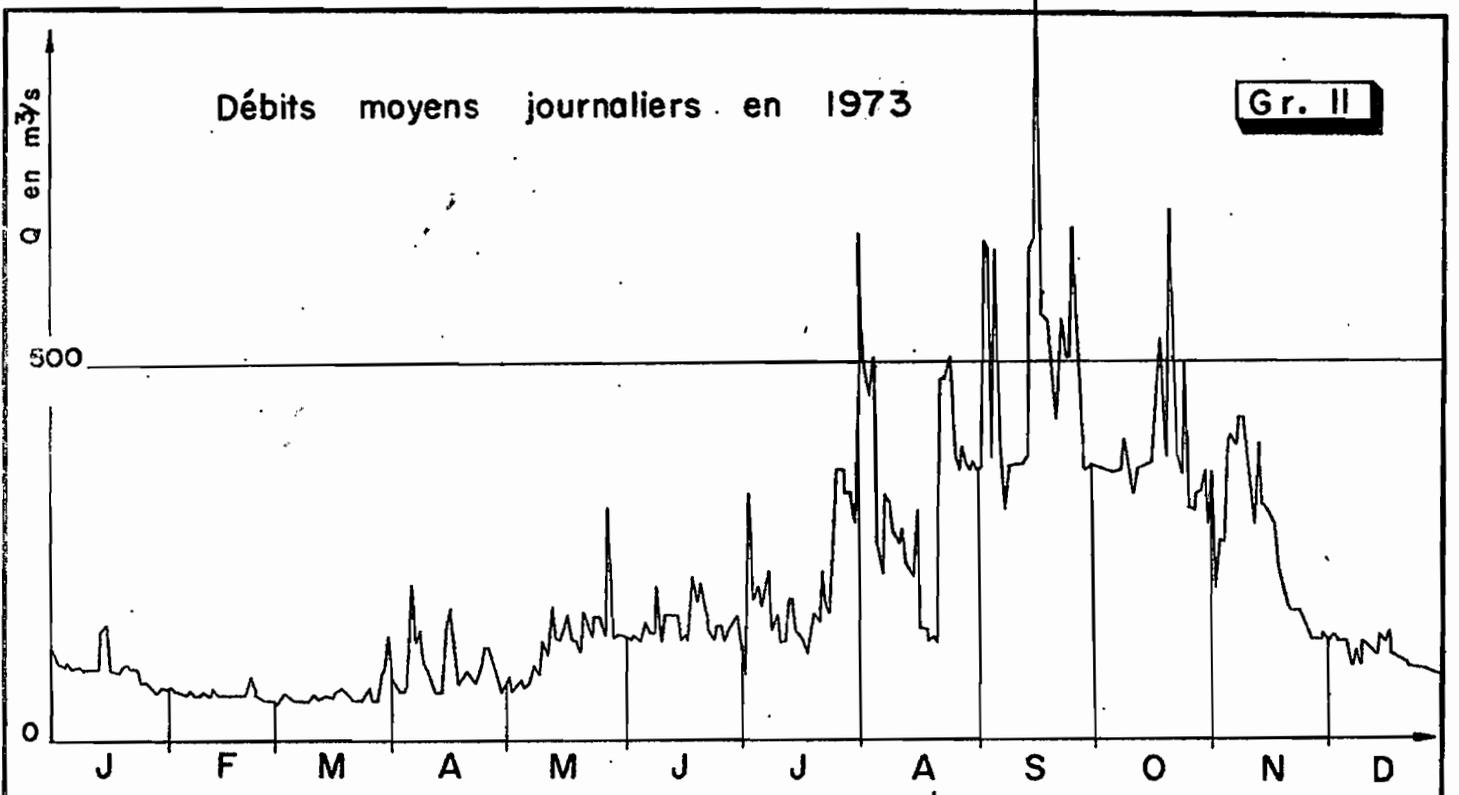
TABLEAU IV
DEBITS CARACTERISTIQUES DU
WOURI A YABASSI

Année	Module	Etiage absolu	DCE	DC 11	DC1	DCC	Crue max.
1951	293	47,0	51	67	755	975	1406
52	286	47,0	53	62	720	916	1135
53	284	54,0	60	64	675	898	1350
54	325	50,0	56	64	808	975	1329
55	339	55,0	56	73	780	935	1444
56	353	67,0	73	85	898	1221	1609
57	377	68,0	73	86	857	1178	1753
58	325	62,0	66	71	755	1135	1585
59	318	46,0	50	54	853	1035	1329
1960	330	49,0	54	58	755	1191	1825
61	(280)	47,0	50	56			
62	334	36,9	36,2	40,8	832	1065	1358
63	252	49,6	51,6	61,7	635	792	1250
64	337	41,7	48,7	51,6	944	1353	1770
65	326	53,6	60,6	76,7	815	1114	1669
66	308	33,0	41	51	747	876	1301
67	328	35,0	40	43	846	1143	1799
68	297	42,0	51	58	732	965	1375
69	380	52,0	58	73	920	1338	1651
1970	304	44,0	53	58	763	944	1153
71	318	52,0	58	64	863	1086	1550
72	265	44,0	62	65	699	876	1244
73	199	51,0	52	61	426	591	1007
Moyenne	310	49,0					1450



WOURI à YABASSI

Débits moyens journaliers en 1962



2.2.2. Etude des modules

2.2.2.1. Distribution statistique des modules

L'échantillon étudié comprend 21 valeurs (année 1957 incomplète - année 1961 douteuse).

Les modules ont été classés par ordre décroissant et affectés respectivement de leur fréquence expérimentale au dépassement calculée d'après la formule $f = \frac{n - \frac{1}{2}}{N}$ ou n est le rang de classement de chaque module et N le nombre de valeurs de l'échantillon.

L'examen du diagramme de distribution (graph. 12) montre que cette distribution des modules est hypogaussique, c'est à dire que l'on a pour les faibles et fortes probabilités des valeurs inférieures à fréquence égale aux valeurs données par la loi de Gauss.

Les valeurs extrêmes de l'échantillon sont observées en 1969 et en 1973.

Les paramètres de la loi de Gauss sont :

moyenne	:	310	m ³ /s
variance	:	1411	m ³ /s
écart-type:		37,5	m ³ /s

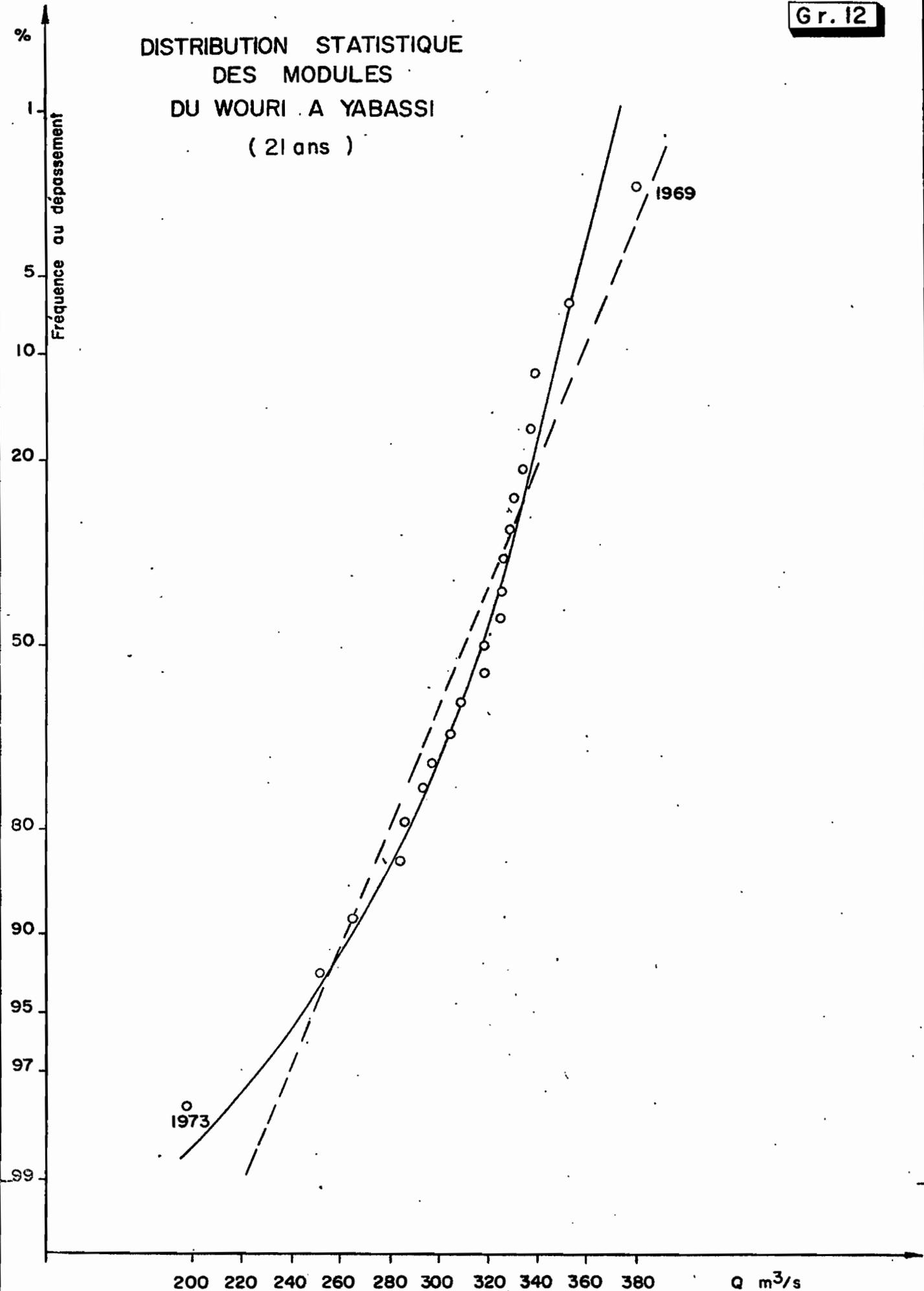
La détermination de l'intervalle de confiance à 95 % permet de situer la moyenne "vraie" des modules entre 294 et 326 m³/s.

La loi de Gauss (droite en diagramme gausso-arithmétique) est entièrement définie par ces paramètres.

Nous donnons ci-dessous quelques valeurs des modules correspondant à des périodes de recurrence rare.

Période de retour	Modules		
	Fréquence	Années sèches	Années humides
5 ans	quinquennale	280	341
10 ans	decennale	262	359
20 ans	vicennale	249	372

DISTRIBUTION STATISTIQUE
DES MODULES
DU WOURI A YABASSI
(21 ans)



Le coefficient d'irrégularité interannuelle K_3 , rapport des modules décennaux sec et humide est de 1,37.

Le coefficient de variation C_v , rapport de l'écart-type au module interannuel est de 0,121.

2.2.2.2. Variations de l'hydraulicité

L'hydraulicité d'une année donnée est définie comme le rapport du module de cette année au module interannuel. Lorsque le rapport est supérieur à 1, on a une année à forte hydraulicité.

Ainsi en 1969 l'hydraulicité est de 1,23
et en 1973 elle n'est que de 0,64

Dans le graphique 13 les valeurs des modules ont été reportées en fonction de leur année d'observation. Le dessin en "dents de scie" ne masque pas les variations cycliques de l'hydraulicité, toutefois mieux rendues par les variations des moyennes mobiles. Celles-ci ont été établies sur 5 ans. Chaque valeur de ces moyennes est portée sur le graphique au milieu de la période pour laquelle la moyenne a été calculée - (exemple : en 1953 pour la période de 1951-55) (1)

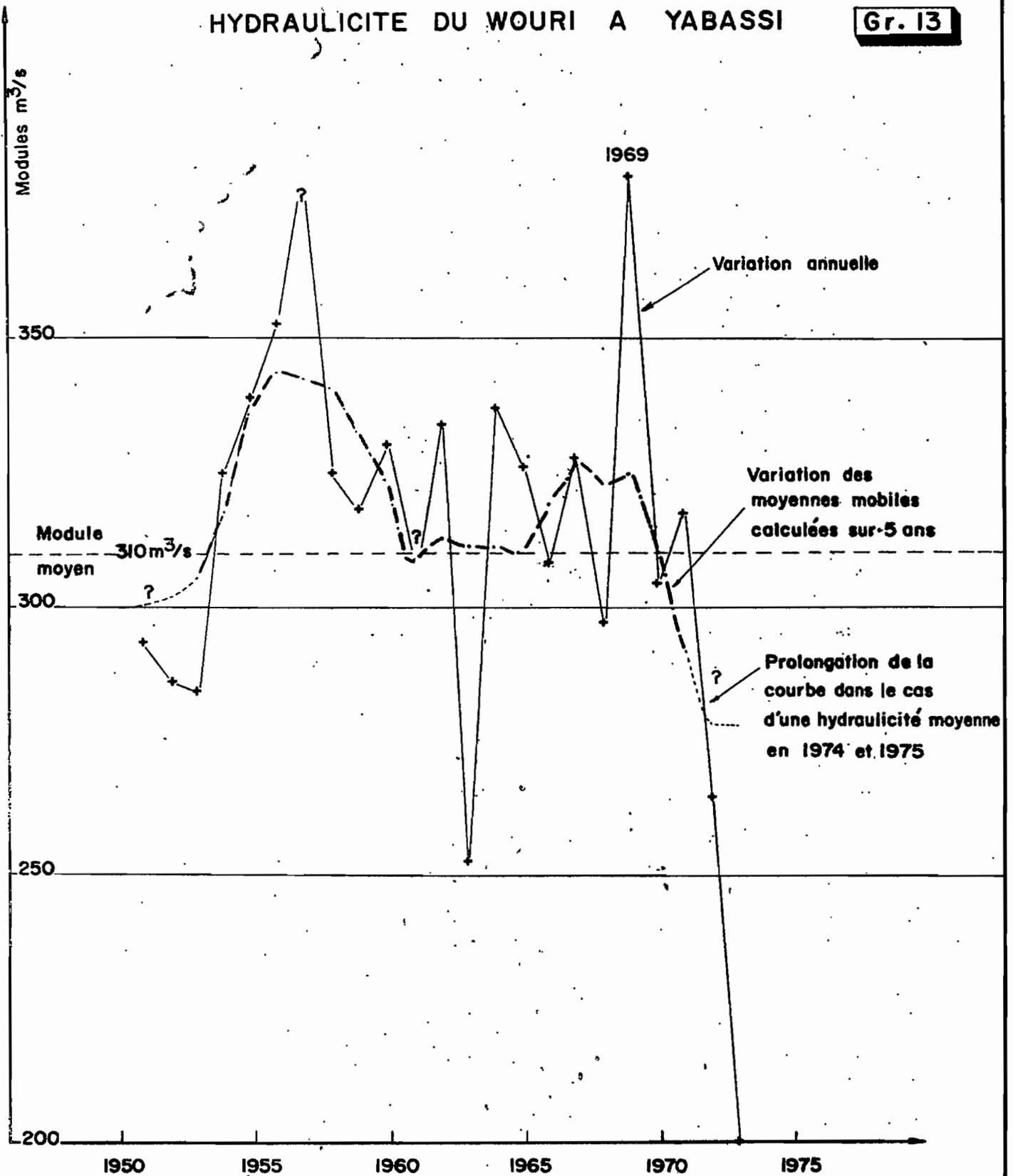
A l'examen de ce graphique, il apparaît que :

- le début des observations sur le Wouri marque la fin d'une série d'années à faible hydraulicité (0,92 à 0,95) jusqu'en 1953.
- les années 54-59 ont une hydraulicité forte (1,12)
- l'hydraulicité est en moyenne relativement faible sur la période 1960-1967 du fait de l'incidence de l'année 1963 (0,73)
- après une nouvelle période de forte hydraulicité marquée par l'année 1969 la chute de celle-ci est brutale avec les années déficitaires de 72 et 73.
- L'hydraulicité est minimale en 1953, 1963, 1973, maximale en 1957 et 1969.

(1) Les modules des années 57 et 61 ont été estimés pour permettre le calcul des moyennes mobiles.

HYDRAULICITE DU WOURI A YABASSI

Gr. 13



VARIATIONS DES MODULES ET DE LEURS
MOYENNES MOBILES ETABLIES SUR 5 ANS
POUR LA PERIODE
1951 - 1973

Il est délicat de distinguer dans ces variations l'aléatoire d'éventuels cycles hydrologiques. La comparaison avec l'hydraulicité d'autres bassins (Sanaga) permet cependant de retrouver sensiblement la même évolution au cours des deux dernières décennies et de justifier l'existence des variations cycliques observées. La faible hydraulicité des dernières années ressort d'un phénomène général à toute l'Afrique (sécheresse du sahel).

2.2.2.3. Module spécifique

Le module spécifique du Wouri est de 37,6 l/s/km², valeur forte liée à l'abondance des précipitations sur la région et difficilement comparable à celle de la Sanaga. La Sanaga à Edéa avec 16 l/s km², témoigne du régime hydrologique d'un grand bassin drainant une région soumise au climat tropical de transition, lequel n'intéresse que fort peu le bassin du Wouri. Les précipitations plus abondantes sur les bassins versants des fleuves côtiers voisins entraînent des modules spécifiques plus élevés que sur le Wouri à Yabassi.

Le coefficient d'écoulement du Wouri à Yabassi est en moyenne de 56 %, valeur représentative de ce type de régime hydrologique.

2.2.3. Etude des crues maximales annuelles (1)

2.2.3.1. Distribution statistique des maximums annuels

L'échantillon étudié comprend 22 valeurs.

Le graphique 14 montre que la distribution normale (loi de Gauss) semble la plus appropriée à l'échantillon compte-tenu de la dispersion des valeurs.

Les paramètres de la loi de Gauss sont

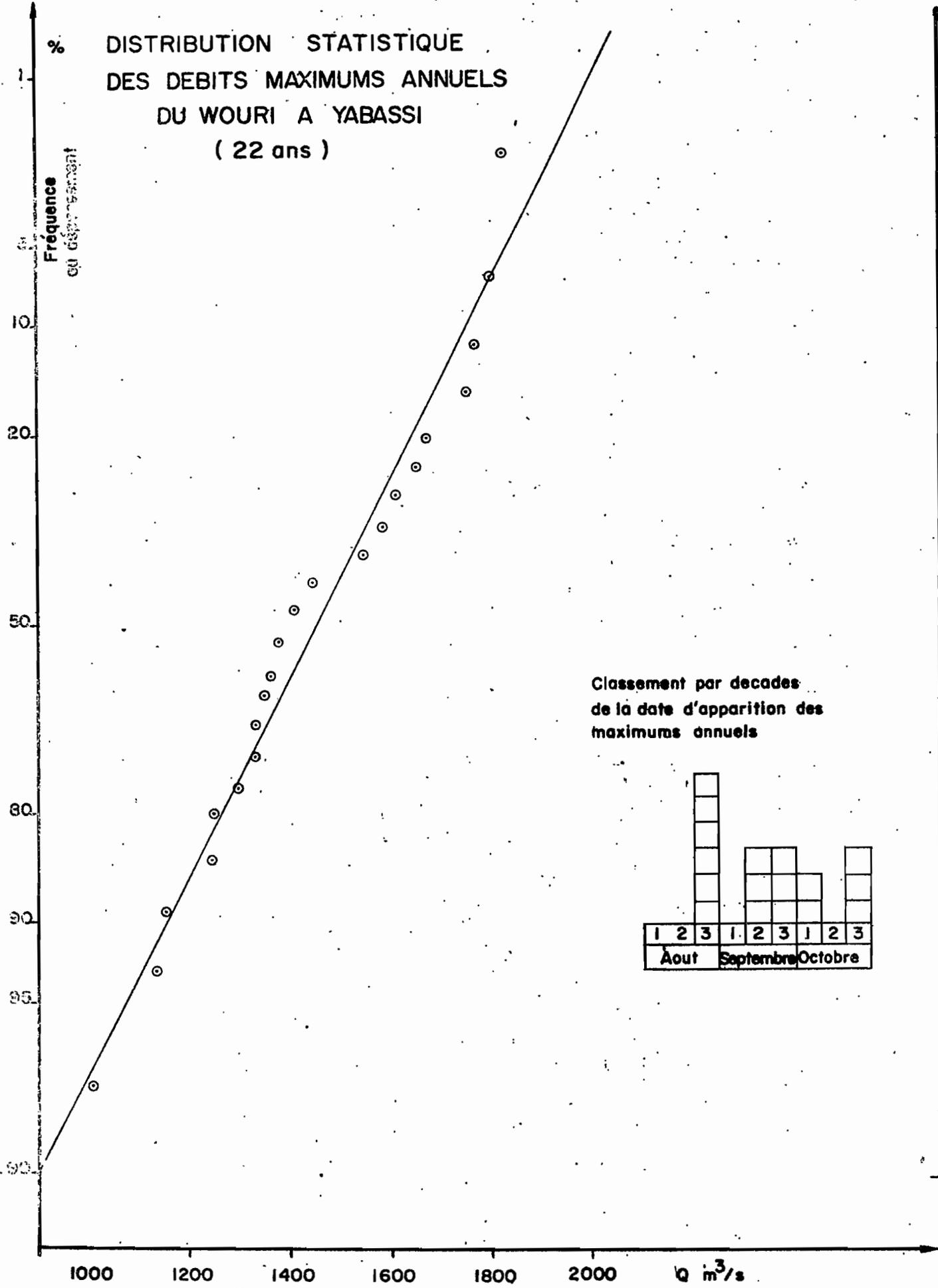
moyenne : 1450 m³/s

variance : 53 284 m³/s

écart-type : 234 m³/s

(1) Rappelons qu'une seule lecture de hauteur d'eau est effectuée chaque jour. La rapidité des variations de débit au cours d'une même journée en période de crue ne permet donc pas toujours de saisir le maximum absolu de la crue. De ce fait les résultats de cette étude ne sont qu'approchés et sous-estimés.

DISTRIBUTION STATISTIQUE
DES DEBITS MAXIMUMS ANNUELS
DU WOURI A YABASSI
(22 ans)



Classement par décades de la date d'apparition des maximums annuels

Aout			Septembre			Octobre		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Le coefficient de variation est de 0,162. La moyenne vraie dans l'intervalle de confiance à 95 % est de 1450 ± 106 m³/s. La droite obtenue en diagramme gaussio-arithmétique donne les valeurs suivantes :

pour la crue de fréquence	quinquennale	(5 ans)	1 640 m ³ /s
"	decennale	(10 ans)	1 760 m ³ /s
"	vicennale	(20 ans)	1 840 m ³ /s
"	centennale	(100 ans)	2 000 m ³ /s

Pour les années sèches, à la fréquence decennale correspond un maximum de 1 140 m³/s à la fréquence centennale un débit maximum de 900 m³/s. Le coefficient d'irrégularité interannuel K₃ est de 1,55.

2.2.3.2. Débits spécifiques de crue et dates d'apparition

Le débit spécifique maximum annuel moyen est de 176 l/s km². Le débit spécifique de la crue de fréquence decennale est de 213 l/s km².

Ces débits spécifiques sont très élevés pour un bassin de cette superficie. On n'observe que très rarement au Cameroun sur des bassins de superficie comparable des maximums de crue dépassant 100 l/s km². La morphologie du bassin du Wouri explique l'importance des crues, notamment par les fortes pentes de la partie amont du bassin favorisant le ruissellement. De plus, l'ampleur de la mousson au coeur de la saison des pluies entraîne simultanément des précipitations généralisées sur l'ensemble du bassin.

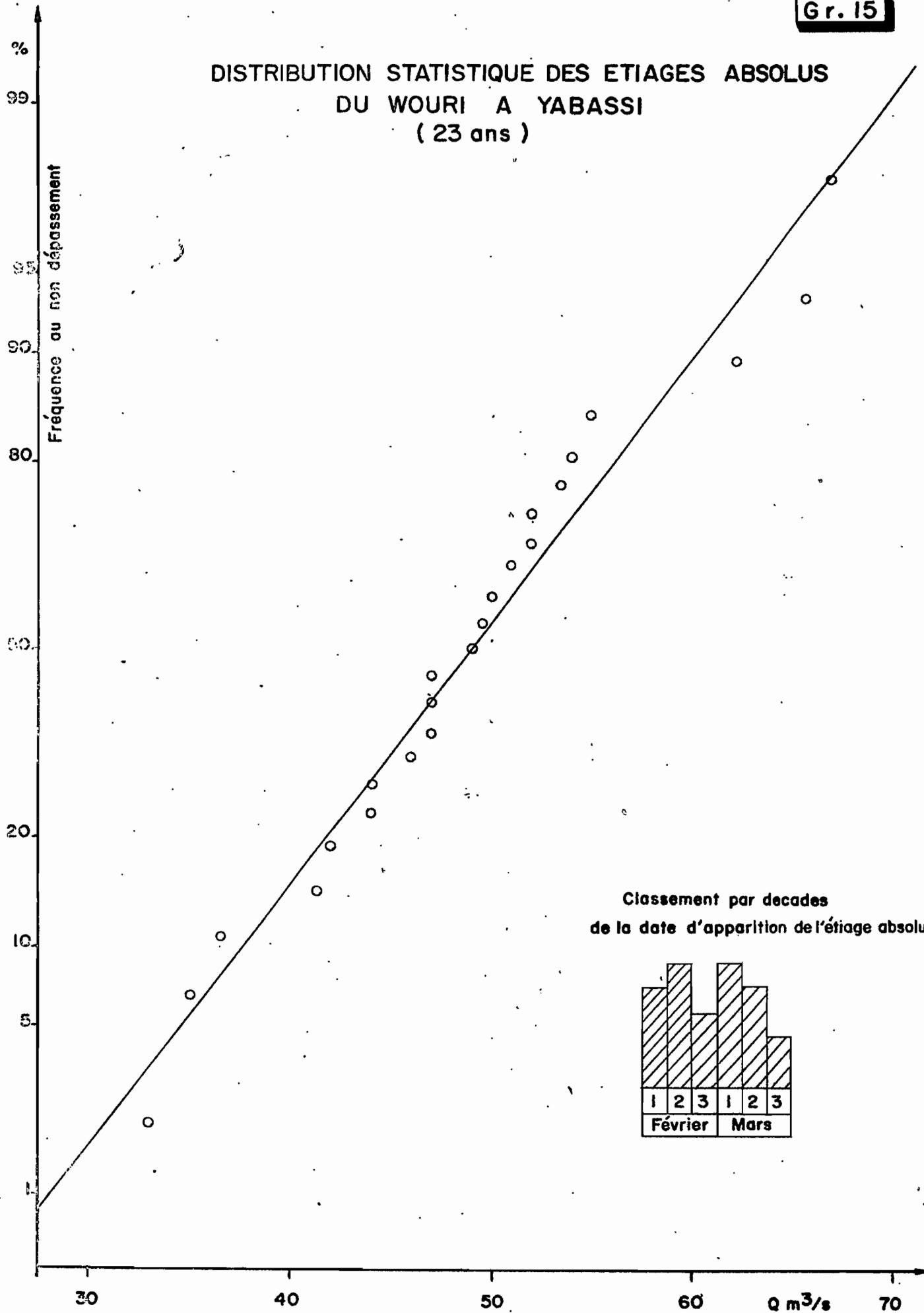
Cette réaction rapide du bassin à des épisodes pluvieux relativement courts explique la dispersion des dates d'apparition du maximum annuel de la 3^e décade d'août à la 3^e décade d'octobre.

2.2.4. Etude des étiages absolus et du tarissement

2.2.4.1. Distribution statistique des étiages absolus

La distribution statistique des étiages absolus du Wouri s'ordonne suivant une loi de Gauss sans dispersion notable des valeurs de l'échantillon. La loi de Galton, ou log-normale,

DISTRIBUTION STATISTIQUE DES ETIAGES ABSOLUS DU WOURI A YABASSI (23 ans)



qui amène généralement un meilleur ajustement des valeurs des étiages absolus, n'améliore pas sensiblement la répartition de l'échantillon du Wouri - Sur 23 valeurs (voir graph. 15).

la moyenne	est de	49,0	m ³ /s
l'écart-type		8,82	m ³ /s
la variance	de	77,8	m ³ /s

Le coefficient de variation est de 0,180

La droite de Gauss ainsi obtenus donne pour les années sèches de fréquence quinquennale (5 ans)	un débit de	41,8	m ³ /s
decennale (10 ans)		37,6	m ³ /s
vicennale (20 ans)		34,6	m ³ /s
centennale (100 ans)		28,2	m ³ /s

L'étiage decennal humide est de	60,3	m ³ /s
et l'étiage centennal humide est de	70	m ³ /s
le coefficient d'irrégularité K ₃ est de	1,60.	

2.2.4.2. Débits spécifiques et date d'apparition des étiages absolus

Le débit spécifique de l'étiage absolu moyen est de 5,9 l/s km². Ce débit est relativement fort. Sur le bassin de la Sanaga l'étiage absolu spécifique est en moyenne de 1,5 à 3 l/s km². Nos études sur la Dibamba donnent pour l'étiage absolu moyen, un débit spécifique de 3,2 l/s km². Pour le Mungo il est de 10 l/s km².

Les trois fleuves cotiers tributaires du Wouri montrent une gradation de l'étiage absolu liée à la couverture géologique de leurs bassins versants. La Dibamba draine uniquement des terrains du socle cristallin. Le Wouri draine une partie importante de son bassin constituée de recouvrements volcaniques. Le bassin du Mungo est constitué pour la majeure partie de terrains volcaniques.

On note sur le Wouri à Yabassi deux périodes pour lesquelles la probabilité d'apparition des étiages absolus est la plus forte. Ce sont les 1^{er} et 2^o décades de février et les 1^{er} et 2^o décades de mars. Cette dispersion s'explique par le comportement différent des deux branches majeures du Wouri : le Nkam et la Makombe. Le Nkam a des étiages généralement plus prolongés que la Makombé dont le bassin est plus méridional. Le démarrage

plus ou moins tardif de la saison des pluies joue un rôle prédominant pour le bassin de la Makombé et détermine la date d'apparition de l'étiage absolu.

L'étiage absolu ne correspond presque jamais à un débit de tarissement pur ; des pluies sont fréquemment observées en décembre, comme en janvier.

2.2.4.3. Le tarissement

On sait que les débits de basses eaux en l'absence de précipitations sont fournis par la vidange des nappes souterraines du bassin versant. Le tarissement de ces nappes suit une loi exponentielle.

$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$ dans laquelle Q est le débit observé à une date donnée, Q_0 , le débit initial de tarissement, t le temps écoulé en jours depuis l'observation du débit initial et α est un coefficient qui dépend des caractéristiques géométriques des nappes du bassin.

Sur le Wouri à Yabassi, le tarissement s'observe en décembre et en janvier avec toutefois de fréquentes perturbations dûes aux précipitations reçues par le bassin versant au cours de ces mois de saison sèche. De ce fait, il est souvent délicat d'interpréter les courbes de variations des débits dans le sens d'une décroissance exponentielle de leurs valeurs.

Pour chaque période d'étiage, dans la mesure où les perturbations dûes aux précipitations ne sont pas trop importantes, on observe deux lois de tarissement.

La première s'applique au début de l'étiage jusqu'à la fin décembre, début janvier et a pour coefficient de tarissement une valeur moyenne de 2,1 à 2,2 10^{-2}

La seconde loi met en évidence un tarissement moins rapide avec des valeurs du coefficient de l'ordre de 1,2 à 1,4 10^{-2} .

Le tarissement de début de saison sèche est comparable à celui que l'on observe sur le bassin de la Sanaga. Le second tarissement plus lent est probablement dû à l'importance des réserves dans les zones volcaniques de la partie occidentale du bassin.

2.2.5. Etude du bilan hydrologique

2.2.5.1. Bilan annuel

Rappelons que l'équation du bilan hydrologique s'écrit :

$$P = H_e + E_r + R_1 - R_2$$

dans laquelle tous les termes sont rapportés à la superficie du bassin et s'expriment en millimètres.

P est la hauteur moyenne des précipitations annuelles reçues par le bassin.

H_e est la lame d'eau annuelle écoulée mesurée à l'estuaire.

E_r est l'évapotranspiration réelle moyenne annuelle.

R_1 est la mise en réserves dans les nappes au cours de l'année.

R_2 est la restitution de ces réserves en période de tarissement dans l'écoulement de surface et est donc comprise dans H_e .

Le déficit d'écoulement D_e est la différence entre la pluviométrie et la lame d'eau écoulée $D_e = P - H_e$ ou $D_e = E_r + R_1 - R_2$

R_1 et R_2 sont des valeurs généralement voisines et pour un bilan interannuel obtenu à partir d'un grand nombre d'années d'observations $R_1 - R_2 = 0$.

Le déficit d'écoulement représente donc la seule évapotranspiration réelle de bassin.

La hauteur interannuelle des précipitations, obtenue par planimétrie de la carte isohyète est de 2 150 mm pour le bassin du Wouri à Yabassi.

La lame écoulée interannuelle à la station de Yabassi est de 1 204 mm.

Le déficit d'écoulement assimilable à l'évapotranspiration réelle du bassin est

$$2\ 150 - 1\ 204 = 946\ \text{mm}$$

Les variations interannuelles de l'évapotranspiration réelle sont beaucoup moins importantes que celles de la pluviométrie et de la lame d'eau écoulée. En effet, l'évapotranspiration réelle varie en fonction de la température moyenne, de l'humidité relative, valeurs relativement stables d'une année à l'autre, et de l'insolation dont les variations sont plus faibles que celles de la pluviométrie (la nébulosité n'étant pas pour autant une indication de fortes précipitations). Cette valeur de 946 mm est relativement faible. Si l'ensemble du bassin se trouvait en dessous de la cote 300, l'ET réelle serait probablement de l'ordre de 1 100 mm. L'influence de l'altitude est sensible pour l'ensemble des tributaires du Wouri.

2.2.5.2. Bilan mois par mois

L'étude du bilan mensuel apporte des renseignements précieux sur le comportement hydrologique du bassin versant en regard des précipitations reçues chaque mois pour l'année moyenne.

La répartition mensuelle des précipitations a été obtenue à partir des valeurs moyennes observées aux stations de Yabassi, Dschang, Yingui, Nkongssamba, Ndikinimeki, Bangangté et Nkondjok. Les débits moyens mensuels du Wouri à Yabassi ont été transformés en lames d'eau écoulées exprimées en mm (He). Le déficit d'écoulement (De) est obtenu par différence. $De = P - He$. Notons tout de suite que les lames d'eau écoulées sont plus fortes en novembre, décembre, janvier que les lames d'eau précipitées et que le déficit d'écoulement devient un excédent d'écoulement. Les différentes valeurs de ces paramètres ont été reportées dans le tableau V

Nous avons vu que le déficit d'écoulement représentait sur l'année moyenne l'évapotranspiration réelle du bassin versant. A l'échelle du mois, il n'en est plus de même, on doit y ajouter ou retrancher la mise en réserve dans les nappes souterraines ou la restitution de celles-ci dans l'écoulement de surface. L'intérêt du bilan mois par mois est de permettre l'estimation de ces paramètres et de suivre leur évolution au cours de l'année.

L'évapotranspiration réelle mensuelle a été obtenue à partir des valeurs de l'évapotranspiration potentielle mensuelle calculée suivant la formule de L. Turc.

$$ETP = \left(\left(I_{ga} \left(0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right) \right) + 50 \right) 0,40 \times \frac{t}{t + 15}$$

dans laquelle : I_{ga} est l'énergie de la radiation solaire qui atteindrait le sol en l'absence d'atmosphère dépendant de la latitude du lieu et fournie par les tables de ANGOT ;

h est la durée d'insolation mesurée à l'héliographe

H la durée astronomique du jour (donnée par des tables)

t la température moyenne mensuelle en ° C.

L'humidité relative mensuelle moyenne étant toujours supérieure à 50 % à Douala il n'y a pas lieu d'introduire de terme correctif. La station de Douala paraît bien représentative du bassin avec des valeurs moyennes intermédiaires entre celles du haut bassin et celles de la région forestière de l'aval.

Les calculs de l'ET potentielle effectués par L. LEMOINE et J.C. PRAT pour Douala donnent les résultats suivants exprimés en mm. (voir remarque en fin de chapitre).

M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
129	125	116	90	68	67	81	102	111	108	122	123	1242

Le principe de l'estimation de l'ET réelle veut que celle-ci soit égale à l'ET potentielle pour les mois où la demande est assurée par l'importance de la pluviométrie, et à la pluviométrie pour les mois de saison sèche. Pour le mois de mars (passage de la saison sèche à la saison des pluies), on doit prendre en compte la lame d'eau écoulée provenant du tarissement. Celle-ci est facilement déterminée en portant en graphique semi-log les valeurs de décembre, janvier, février (tarissement pur) et en prolongeant en mars la droite obtenue. La lame d'eau provenant du tarissement est de 12 mm sur les 24 mm écoulées en mars; 12 mm proviennent donc de l'écoulement des pluies et l'évapotranspiration réelle est de $133 - 12 = 121$ mm.

En novembre (passage de la saison des pluies à la saison sèche), nous avons estimé l'écoulement dû aux précipitations du mois à 20 mm, ce qui ramène l'ET réelle à 81 mm, tandis qu'en décembre l'ET réelle est supérieure à la pluviométrie par évapotranspiration d'une tranche supérieure d'humidité de l'ordre de 20 mm. en plus des 17 mm totalement évaporés.

Le tableau ci-dessous indique en mm les valeurs mensuelles de P, He et ET r ainsi que la mise en réserves R1 et la restitution des réserves R2, pour l'année hydrologique interannuelle.

TABLEAU V

DIFFERENTS TERMES DU BILAN MOIS PAR MOIS DU WOURI A YABASSI

	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
P	133	190	203	226	259	304	358	301	101	17	19	39	2150
He	24	41	46	76	133	197	259	221	107	53	30	19	1204
De	109	149	157	152	126	107	99	80	-6	-36	-11	20	946
Er	121	125	116	90	68	67	81	102	81	37	19	39	946
R1		24	41	62	58	40	18						243
R2	12							22	87	73	30	19	243

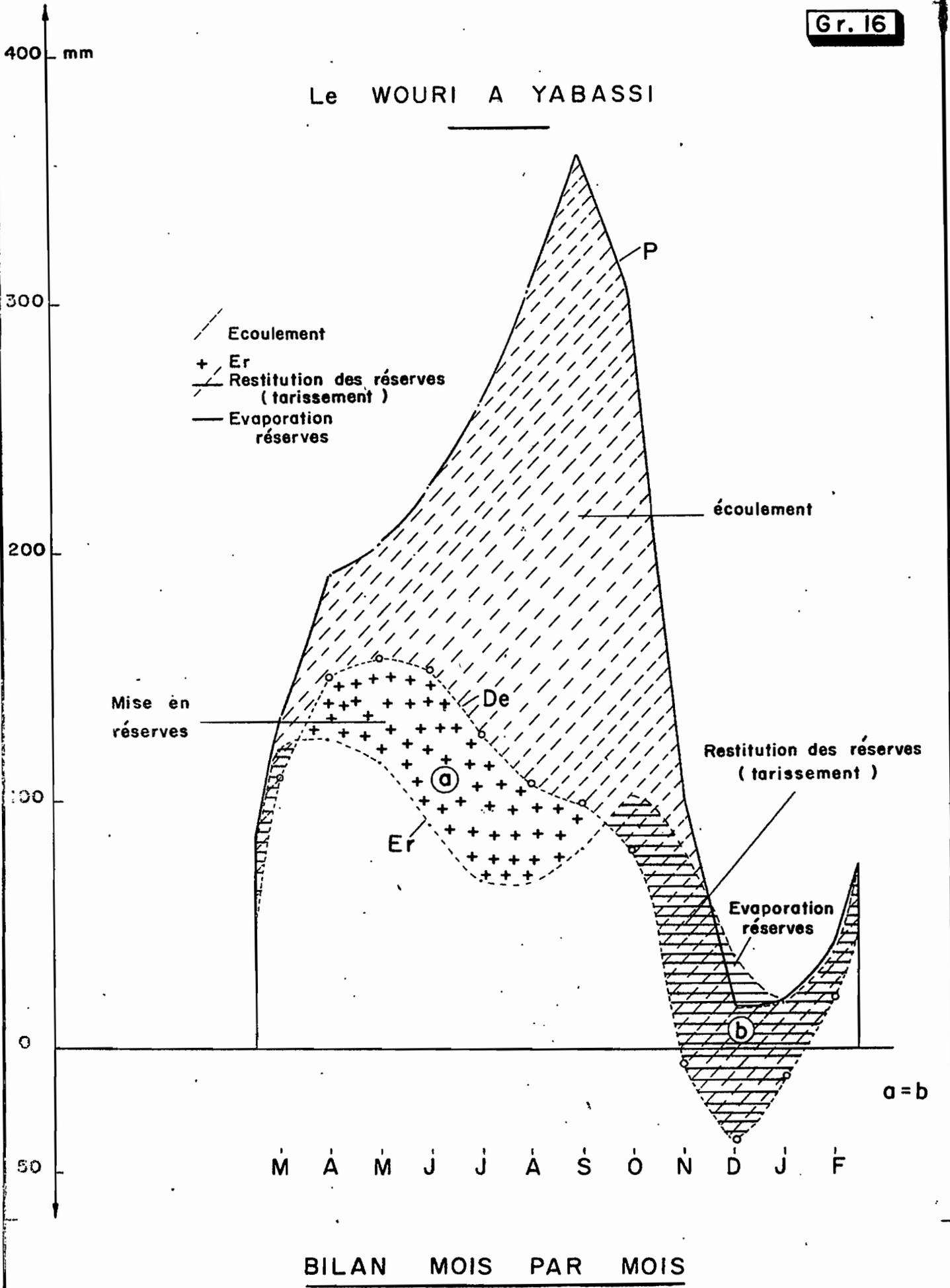
Le graphique 16 illustre les variations mensuelles des termes du bilan. Le déficit d'écoulement est maximal en mai, tandis que l'ETP réelle montre un premier maximum en avril et un second maximum plus faible en octobre. La mise en réserve est maximale en juin, tandis que la restitution des réserves est la plus forte en novembre. Le rapport P/R1 augmente beaucoup de juin à juillet, ce qui explique la forme de l'hydrogramme annuel qui accuse en juillet une rapide montée des eaux avec la saison des hautes eaux de juillet à octobre.

REMARQUE

Le choix de la station de Douala comme station représentative de l'évapotranspiration potentielle peut surprendre. L'ETP devrait être plus faible en altitude du fait des températures plus basses, plus faible également sur la mangrove du fait d'humidités plus élevées. Pour la mangrove, l'absence de mesures d'humidité ne permet pas de trancher. Pour les régions d'altitude, par contre, à des températures plus faibles correspondent aussi dans l'ouest des humidités moins élevées, un ensoleillement plus important, et nos mesures hydrologiques en pays bamileké ont montré que l'ETP du plateau (1 500 m) était à peine inférieure à celle de Douala. Il est probable donc que les valeurs de l'ETP de Douala soient représentatives de celles du bassin du Wouri. Rappelons aussi que ce choix nous était pratiquement imposé par la formulation de l'ETP par L. Turc (les mesures d'insolation ne sont effectuées qu'à Douala).

Enfin l'utilisation des résultats de cette formule, confirmée empiriquement pour un grand nombre de stations, a permis l'évaluation mensuelle de l'ET réelle, étant toutefois précisé que celle-ci correspondait sur l'année moyenne au déficit d'écoulement.

Le WOURI A YABASSI



3. ESTIMATION DES APPORTS ANNUELS DANS L'ESTUAIRE DU WOURI

3.1. BILAN DES APPORTS ANNUELS DANS L'ESTUAIRE DU WOURI

La valeur de l'évapotranspiration réelle, déterminée pour le bassin du Wouri à Yabassi, paraît représentative de l'ensemble des bassins tributaires de l'estuaire du Wouri.

Une extension des résultats obtenus semble donc possible. Le planimétrage des différents bassins des cartes isohyètes donne la hauteur interannuelle des précipitations, d'où l'on déduit la lame écoulée en mm de chaque bassin.

$$He = P - 950 \text{ mm.}$$

Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous

	BV WOURI DOUALA	BV MUNGO TIKO	BV DIBAMBA	Total
S km2	11 700	4 400	2 400	18 500
P mm	2 350	3 100	2 660	
Er mm	950	950	950	
He mm	1 400	2 150	1 710	
Volume écoulé (milliards m ³)	16,4	9,46	4,10	30

En admettant que l'évapotranspiration réelle interannuelle puisse varier entre 900 et 1 000 mm ; le volume total des apports interannuels dans l'estuaire du Wouri serait compris entre 31 et 29 milliards de m³.

La répartition mensuelle de ce volume interannuel peut, sans risques de grosses erreurs, être obtenu à partir de celle observée pour le Wouri à Yabassi.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous cette répartition mensuelle moyenne des apports de l'estuaire du Wouri exprimés en milliards de m³ sur l'année hydrologique.

mois	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
V 10 ⁹ m ³	0,60	1,02	1,15	1,84	3,31	4,91	6,45	5,51	2,67	1,32	0,75	0,47	30,0

Compte tenu de l'imprécision relative de ces résultats nous n'avons pas pris en compte les apports modestes provenant des torrents du Mont Cameroun dont les bassins versants ne couvrent qu'une superficie peu importante.

Le débit spécifique interannuel de l'ensemble des tributaires de l'estuaire du Wouri serait de 51,4 l/s km².

L'ensemble de l'estuaire et de la mangrove du Wouri couvre environ une superficie de 1 200 km² et reçoit environ 4000 - 4500 mm de précipitations interannuelles. L'évapotranspiration réelle correspond ici à celle de l'ETP calculée suivant la formule de L. TURC soit 1 242 mm.

L'apport net dû aux précipitations est donc de 3 300 mm et porte sur un volume d'environ 4 milliards de m³ dont la répartition mensuelle est calquée sur celle des précipitations de Douala (1).

	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
en 10 ⁶ m ³	214	235	329	480	687	740	612	373	143	51	55	81	4000

La répartition mensuelle des apports en eau douce sur la mangrove est donc :

	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
10 ⁶ m ³	814	1255	1479	2320	3997	5650	7062	5883	2813	1371	805	551	34000

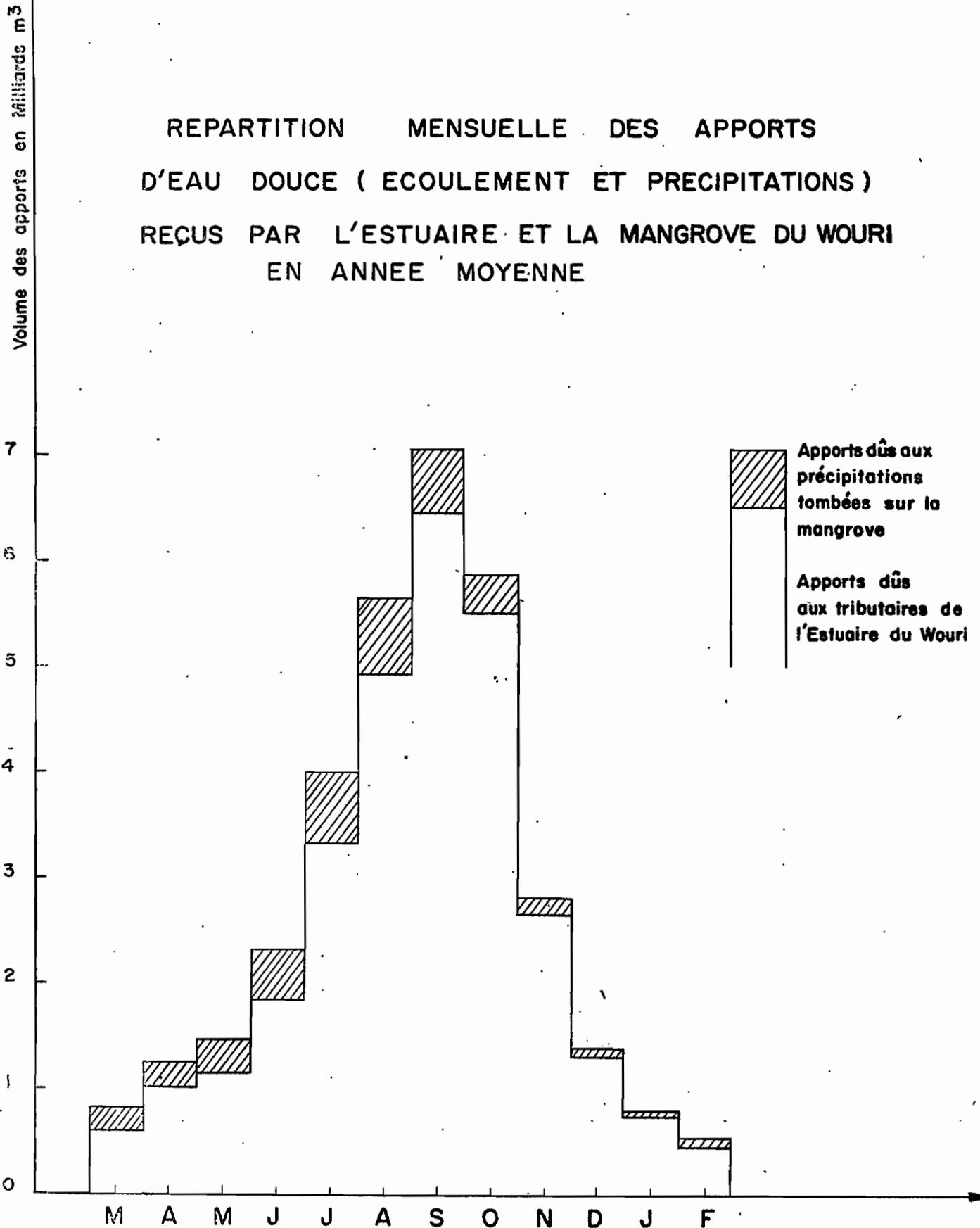
En année moyenne les apports en eau douce totalisent donc 34 milliards de m³ (graph. 17).

3.2. IRREGULARITE INTERANNUELLE DES APPORTS

Le coefficient d'irrégularité interannuelle des modules ou précipitations est traduit par le rapport de la valeur de fréquence decennale humide à la valeur de fréquence decennale sèche (K3).

(1) Nous avons préféré nous baser sur l'histogramme de Douala plutôt que sur celui de Manoka établi sur 11 années seulement.

REPARTITION MENSUELLE DES APPORTS
 D'EAU DOUCE (ECOULEMENT ET PRECIPITATIONS)
 REÇUS PAR L'ESTUAIRE ET LA MANGROVE DU WOURI
 EN ANNEE MOYENNE



Ce rapport K_3 est de l'ordre de 1,5 pour les modules des bassins tributaires du Wouri. Ceci signifie que le volume annuel des apports provenant de l'écoulement des fleuves se jetant dans l'estuaire du Wouri sera de 24 milliards de m^3 en année décennale sèche et de 36 milliards de m^3 en année décennale humide.

Le rapport des précipitations décennales sèche et humide de Douala est de 1,33. Le volume net disponible dû aux précipitations sur la mangrove et l'estuaire après évaporation sera de 3,4 milliards de m^3 en année décennale sèche de 4,6 milliards de m^3 en année décennale humide.

3.3. IRREGULARITE ANNUELLE DES APPORTS

La répartition mensuelle des apports hydriques dans l'estuaire du Wouri a déjà été évoquée. L'estimation des débits minimum et maximum est assez délicate au stade actuel de nos études. Les étiages et les crues des trois fleuves principaux tributaires du Wouri ne sont pas observés simultanément. De ce fait aucune étude précise n'est possible en l'absence d'un échantillon complet d'observations sur les trois fleuves.

Pour les étiages absolus, nos travaux indiquent un étiage moyen de 49 m^3/s pour le Wouri, 44 m^3/s pour le Mungo à Tiko et de 7 m^3/s pour la Dibamba, soit un minimum de 100 m^3/s en année moyenne pour des étiages simultanés. L'étiage décennal sec pourrait être de 80 m^3/s . En ce qui concerne les crues, l'occurrence d'une simultanéité des maximums annuels sur les 3 fleuves est faible. Il est probable cependant que l'on puisse observer un débit global de plus de 3 000 m^3/s . La période de recurrence d'un tel événement ne peut toutefois être précisée.

3.4. APPORTS DE LA SANAGA

Les apports de la Sanaga jouent probablement un rôle non négligeable dans l'adoucissement de l'eau de mer au large de l'estuaire du Wouri du fait de l'existence d'un courant côtier Sud-Nord. Ces apports sont en effet importants puisqu'avec un module interannuel de 2 072 m^3/s , à Edéa il se chiffre à 65 milliards de m^3 en année moyenne - à 77 milliards de m^3 en année décennale humide et à 54 milliards en année décennale sèche. Avant la régularisation de son écoulement par les retenues de Mbakaou

sur le Djerem et de Bamendjing sur le Noun, la répartition mensuelle des débits était la suivante :

	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	Année
en m ³ /s	473	614	940	1340	2040	2770	4990	5700	3530	1450	863	565	2072

Seules des mesures systématiques de la salinité de l'eau de mer au large de Douala permettraient de préciser le rôle joué par la Sanaga dans la chimie des eaux de la mangrove.

3.5. CONCLUSIONS

L'estimation des apports hydriques dans l'estuaire du Wouri à partir de nos connaissances sur l'hydrologie de la région est sans doute obtenue avec une bonne précision (graph. 18).

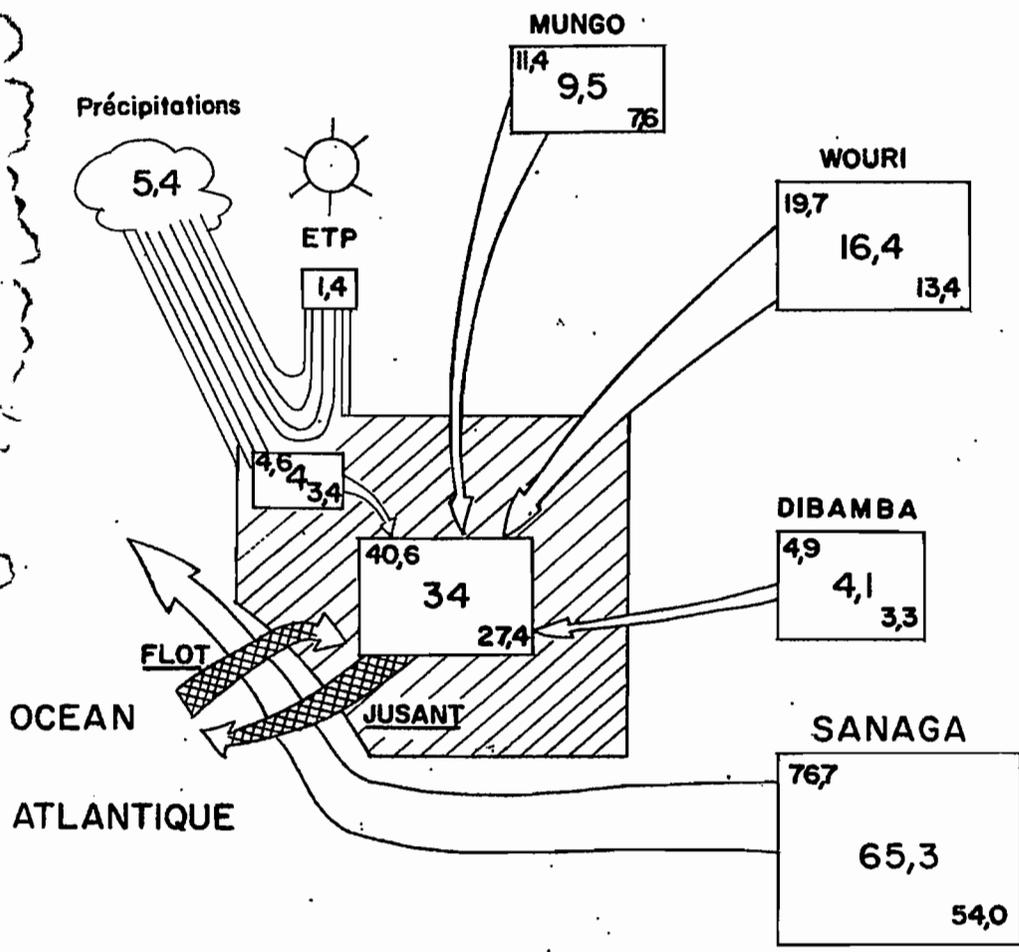
Une étude de l'évolution du milieu saumâtre de la mangrove impliquerait le développement des mesures hydrologiques sur le Mungo et la Dibamba et surtout des études complètes du comportement des marées dans les biefs maritimes des trois fleuves principaux.

Les quelques mesures que nous avons effectuées sur les biefs maritimes de la Dibamba et du Wouri montrent des transferts de volumes importants au flût comme au jusant surtout en période de saison sèche. Ainsi à Japoma sur la Dibamba à 35 km en amont de l'estuaire du Wouri, le transfert porte en moyenne pour une marée sur 10 millions de mètres cubes avec une translation de 10 km pour une même courbe isosaline. Au pont du Wouri à Douala le volume du flût dépasse 50 000 000 m³ en période de basses eaux.

L'amplitude des marées dans l'estuaire du Wouri est de 2 m à 2,50 m. Les variations de salinité sont importantes entre marées hautes et marées basses.

L'étude dans le temps et dans l'espace de ces différents paramètres permettrait une bonne approche des variations du milieu physicochimique de la mangrove. L'importance des apports dans l'estuaire du Wouri laisse toutefois présager un milieu relativement peu saumâtre dans son ensemble.

BILAN DES APPORTS HYDRIQUES ANNUELS DANS L'ESTUAIRE ET LA MANGROVE DU WOURI



Année décennale humide → 4,9
 Année moyenne → 4,1
 Année décennale sèche → 3,3

en milliards de m³

B I B L I O G R A P H I E

- A. BOUCHARDEAU. - Mission Hydrologique sur les rivières du Sud-Cameroun
- J. GUISCAFRE - J.F. NOUVELOT - Monographie Hydrologique de la Sanga. Les facteurs conditionnels du régime. ORSTOM. Ronéo - Paris
- J.C. OLIVRY - Regimes hydrologique en pays Bamiléké. La Mifi-Sud. ORSTOM. Ronéo - Yaoundé - 1973.
- J.C. OLIVRY - L'Alimentation en eau de Douala
HYDROLOGIE DU BIEF MARITIME DE LA DIBAMBA EN PERIODE D'ETIAGE.
Note sur les étiages du Mungo.
ORSTOM. Ronéo. Yaoundé, avril 1974
- J.B. SUCHEL - La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun
CEGET - U.F.C. 1972.