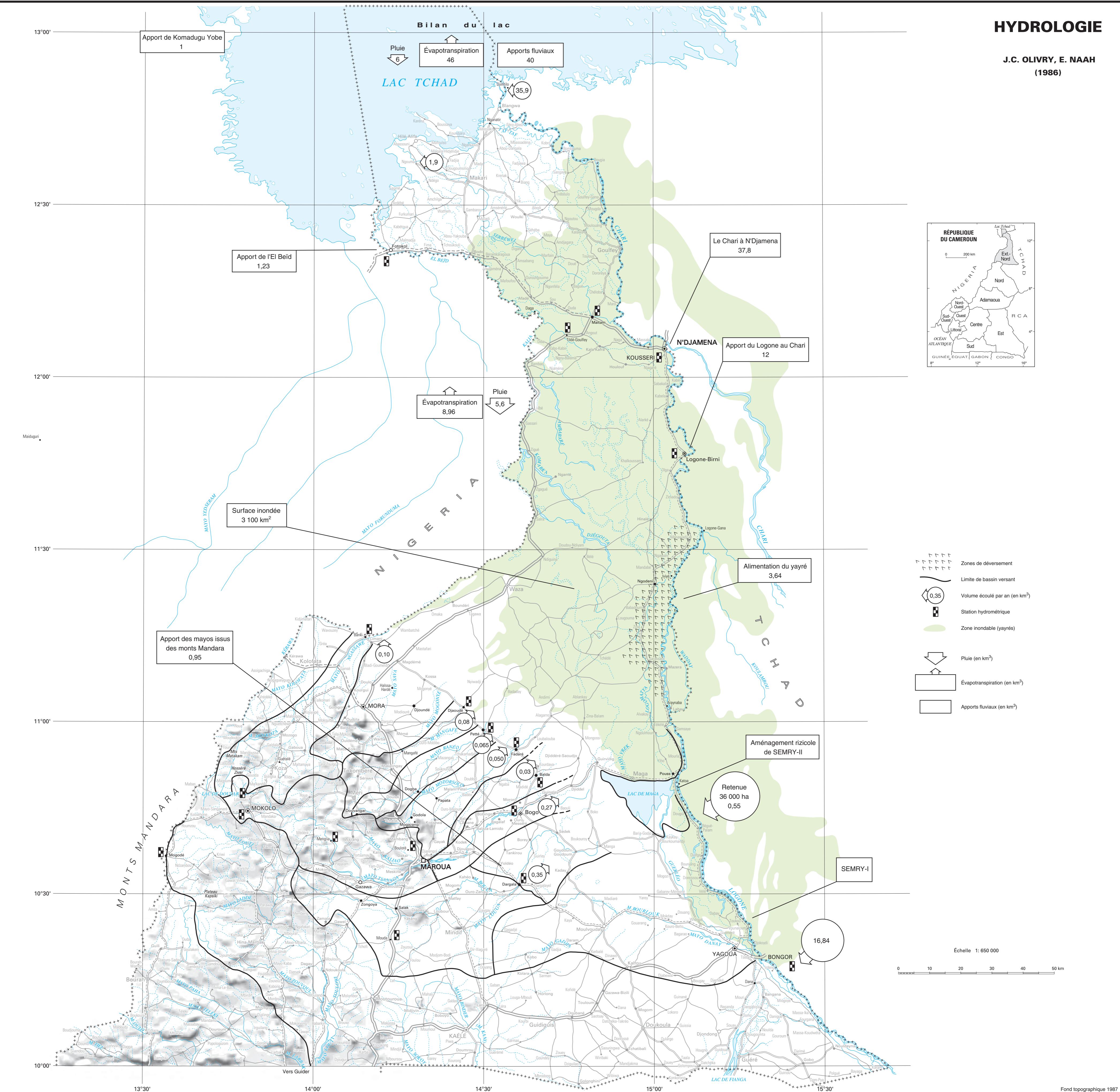




# HYDROLOGIE

# J.C. OLIVRY, E. NAAH (1986)



## Planche 3

TABLEAU I  
Débits moyens mensuels et annuels de la Tsanaga à Bogo (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

	Janv.-mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Module
1954	0	1,6	17,0	59,3	24,8	0,70	0	0	8,62
1955	0	0,6	7,0	49,3	50,5	13,9	0,1	0	10,1
1966	0	0	18,2	34,5	29,0	1,70	0	0	6,95
1967	0	0	22,8	50,5	46,9	1,89	0	0	10,2
1968	0	3,4	23,4	46,2	21,9	1,30	0	0	8,02
1969	0	3,35	15,0	54,0	30,7	2,85	0,001	0	8,82
1970	0	0	6,8	63,9	34,4	1,90	0	0	8,92
1971	0	0	4,42	28,5	21,1	0,72	0	0	4,56
1972	0	0	20,1	12,8	22,0	0,77	0	0	4,64
1973	0	0	7,93	39,7	14,9	0,94	0	0	5,29
1974	0	0,10	11,5	45,6	16,4	2,94	0	0	6,38
1975	0	0	27,3	80,0	48,6	3,10	0	0	13,25
1976	0	2,08	18,2	41,3	21,5	18,6	0	0	8,47
1977	0	0	8,81	56,2	4,80	—	0	0	(5,82)
1978	0	0	15,8	43,2	12,0	—	0	0	(5,92)
1979	0	1,88	9,96	19,4	19,4	3,64	0	0	4,52
1980	0	6,19	18,6	43,5	21,0	3,06	0,064	0	7,70
1983	0	4,86	38,7	72,6	34,5	4,10	0	0	12,9
1984	0	0	13,2	20,2	23,0	0,329	0	0	4,73
1985	0	5,64	18,6	21,5	20,3	0,894	0	0	5,63
1986	0	0	13,2	32,2	25,7	0,665	0	0	5,98
1987	0	0	13,6	19,3	14,8	2,29	0	0	4,17
m	0	1,35	15,92	42,4	25,4	3,91	0,008	0	7,345
s	2,04	7,81	18,0	11,7	4,50				2,56

m = moyenne; s = écart-type.

Sur la période commune des 5 années (1966-1970), les modules spécifiques sont respectivement de :

- 7,3 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Maroua ;
- 4,7 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour le Kaliao à Maroua ;
- 5,6 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Bogo.

Le module spécifique moyen, calculé sur la période commune d'observation de 1984 à 1987, des mayos issus des monts Mandara tombe à 6,2 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Maroua et à 4,34 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Bogo, soit un déficit de 15 à 22 % par rapport à la série moyenne 1966-1970 (tabl. II).TABLEAU II  
Modules spécifiques (en l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>) sur la période 1984-1987

Rivière	Station	Module
Ngassawé	Limani	1,80
Mangafé	Mangafé-Dobwol	2,51
Ranéo	Petté	2,12
Motorsolo	Fadaré	0,86
Tsanaga	Maroua	6,20
Tsanaga	Bogo	4,34
Boula	Dargala	4,36
Balda	Balda	1,50

Faute d'un échantillon de valeurs suffisamment grand, l'étude statistique des modules de la Tsanaga à Bogo n'est qu'une approximation dont les résultats devront être pris avec d'autant plus de réserves que le poids relatif des années de sécheresse se fait davantage sentir. Sur 22 modules, la moyenne est de 7,35 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, l'écart-type est de 2,56, et le coefficient de variation est de 0,348. L'échantillon suggère une distribution hypergaussique avec un module décennal sec de 4,5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> et un module décennal humide de 11 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Le K<sub>3</sub> rapport des valeurs décennales, serait de 2,4, valeur correspondant à la forte irrégularité interannuelle du régime tropical pur déjà soumis aux nuances sahéliennes. Mais ces résultats, au moins pour ce qui est du module moyen, paraissent trop affectés par les années sèches des décennies 1970 et 1980.

L'étude des précipitations dans la région traduit bien ce déficit pour les stations longue durée. La période 1966-1970, par contre, traduit une période de précipitations moyennes, confirmée sur sept postes existants sur le bassin et sur les postes de Maroua Agriculture et Salak, Guétalé, Douvanga, Godola, Papata, Zongoya. Il paraît donc logique de retenir pour module moyen la valeur moyenne calculée sur cette période et par suite, en conservant le coefficient de variation déjà déterminé et en admettant une loi de distribution normale, les modules de différentes fréquences. Ces estimations conduisent aux résultats du tableau III.

L'étude du bilan hydrologique montre que l'évapotranspiration réelle doit être en moyenne de l'ordre de 680 mm pour l'ensemble du bassin de la Tsanaga. C'est un paramètre qui varie relativement peu d'une année à l'autre (au moins par rapport aux pluies et à l'écoulement) et que l'on doit rapprocher de l'évapotranspiration potentielle de la région de l'ordre de 1900-2000 mm.

Sur les bassins de petite taille, l'essentiel de l'écoulement provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiat après-crue. Sur les bassins relativement importants, l'écoulement débute en mai-juin par de petites crues et ne devient effectivement permanent suivant la pluviométrie qu'en juillet-septembre. Il peut passer en quelques heures de quelques heures de quelques mètres cubes par seconde à plusieurs dizaines de mètres cubes. L'hydrogramme annuel (fig. 3) n'est alors, en fait, constitué que par une succession de crues très brèves.

Il n'existe pas dans ces mayos des monts Mandara de correctif à l'écoulement fluvial (absence de sols qui se gorgent d'eau et différent en partie l'écoulement, ou d'autres éléments pondéreux comme les sources, lacs ou autres points d'eau permanents). Celui-ci est strictement limité à la saison des pluies. Les pluies d'avril, mai et même juin (20 % de la hauteur de précipitation annuelle) n'y participent pas ou très peu, absorbées rapidement par un sol complètement desséché par 6 à 7 mois d'aridité complète. L'écoulement permanent apparaît seulement en juillet.

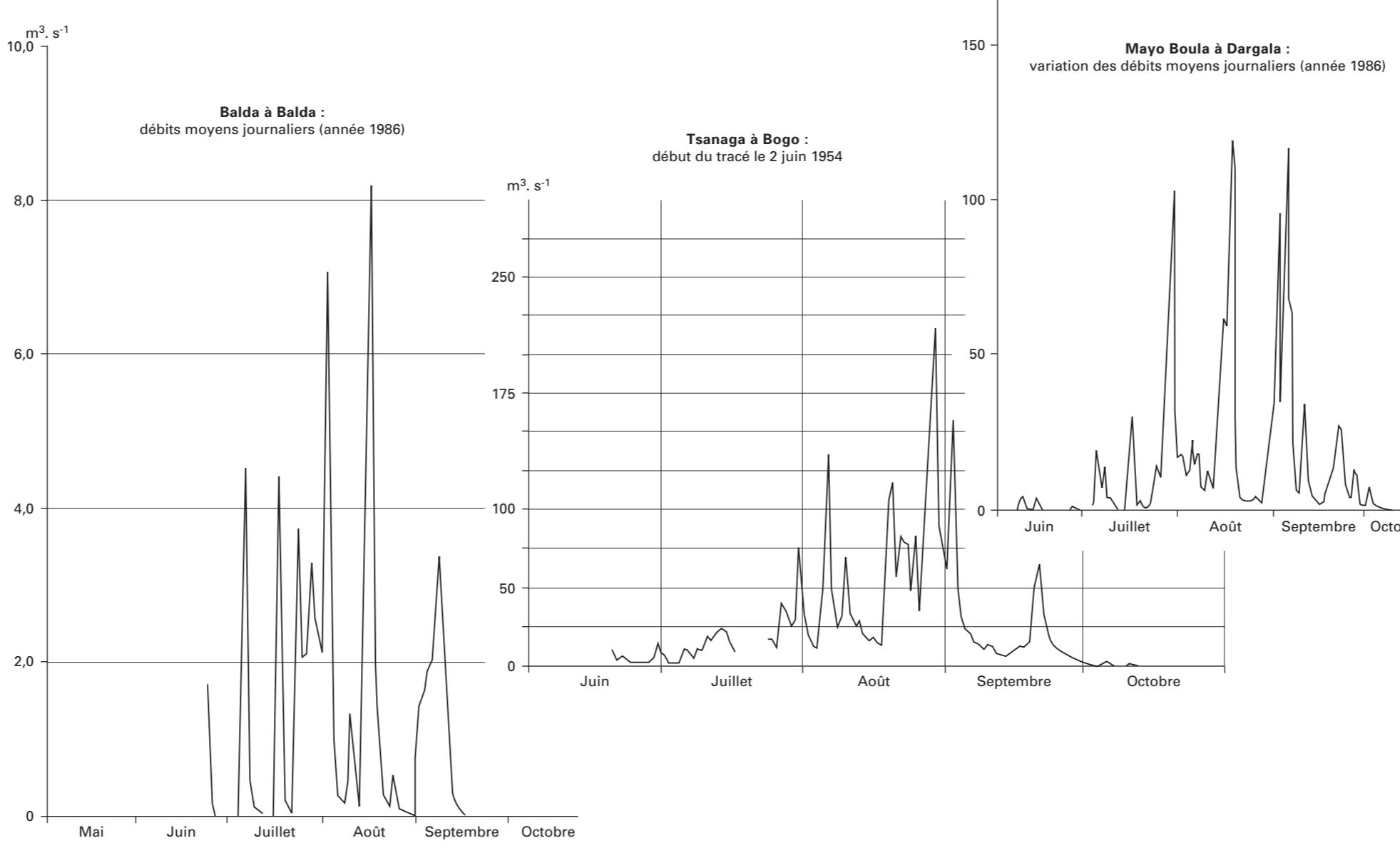
Le coefficient d'écoulement varie de 20 à 29 % sur la Tsanaga à Maroua, de 14 à 28 % sur le Kaliao, de 17 à 25 % à Bogo.

Sur le mayo Tsanaga à Mokolo (Douvar), on a aussi mesuré 23 et 46 % sur un bassin de 48,9 km<sup>2</sup>.À Menglia, sur le mayo Tsanaga (575 km<sup>2</sup>), l'écoulement a été en 1977 de 40 %. On notera que pour le bassin intermédiaire, de Maroua à Bogo, avec une lame écoulée de 700 mm, le coefficient d'écoulement n'est que de 9,6 %. On retiendra des valeurs moyennes de 10 % pour la plaine en amont du yaré et 25 % pour la montagne.

L'écoulement n'est pas fonction de la seule pluviométrie annuelle. Il est également lié à sa répartition au cours de l'année et à un ensemble de facteurs variables relatifs à l'état de rétention des sols (état de saturation des sols, développement de la couverture végétale, mode culturel...). Les coefficients d'écoulement calculés varient de l'amont vers l'aval des cours d'eau, notamment de la zone montagneuse du socle, où les valeurs sont très élevées, supérieures à 20 %, à la plaine alluviale où elles sont inférieures. Ils tendent aussi à diminuer du sud de la plaine vers le nord, avec la pluviométrie. C'est ainsi qu'entre le mayo Boula et le mayo Ngassawé, la diminution du coefficient d'écoulement serait de l'ordre de 40 %. Toutefois, la structure des averses ne varie guère régionalement, ces cours d'eau auraient globalement un comportement homogène qui serait indépendant des superficies respectives de leurs bassins, ce qui s'exprimerait par une corrélation très satisfaisante entre coefficient d'écoulement (Ke) et pluie moyenne (pm) : la droite de régression est présentée dans la figure 4.

TABLEAU III  
Distribution statistique des modules de la Tsanaga à Bogo

	Années sèches			Médiane			Années humides			K <sub>3</sub>
Période de retour en années	50	20	10				10	20	50	
en m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	2,9	4,0	5,0	8,6	12,1	13,1	14,2	19,2	24,2	
en l.s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	1,89	2,61	3,26	5,6	7,88	8,53	9,25	10,4	12,2	

FIGURE 3  
Exemples d'hydrogrammes annuels sur trois mayos issus des monts Mandara.

L'amortissement des crues entre Menglia et Maroua est défini par le rapport des débits maxima qui vaut 0,7 en moyenne.

Entre Maroua et Bogo, l'amortissement des crues se fait suivant des lois relativement complexes. Le coefficient d'amortissement varie selon que le maximum de crue vient du Kaliao à Maroua ou de la Tsanaga (Cam = 0,78 pour la Tsanaga et 0,92 pour le Kaliao), et suivant la saison et la puissance de la crue. NOUVELOT (1972) a montré que le laminage est maximal pour les crues supérieures à 250 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> et des débits de base très faibles à Bogo (en début de saison, inférieurs à 9 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>).Ainsi, une crue de 400 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> au confluent de Maroua, survenant en juillet, ne donnera qu'un débit de pointe de 180 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> à Bogo, survenant en septembre, un débit maximal de 240 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ; le coefficient d'amortissement passe de 0,45 à 0,60.

Cet examen rapide du régime des crues a mis en évidence deux aspects caractéristiques de la région :

- de forts coefficients de ruissellement, des temps de concentration courts aboutissant à des maxima de crue élevés, tant en valeur réelle qu'en débits spécifiques, pour tous les mayos issus des monts Mandara ;
- un amortissement considérable en plaine, ramenant les crues violentes du débouché des montagnes à des crues dont les maxima spécifiques sont très en deçà de ce que l'on connaît plus au sud.

Cette importance des crues dans la région des monts Mandara est soulignée par les études réalisées sur bassins représentatifs (OLIVRY, 1987). C'est là que l'on a déterminé les crues décennales aux débits spécifiques les plus forts (atteignant 15 000 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour des bassins de 5 km<sup>2</sup> et les coefficients de ruissellement parmi les plus élevés (de 50 à 65 %)... que l'on soit sur le Motorsolo (CADIER, 1970), la haute Tsanaga à Mokolo-Douvara (OLIVRY et al., 1976) sur substratum cristallin du socle ou sur le Boulard à substratum de roches vertes (DUBREUIL, 1955) ou encore sur les bassins de Mouda (THÉBÉ, 1987, N'TONGA, 1993).

## La saison sèche et l'écoulement des mayos

Dès la fin des pluies et des crues consécutives, le mayo Tsanaga tarit très rapidement. Une première phase de tarissement de quelques jours précède généralement une phase d'épuisement très courte à l'issue de laquelle l'écoulement peut être considéré comme nul, n'étant plus qu'un inféro-flux.

Sur la Tsanaga à Maroua, le premier tarissement admet des coefficients assez constants de l'ordre de 0,190 j<sup>-1</sup>, pour lesquels le débit est divisé par 10 au bout de 10 jours. Le second coefficient de tarissement peut varier de 1,60 à 0,35 j<sup>-1</sup>, soit un débit divisé par 10 de 1 jour et demi à 6 jours. Il apparaît entre les débits de 400 et 200 l.s<sup>-1</sup>.Sur le Kaliao, le tarissement est du même type mais un peu plus lent. Le premier admet pour coefficient des débits de 0,117 à 0,148 j<sup>-1</sup>, soit une durée de tarissement de 15 à 20 jours pour perdre 90 % de son débit. Le second tarissement qui semble apparaître pour des débits inférieurs à 100 l.s<sup>-1</sup> est de l'ordre de 0,3 j<sup>-1</sup>, soit une durée de 7 à 8 jours pour perdre les 9/10 du débit résiduel.À Bogo, le tarissement admet en première phase un coefficient de 0,24 à 0,34 j<sup>-1</sup> (soit 7 à 10 jours pour diviser par 10 le débit). Un second tarissement avec un coefficient de 0,8 à 0,9 j<sup>-1</sup> apparaît pour des débits inférieurs à 300 l.s<sup>-1</sup>. La Tsanaga perd alors 90 % de son débit en 3 jours.

La durée de la période sans écoulement sera d'autant plus longue que la saison sèche sera précoce et la saison des pluies suivante tardive. Le tarissement rapide met un terme à l'écoulement qui suit les dernières pluies d'octobre : les pluies d'avril, mai et même juin (20 % de la hauteur de précipitation annuelle) ne participent pas ou très peu à l'écoulement, absorbées rapidement par un sol complètement desséché par 6 à 7 mois d'aridité

## Planche 3

Les apports des années caractéristiques, définis à partir de la distribution statistique des apports annuels de Bogo, seraient en année moyenne de l'ordre de  $0.725 \text{ km}^3$ . En retenant le  $K_3$  observé à Bogo (2,4), NAAH situe les apports de fréquence décennale à  $1 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$  en année humide et à  $0.45 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$  en année sèche.

## L'érosion des monts Mandara et ses apports au Grand Yayré

Les apports des monts Mandara à la cuvette lacustre, et ici au Grand Yayré, ne concernent pas que les flux hydriques. Ceux-ci permettent aussi le transfert de matières particulières et dissoutes provenant de l'érosion mécanique et chimique des massifs montagneux et des zones de piémont.

Les flux dissous des mayos Mandara ont été étudiés par NAAH (1992) en 1985 et 1986. Les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de  $150 \text{ mg l}^{-1}$  avec une prédominance des carbonates, du calcium et de la silice. L'apport en sels au yayré, suivant les années, ne seraient que de  $100000$  à  $180000$  tonnes.

De nombreuses études ont été réalisées sur les flux particulaires en suspension (Orstrom et IRGM), en particulier sur le mayo Tsanaga. D'une manière générale, on observe trois phases principales de l'érosion mécanique :

- en début de saison des pluies (mi-juin à mi-juillet), les concentrations de matière en suspension sont très élevées. Les pluies de forte intensité nettoient littéralement la surface du sol pulvérulente; il n'y a pas de protection végétale des sols;
- de la mi-juillet à la mi-août, les concentrations diminuent tandis que la végétation, essentiellement herbacée, se développe sur les bassins;
- à partir de la fin août, la végétation et les cultures ont atteint leur stade de développement optimal et protègent efficacement les sols contre l'action mécanique des gouttes de pluie.

À la station de Bogo, le tonnage annuel des matières en suspension a été évalué à  $325000$  tonnes en 1968 et  $330000$  tonnes en 1969, années « normales » (NOUVELOT, 1972) ; on a mesuré en 1973, année relativement sèche,  $270000$  tonnes (OLIVRY *et al.*, 1974). NAAH (1992) a observé des transports annuels de  $320000$  tonnes et  $280000$  tonnes en 1985 et 1986. Ainsi, pour Bogo, les exportations des matières en suspension varient en valeur spécifique de  $219 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$  en année moyenne à  $175 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$  en année sèche.

Les années sèches sont caractérisées par des concentrations plus fortes qu'en années humide ou normale (OLIVRY, 1974). Le stock de matière disponible à l'acharnement des premières pluies de la saison est plus important lorsque la saison sèche est plus longue. Ceci explique que le rapport entre les tonnages de matières en suspension, année normale/année sèche, soit plus faible que celui des volumes écoulés correspondants (1/2 contre 1/5) (OLIVRY, 1977). D'une année à l'autre l'exportation de matière varie moins que l'écoulement. D'autres observations faites en 1985 et 1986 sur les mayos Ngassawé ( $165 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ ), Mangafé ( $123 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ ), Ranéo ( $200 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ ) et Boula ( $204 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ ) ont permis à NAAH (1992) de proposer une dégradation spécifique moyenne pour la région de  $154 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ , soit environ 1 million de tonnes de matières en suspension exportées chaque année vers le yayré.

Les grands bassins du sud des monts Mandara ont une érosion spécifique qui dépasse  $200 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ ; ceux du nord, dont l'écoulement est plus faible, ont une érosion plus réduite. Les régions les plus montagneuses, aux fortes pentes mais avec une densité d'affleurements rocheux importante, produisent moins de sédiments que les zones arénarisées intermédiaires. Ainsi, à Mokolo (OLIVRY, HOORELBECKE, 1976) la dégradation spécifique n'est que de  $260 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$ , alors qu'on a mesuré sur la Tsanaga à Menglia  $500 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$  en 1977 pour un bassin de  $575 \text{ km}^2$  (NAAH, 1978). Localement, sur zones arénarisées, on a mesuré des érosions annuelles globales (suspension et charriage) approchant les  $1000 \text{ t km}^2 \text{ an}^{-1}$  pour des bassins de quelques kilomètres carrés.

Les mesures de chargement des matériaux sableux et grossiers sont assez rares dans la région. À partir des travaux réalisés à Mokolo (OLIVRY, HOORELBECKE, *op. cit.*), on peut estimer que la charge solide parvenant au yayré représente un quart de la charge en suspension.

C'est donc en moyenne une charge solide globale de  $1 \text{ à } 1.5$  million de tonnes qui participe chaque année à la progression des formations deltaïques et des dépôts argileux dans le yayré. Cette charge est supérieure aux apports de matière solide du Logone (900000 t an $^{-1}$ ).

## Le Logone inférieur

## Hydrologie du Logone inférieur

À Lai, au Tchad, le Logone est formé de ses deux branches majeures : occidentale venue du Cameroun, orientale issue de la Pende. Son bassin couvre alors  $56700 \text{ km}^2$  et son module calculé sur la période 1948-1973 est de  $512 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; calculé sur 40 ans, le module tombe à  $464 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit  $10 \%$  de moins du moindre poids des dernières décennies sèches. La crue maximale a atteint  $3730 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1955. La pluviométrie moyenne interannuelle probable est de  $1370 \text{ mm}$  et la lame écoulée est de  $285 \text{ mm}$ , soit un déficit d'écoulement de  $1085 \text{ mm}$  et un coefficient d'écoulement de  $20.8 \%$ .

À Bongor, le Logone matérialise, à partir du Bé-de-Canard, la frontière du Cameroun. La superficie de son bassin versant est alors de  $73700 \text{ km}^2$ . Le gain en superficie provient essentiellement de son affluent de rive gauche, la Tandjilé. Depuis Lai, le Logone a pénétré dans une vaste plaine sédimentaire où la largeur moyenne de son lit varie de  $3 \text{ à } 9 \text{ km}$ , montrant une dégradation du réseau hydrographique importante. Sur la rive droite, des déversements sont notables dès avant l'Éré; ils seront drainés par le Ba Illi qui rejoint le Logone à Logone-Gana. En rive gauche, nous avons déjà évoqué les pertes des seuils d'Éré et de Dana qui alimentent le mayo Kebbi. Ces déversements sont dus à l'absence de bourrelets de berges continus.

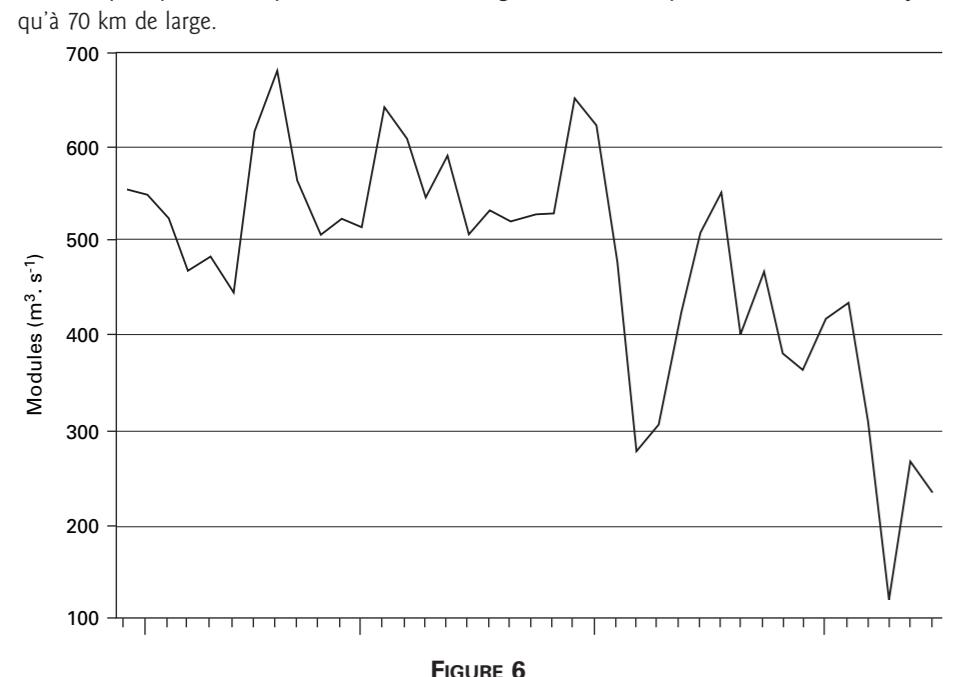
La figure 6 montre l'évolution des débits moyens annuels qui transittent à Bongor; elle met en évidence l'appauvrissement des ressources en eau du Logone durant la période actuelle.

La pluviométrie moyenne interannuelle probable reçue par le bassin du Logone à Bongor est de  $1280 \text{ mm}$ . Si l'on s'en tient au module 1948-1973, la lame écoulée serait de  $228 \text{ mm}$ , soit un coefficient d'écoulement de  $17.8 \%$  et un déficit d'écoulement de  $1052 \text{ mm}$ .

La série homogénéisée sur 40 ans, biaisée par les deux dernières décennies sèches, voit son module moyen tomber à  $488 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Par rapport à Lai, on relèvera que le mois le plus fort (septembre) est plus faible à Bongor, tandis qu'août et octobre y sont plus élevés, ce qui montre l'étalement de l'hydrogramme de crue (encore plus manifeste si on compare les maxima). Le mois le plus faible (mars) est inférieur à Bongor, ce qui traduit les pertes par évaporation pendant la saison sèche.

Entre Bongor et Logone-Birni, les berges du Logone sont de moins en moins marquées; elles ont pratiquement disparu entre Katoa et Logone-Gana, et la plaine d'inondation fait jusqu'à  $70 \text{ km}$  de large.

FIGURE 6  
Évolution des modules du Logone à Bongor sur la période d'observation.TABLEAU VII  
Débits mensuels et modules en  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  (homogénéisés sur 40 ans : 1950-1989)

Stations	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	MA
Laï	53,6	80,7	142	461	1033	1778	1204	414	168	102	73,6	56,8	464
Bongor	50,8	74,3	120	425	1042	1638	1498	574	196	115	77,2	53,4	484
Katoa	70,0	89,5	160	416	889	1189	1029	480	223	130	94,1	78,9	404
Logone-Gana	34,4	63,2	108	308	549	764	869	742	328	137	74,1	47,7	335
Logone-Birni	45,0	66,8	114	291	508	682	806	706	332	124	75,6	54,0	317

MA : moyenne annuelle

En rive droite, les déversements inondent une bande de  $25 \text{ km}$  de largeur entre Logone-Gana et Chari; ces eaux sont drainées par la Koulambo qui rejoint le Logone à Logone-Gana.

En rive gauche, les déversements inondent le Grand Yayré, d'abord par des déflents comme le Guérélé et la Logomatya, ensuite par simple débordement continu dû à l'inexistence de berges. Une grande partie de ces eaux échappe définitivement au Logone et la mesure des débits à Logone-Birni permet de faire le bilan des pertes du cours d'eau depuis Bongor. Le module 1948-1973 est de  $380 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Logone-Birni; le Logone a perdu environ  $154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Le volume écoulé à Logone-Birni est de  $12 \text{ km}^3$ . Le module moyen actualisé sur la période homogénéisée tombe à  $317 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Entre Bongor et Logone-Birni, deux stations intermédiaires montrent pour la même période homogénéisée la progression des pertes du Logone :

— Pouss-Katoa : module de  $404 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;

— Logone-Gana : module de  $335 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

La distribution mensuelle moyenne des débits homogénéisés sur 40 ans est donnée au tableau VII.

Au cours de l'année, le débit moyen du Logone inférieur s'ajoute un étalement considérable de l'onde de crue. Le coefficient d'amortissement est pratiquement de 2 entre la station de Bongor et celle de Logone-Birni, plus élevé en période humide qu'en période sèche. Le temps de propagation est particulièrement lent, environ un mois entre les maxima de Bongor et de Logone-Birni. Les figures 7 et 8 donnent deux exemples d'hydrogrammes à Lai, Bongor, Katoa (Pouss) et Logone-Birni, pour l'année 1953 et l'année 1984.

Pertes, amortissement et lenteur des écoulements sont intimement liés à l'hydrographie dégradée du Logone inférieur.

Le mayo Guérélé suit un cours parallèle à celui du Logone jusqu'à Pouss où son lit disparaît dans un grand étang qu'on appelle le yayré de Pouss et qui est aujourd'hui le lac de Maga, vaste retenue destinée à l'irrigation des pâturages rizicoles de SEMRY II.

Plus au nord, la Logomatya se forme dans un marécage profond, alimentée par le mayo Vrek qui, morphologiquement, fait partie du système provenant du Guérélé.

Après un faible parcours, la Logomatya reçoit le mayo Araynaba qui part du Logone en face du village de Gamsaye. Son cours, long d'une cinquantaine de kilomètres, s'éloigne du Logone de près de  $8 \text{ km}$  et le rejoint par un coude brusque de Ngodeni à Iviyé. La Logomatya était alimentée par cette brèche d'Araynaba, large de  $8 \text{ à } 10 \text{ m}$  et très active, mais qui s'encombre très régulièrement d'herbes, rendant l'écoulement très diffus. Simple chalet de mares pendant la saison sèche, elle voyait son débit se gonfler en août avec les premiers débordements du Logone. Ceux-ci augmentent, franchissant facilement la rive gauche de la Logomatya après le début de l'inondation pour gagner les yayrés, ce qui limite le débit maximal à la station de Zina à  $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

En tant que tributaire des crues du Logone, son régime était donc pratiquement indépendant de l'abondance de ces crues et n'était lié qu'au cycle de croissance des végétaux au cours de la saison des pluies.

Actuellement, ce régime est nettement influencé par les lâchements qui se font au lac de Maga et le comportement de ces deux déflents est profondément modifié par les aménagements des pâturages rizicoles de cette partie de la plaine :

— Toutes les brèches du mayo Guérélé en aval de Yagoua et qui gonflaient son débit (les déversements de Katoa à Vélé, ceux de Doreissou à Bégué-Palam) sont colmatées par la digue de protection des pâturages de SEMRY II ( $5500 \text{ ha}$ ). Ce mayo lui-même alimente actuellement le lac de Maga.

— Une des infrastructures des aménagements de SEMRY II, la digue de Tékélé qui longe le Logone de Pouss à l'aval de Gamsaye, colmate depuis 1979 la brèche de l'Araynaba. La Logomatya ne s'alimente alors que par le mayo Vrek, principal axe de drainage de l'aménagement et évacuateur de la retenue de Maga, par le coude de Ngodeni et par les déversements en nappe du Logone. Ceux-ci franchissent d'ailleurs sans peine le brouillet, mais la poussée de végétation freine progressivement cette hémorragie diffuse.

Le mayo Guérélé alimente aujourd'hui, avec en partie le mayo Tsanaga et le Logone, le vaste lac de  $36000 \text{ ha}$  retenu par une digue en argile compactée de  $27 \text{ km}$  de longueur et de  $2 \text{ à } 7 \text{ m}$  de hauteur entre Pouss et Guiridig. Des ouvrages de prise ou de vidange permettent de maîtriser le niveau de la retenue.  $6500 \text{ ha}$  de casiers rizicoles au nord de la digue sont exploités en double culture avec maîtrise complète de l'eau par gravité. Cette réalisation de la Semry en 1979 a prévu, en outre, l'aménagement de  $5000 \text{ ha}$  de cultures traditionnelles, une opération de reforestation et la valorisation des ressources piscicoles du lac dont la cote maximale est à  $312,75 \text{ m}$ .

En année moyenne, la retenue de Maga contient un volume d'eau de  $550$  millions de mètres cubes, auquel les mayos Boula et Tsanaga participent pour environ  $300$  millions de mètres cubes et le Logone pour le reste. Ce volume correspond à environ  $4 \%$  du volume d'eau total reçu par les yayrés et à une réduction de sa surface inondée de l'ordre de  $300 \text{ km}^2$  en moyenne. L'impact de la retenue de Maga semble alors être minime dans le fonctionnement du yayré (NAAH, 1992).

En été, lorsque le niveau de la retenue de Maga est très bas, le débit du Logone est très faible et l'écoulement est canalisé dans le lit mineur; l'amortissement de la crue et les pertes sont peu marqués.

Le débit moyen du Logone à Logone-Birni est de  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en période humide et de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en période sèche. Les débits moyens annuels sont de  $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  et  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  respectivement.

Le tableau VIII donne les modules des stations de Bongor, Logone-Gana et Logone-Birni pour différentes périodes de retour en années sèches et humides. On relèvera les valeurs de fréquence médiane (2 ans) nettement supérieures aux valeurs moyennes de la période homogénéisée du fait de l'hypogausse des lois de distribution.

TABLEAU VIII  
Distribution des modules en  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ 

Période de retour en années	Années sèches			Médiane			Années humides			$K_3$
50	20	10	2	10	20	50				
</

## Planche 3

En juin, les précipitations ont aussi grossi le chapelet de mares résiduelles de la Logomaya, sans aboutir cependant à une mise en eau complète. Celle-ci survient assez régulièrement dans la seconde semaine de juillet, lorsque les débits du Logone ont atteint  $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Bongor; elle s'effectue simultanément par ses deux extrémités (Araynab et coude de Ngodeni). Les deux courants se rencontrent à Zina dans les derniers jours de juillet. On a remarqué que l'arrivée du courant à Zina coïncidait avec une cassure dans la courbe de crue à Logone-Gana. Cette cassure signifie des pertes importantes du Logone quand le débit à Bongor dépasse  $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  environ.

Une fois la jonction faite à Zina, le courant de la Logomaya s'oriente sud-nord, sauf près d'Ivry, où le Logone continue à se déverser dans la Logomaya. Toute l'eau pénétrant alors dans la Logomaya est évacuée dans le yaré. Pour des débits maxima de  $1100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Bongor, l'extension de l'inondation se limite à un large drain au nord, en continuant de la Logomaya et à des débordements limités côté occidental de ce cours.

Jusqu'à  $1200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Bongor, les eaux de crue envoient la totalité du lit de la Logomaya, les dépressions et les drains artificiels aménagés par les pêcheurs. Au-dessus de  $1200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , le lit de crue inonde la plaine, mais l'onde de crue ne parvient à l'El Beïd que si le Logone dépasse  $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Bongor. Ce débit n'étant pas atteint en 1972 et 1973, l'El Beïd n'a pas coulé; il correspond à la cote 280 cm sur l'échelle de Zina.

On distingue donc deux zones de pénétration des eaux du Logone dans le yaré :

- la première correspond au drain situé en aval de la Logomaya à Ngodeni par lequel l'inondation progresse selon un axe dépressionnaire orienté SSE-NNW à partir d'un débit à Bongor de  $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;
- la seconde se situe au-dessus d'un débit de  $1200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  sur un axe dépressionnaire, parallèle au premier et séparé de lui par une zone étroite pouvant rester exondée, centrée sur Hinalid et caractérisée par la seule savane arborée du yaré. Cette seconde voie, de loin la plus large et la plus importante, est empruntée par les eaux de la Logomaya amont, jadis du Guérélé.

On relève que l'épaisseur de la couche d'eau qui se déverse dans le yaré au maximum de la crue paraît indépendante de celle-ci. L'hydrogramme de Zina a atteint le même maximum en 1977 et 1978, alors que la seconde crue était nettement supérieure à Bongor. La constance du niveau d'étalement à 305 cm, échelle de Zina, montre que la crue est écrétée d'amont en aval à des niveaux fixes, réalisant ainsi une régularisation progressive du débit. L'importance du volume d'inondation tient donc surtout à la durée de l'inondation maximale.

À la décrue, on observe d'abord une baisse lente dans le cours médian de la Logomaya à Zina dès la mi-octobre, alors que les déversements se poursuivent au nord par Ivry, bien que la crue soit déjà amorcée. On note même sur cet axe des écoulements supérieurs à ceux du Logone, du fait d'apports complémentaires provenant de la Logomaya amont.

Ces déversements entre Ngodeni et Ivry ne cessent que pour un débit de  $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  environ à Bongor qui marque un renversement du courant au niveau d'Ivry et un retour rapide des eaux vers le Logone. Les courbes de vidange des hydrogrammes de Zina, très semblables, suggèrent une surface drainée constante. On note également deux phases dans la décrue correspondant aux différences de niveau des seuils des deux voies de pénétration décrites de la crue. Les eaux retournant au Logone par la Logomaya paraissent concerner un volume relativement constant d'une année à l'autre.

La partie la plus importante des eaux du yaré est cependant drainée par l'El Beïd (pour autant que la crue du Logone ait dépassé  $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). C'est la seule qui interviendra dans le bilan, les eaux de la Logomaya retournant au Logone étant comptabilisées à Logone-Birni.

## Le drainage nord du yaré : hydrologie de l'El Beïd

L'El Beïd et ses deux principaux affluents, la Kalia sur la frontière du Niger et la Forunduma au Niger, drainent à Gambarou-Fotokol, peu avant de se jeter dans le lac Tchad, un ensemble de régions très plates comprenant le yaré au sud-est et les plaines d'inondation de la région de Maiduguri à l'ouest, plus les apports de quelques mayos du versant nord des monts Mandara. Il est pratiquement impossible de déterminer la superficie du bassin versant, on peut seulement parler d'aire d'influence qui est de l'ordre de  $12500 \text{ km}^2$ .

Le cours proprement dit de l'El Beïd ne devient visible dans le yaré que quelques kilomètres en amont de Tildé où une station hydrologique est installée sur la route reliant Maiduguri et Maroua à N'Djamena, à  $25 \text{ km}$  environ du Chari. Il reçoit en rive gauche, après un parcours d'environ  $15 \text{ km}$ , la Kalia, long affluent mais sans grand écoulement (surtout depuis la construction de la route sur digue) et formé de deux branches amont issues du nord du parc national de Waza.

L'El Beïd prend une direction nord-ouest sur  $50 \text{ km}$ , puis plein ouest sur  $45 \text{ km}$ . À Gambarou-Fotokol, après avoir reçu la Forunduma, il rejoint le lac Tchad au bout de  $25 \text{ km}$ , plein nord. Décembre est le mois au débit le plus élevé, suivi de janvier, ce qui traduit bien la lenteur des écoulements dans les plaines d'inondation qui alimentent l'El Beïd. L'écoulement cesse généralement en mai.

Le « bassin » (ou l'aire contributive des débits de l'El Beïd) reçoit une hauteur interannuelle de précipitation de l'ordre de  $700 \text{ mm}$ . Avec les années nulles 1972 et 1973, la moyenne sur 19 ans est de  $38.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit un volume de  $1.23 \text{ km}^3$ . Depuis, l'absence d'écoulements annuels a été observée de nombreuses fois pendant la décennie 1980.

Le régime hydrographique de l'El Beïd dépend de deux types de fonctionnement du bassin apparent :

- dans une première phase, on note l'écoulement des pluies reçues par le bassin et des mayos torrentiels amortis par la plaine; cette phase se situe de juillet à octobre;
- dans une seconde phase, la lente propagation des apports du Logone à travers le yaré provoque une importante montée des eaux en octobre et novembre, avec un maximum atteint généralement vers la mi-décembre.

Après ces apports, une décrue progressive s'amorce en janvier et s'achève en avril ou mai avec un écoulement nul ou négligeable. On a trouvé que la relation entre les débits du Logone à Bongor et les hauteurs d'eau de l'El Beïd en décrue à Daga 72 jours plus tard varie avec l'importance de la crue à Bongor. TOUCHEBEUF (1969) a montré que la décrue de l'El Beïd était d'autant plus rapide que la crue du Logone était moins forte.

Dans la figure 11, on a indiqué trois hydrogrammes de la station de Tildé montrant de manière caractéristique les deux phases d'écoulement :

- précure provenant des mayos et des pluies;
- crue de vidange du yaré.

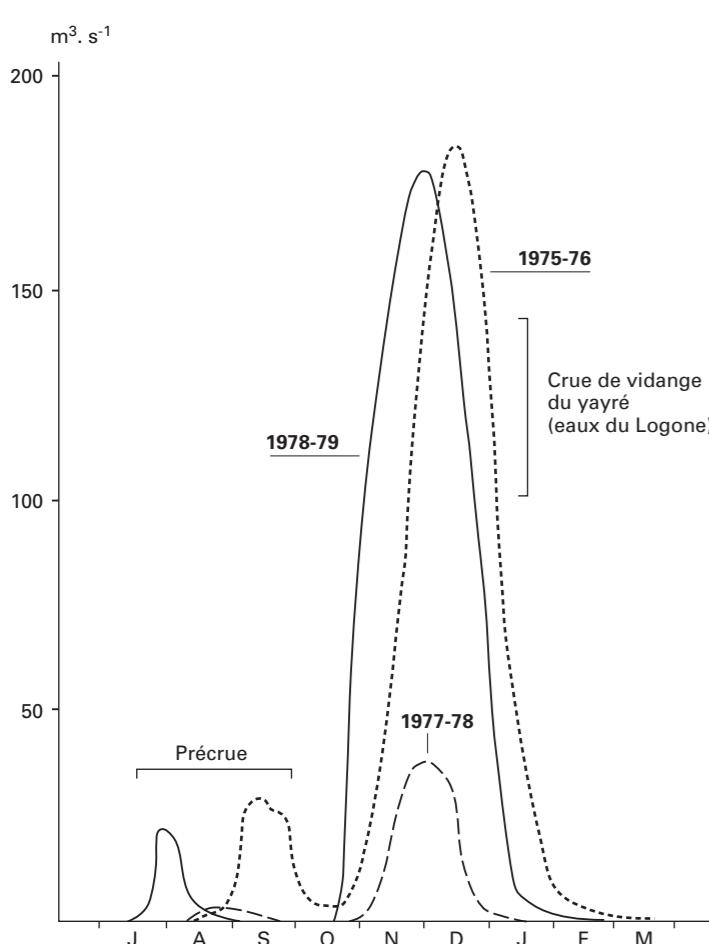


FIGURE 11  
Hydrogrammes annuels de l'El Beïd à Tildé dans la période récente.

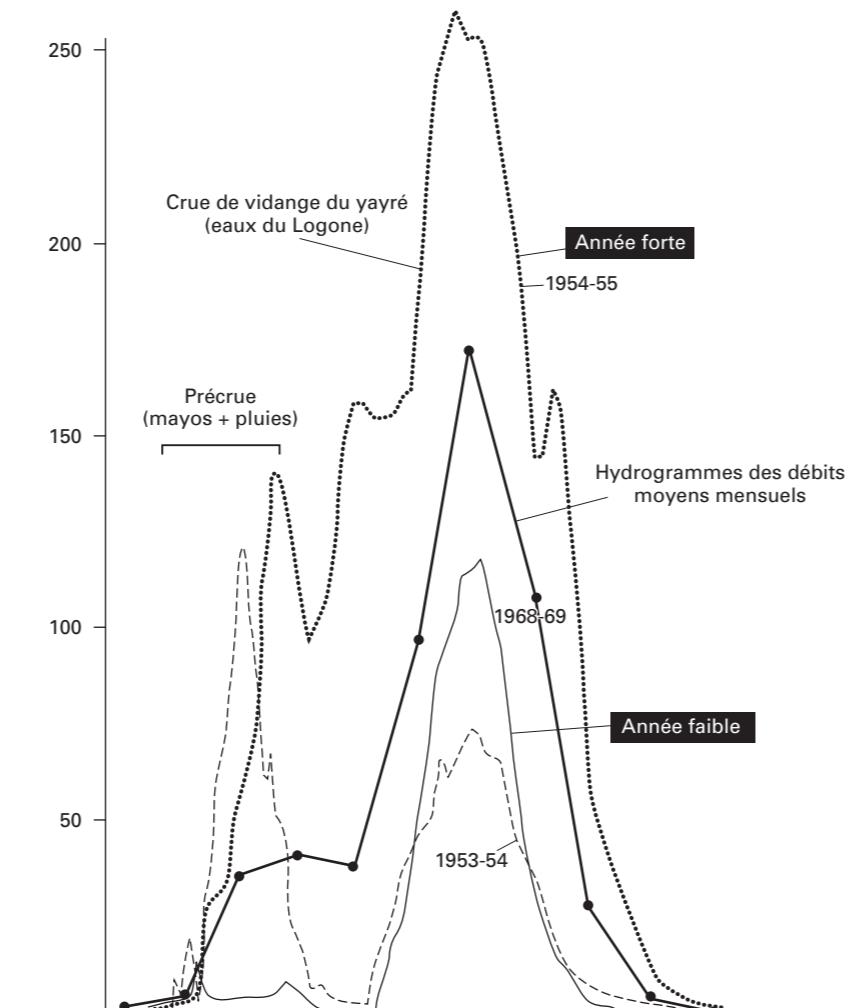


FIGURE 12  
Hydrogrammes annuels de l'El Beïd à Fotokol et indication des débits moyens mensuels sur la période 1950-1970. Noter la grande variabilité des hydrogrammes de précrue et de vidange du yaré (eaux du Logone).

Les hydrogrammes de l'El Beïd à Fotokol, présentés à la figure 12, suivent le même schéma. Ces hydrogrammes montrent d'une manière générale la démesure qu'il y a entre volumes de précrue et de crue du yaré. Cela n'est plus vérifié pour les années faibles du Logone (1953-1954) où la précrue devient plus forte en maximum atteint. À la limite, seule la précrue peut exister. Les deux types d'écoulement sont le plus souvent parfaitement distincts. Il arrive aussi que la précrue soit nulle. En moyenne, la précrue représenterait de 10 à 15 % de la crue de vidange des apports du Logone.

L'étude fréquentielle des maxima annuels de crue à Fotokol proposée par TOUCHEBEUF (1969) montre :

- une crue médiane de  $180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;
- une crue décennale de  $300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;
- une crue vicennale de  $355 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Le maximum médian spécifique sera de  $14.5 \text{ l.s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ , ce qui est très faible pour la zone climatique et correspond à l'amortissement des plaines d'inondation. Le maximum de crue, lorsqu'il est dû à la crue du Logone, est observé dans 60 % des cas entre le 10 et le 20 décembre. En années déficitaires, faute d'écoulement, le maximum de crue peut être nul. La période de retour de tels événements serait de l'ordre de 20 ans.

L'analyse statistique des modules – dont deux nuls – conduit à retenir :

- la valeur médiane de  $38.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , son écart-type de  $26.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; le coefficient de variation est de 0.679;
- un module décennal humide de  $72.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , vicennal de  $82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (et centennal de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ );
- un module quinquennal sec de  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , décennal de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  et nul pour une fréquence vicennale.

Le  $K_3$  vaudrait alors  $14.5 \dots$  soit des valeurs-types des régimes sahélien et sub-désertique mais sans signification ici du fait du régime particulier des apports à l'El Beïd.

Le maximum médian spécifique sera de  $14.5 \text{ l.s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ , ce qui est très faible pour la zone climatique et correspond à l'amortissement des plaines d'inondation. Le maximum de crue, lorsqu'il est dû à la crue du Logone, est observé dans 60 % des cas entre le 10 et le 20 décembre. En années déficitaires, faute d'écoulement, le maximum de crue peut être nul. La période de retour de tels événements serait de l'ordre de 20 ans.

L'analyse statistique des modules – dont deux nuls – conduit à retenir :

- la valeur médiane de  $38.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , son écart-type de  $26.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; le coefficient de variation est de 0.679;
- un module décennal humide de  $72.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , vicennal de  $82 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (et centennal de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ );
- un module quinquennal sec de  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , décennal de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  et nul pour une fréquence vicennale.

Le  $K_3$  vaudrait alors  $14.5 \dots$  soit des valeurs-types des régimes sahélien et sub-désertique mais sans signification ici du fait du régime particulier des apports à l'El Beïd.

## Les apports du Chari et le lac Tchad

## Le Chari

Le Logone conflue avec le Chari à Kousseri. Le fleuve Chari, venu de Centrafrique et du Soudan, qui a drainé le centre et le sud du Tchad, marque à partir de N'Djamena la frontière entre Tchad et Cameroun. Son bassin versant couvre  $600000 \text{ km}^2$ .

À ce titre, on indiquera ses principales caractéristiques à la station de N'Djamena avant de décrire brièvement son cours aval jusqu'au lac Tchad.

La monographie hydrologique du bassin du fleuve Chari (BILLON *et al.*, 1974) fournit la principale information relative à la période précédant la sécheresse des années 1970. Les résultats, aujourd'hui obsolètes, donnaient pour module interannuel une valeur de  $1250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Le maximum de la crue annuelle a atteint  $5160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1961, la valeur médiane étant de  $3690 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . L'étiage absolu (médiane estimée à  $126 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) admettait une valeur de fréquence décennale sèche de  $88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

En tenant compte des années sèches 1972 et 1973, on obtient l'actualisation suivante pour les débits mensuels moyens et le module interannuel (tableau XI).

TABLEAU XI  
Débits mensuels moyens et module interannuel du Chari à N'Djamena

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	MA
$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	190	186	281	557	1250	2360	3230	3100	1670	776	448	270	1200

MA : moyenne annuelle

Les étages absolus relevés en 1973 et 1974 sont respectivement de  $47.7$  et  $38.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Les modules des années 1972-1973 et 1973-1974 tombent en dessous de  $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Enfin, les maxima annuels de ces deux années sèches ont été de  $1430$  et  $2130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Le volume transvant à N'Djamena en année moyenne est alors estimé à  $37.8 \text{ km}^3$ .

Mais dans l'appauvrissement des ressources en eau du Chari, le pire est encore à venir : la chronique de 58 ans d'observations arrêtées à 1991 admet un module interannuel de  $1041 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit un volume annuel moyen de  $32.9 \text{ km}^3$ . Sur la période 1972-1991, le module moyen des deux décennies sèches tombe à  $686 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit un volume moyen des apports du Chari de  $21.6 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ .

Sur cette même période, six modules annuels sont inférieurs à ceux de 1972 et 1973, tous observés entre 1983 et 1991, avec la plus faible valeur en 1984,  $216 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit  $1/5$  du module moyen.

La crue annuelle est également très affectée par la crise hydroclimatique. La valeur médiane sur 58 ans n'est plus que de  $3150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . En 1984, pratiquement inexistante, la crue n'atteint que  $785 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Dans les années les plus défavorisées, le débit d'étiage absolu tombe à  $20-25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

La figure 14 donne quelques exemples d'hydrogrammes du Chari en périodes humide et sèche.

La figure 14 indique la chronique des modules annuels et des maxima annuels de crue sur 58 ans.

En dépit d'une amélioration de l'hydraulique du Chari en 1988 et 1989, la persistance du contexte déficitaire paraît caractériser la période actuelle : la durée de la sécheresse, sans commune mesure avec celles de 1913 ou des années 1940, induit un effet mématoire dans le débit des fleuves soudano-sahéliens imputable à l'amenuisement de la contribution des réserves souterraines dans l'écoulement de base, qui s'ajoute au déficit pluviométrique proprement dit

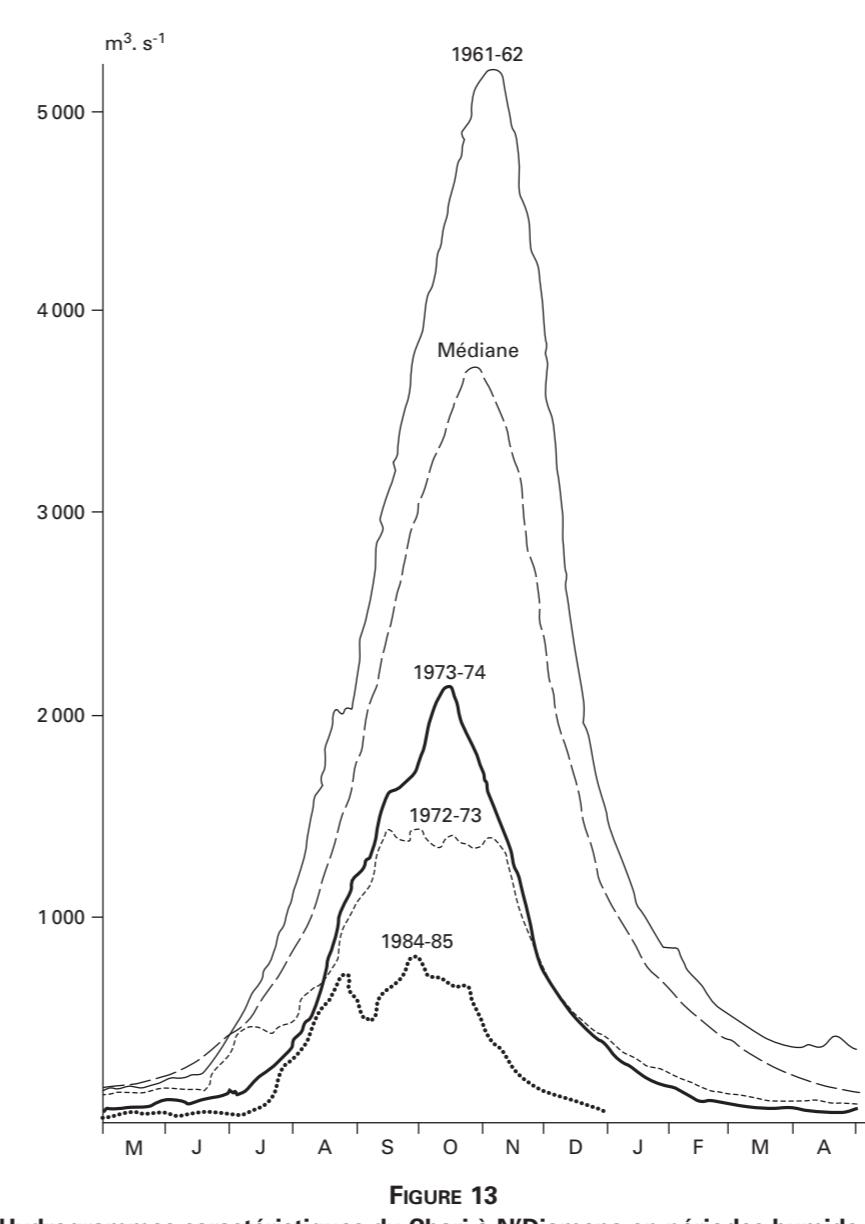


FIGURE 13  
Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'Djamena en périodes humide et sèche et indication des valeurs médianes.

Mesuré à Maltam, le module interann

apport de 590 millions de mètres cubes pour une hauteur de précipitation annuelle de 980 mm, soit un écoulement de 3,5 %, le reste étant consommé par évaporation dans le lit majeur et les plaines d'inondation.

À Logone-Birni, le Logone n'a plus qu'un module interannuel de 380 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, ce qui donne un volume annuel de 12 km<sup>3</sup>, soit 4,84 km<sup>3</sup> de pertes depuis Bongor.

GAC (1979) identifie en rive droite 1,7 km<sup>3</sup> de pertes provisoires dans la plaine inter Chari-Logone avec restitution de 0,9 km<sup>3</sup> en amont de Logone-Birni, ce qui signifie des pertes par évaporation de 0,8 km<sup>3</sup> (en plus bien sûr de la lame précipitée). Un volume de 4,04 km<sup>3</sup> disparaît, côté rive gauche d'une part, sur le bief Bongor-Logone-Birni et son lit majeur d'autre part. Sur ce dernier, qui couvre environ 2 000 km<sup>2</sup>, les pertes ne doivent pas excéder 0,4 km<sup>3</sup> si l'on s'en tient aux possibilités d'évaporation et aux apports météoriques moyens. Ce serait donc en moyenne un volume de 3,64 km<sup>3</sup> provenant du Logone qui transiterait par le yayré.

Le bilan du yayré comprend en entrées :

— les apports du Logone : 3,64 km<sup>3</sup> ;  
— les apports dus aux précipitations directes: celles-ci estimées en moyenne interannuelle à 700 mm sur les 800 000 ha du yayré donnent un volume précipité de 5,6 km<sup>3</sup> ;  
— les apports dus aux mayos des monts Mandara, estimés à 0,95 km<sup>3</sup>.

Les entrées dans le yayré totalisent donc un peu plus de 10 milliards de mètres cubes (10,19 km<sup>3</sup>).

Les sorties sont constituées par l'écoulement de l'El Beïd, l'évapotranspiration et l'alimentation de la nappe phréatique à partir des drains du réseau hydrographique. Le terme « alimentation des nappes » est tout à fait négligeable dans un bilan aussi peu précis d'hydrologie de surface. Le volume des apports de l'El Beïd évacués du yayré est en année moyenne de 1,23 km<sup>3</sup> (module de 38,9 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>).

Finalement, arrivant au lac Tchad, les débits du Chari-Logone, dont une partie transite au Cameroun par le Serbéwel et le Taf-Taf, les débits bien moindres de l'El Beïd venus du Cameroun et ceux de quelques tributaires nigérians.

Delta du Chari	35,9 km <sup>3</sup>
Serbéwel	1,9 km <sup>3</sup>
Total Chari-Logone	37,8 km <sup>3</sup> (Chari à N'Djamena + 12 km <sup>3</sup> du Logone)
El Beïd	1,23 km <sup>3</sup> (vidange du yayré)
Apports Nigéria	1,0 km <sup>3</sup>
Total écoulement superficiel	40 km <sup>3</sup>
Apports des précipitations	6 km <sup>3</sup> (300 mm de pluies moyennes sur 20 000 km <sup>2</sup> de surface moyenne du lac)
Total des entrées	46 km <sup>3</sup>

Le bilan est équilibré par les sorties essentiellement consommées par évaporation et tout à fait marginalement par les infiltrations vers la nappe du Kanem. Si ces dernières représentent au maximum 5 % des entrées, l'évaporation du lac peut être chiffrée à 2 200 mm an<sup>-1</sup>; comme le montrent les études de l'évaporation sur nappe d'eau libre (RIOU, 1972, 1975; POUYAUD, 1985), l'évaporation annuelle du lac Tchad doit se situer dans la gamme 2 200-2 300 mm.

Dans le contexte des années déficitaires des deux dernières décennies, le bilan des apports au lac Tchad est tout à fait différent. La moyenne des apports du Chari sur la période 1971-1990 est de 21,8 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> (58 %). L'alimentation potentielle du yayré n'excède pas sur la période 0,5 km<sup>3</sup> en provenance des monts Mandara et 2 km<sup>3</sup> en provenance du Logone; son drainage par l'El Beïd n'est que de 0,2 km<sup>3</sup>. Les apports au lac totaliseraient 22 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> (48 %) et se limiteraient globalement à l'alimentation de la cuvette sud (OLIVRY et al., 1996).

Aucune considération scientifique ne peut, pour l'instant, permettre de prévoir la « fin » de la sécheresse ou le retour à des pluviométries « normales » : avatar passager de la climatologie ou bouleversement durable atmosphérique à l'échelle du continent? Un effet mémoire de la sécheresse a été mis en évidence dans l'écoulement des fleuves, mais un retour à des précipitations excédentaires limitera sa durée (une décennie?). Le bilan hydrologique du lac Tchad a montré qu'une bonne hydraulique du Chari et du Logone permettrait un retour rapide à un niveau « normal » des surfaces lacustres. Si le lac devait un jour « disparaître » de façon durable, cela voudrait dire que ses affluents auraient vu auparavant leur hydrologie totalement bouleversée que la survie des hommes serait totalement remise en cause par la désertification des bassins versants; de telles modifications, si elles devaient survenir, se situent plus à l'échelle géologique qu'à l'échelle humaine (POUYAUD et al., 1989).

En termes de ressources en eau, les problèmes se posent davantage, surtout dans la période actuelle, au niveau des prélevements effectués pour l'irrigation pendant la saison sèche et les étages... il n'y a pas assez d'eau pour satisfaire à tous les projets d'irrigation.

Enfin, il faut savoir que de gros aménagements sur les bassins amont peuvent avoir des conséquences désastreuses sur le remplissage du lac Tchad et les ressources en eau de l'Extrême-Nord du Cameroun. L'exemple de la mer d'Aral est là pour le rappeler. Mais une gestion concertée des ressources en eau par la Commission du bassin du lac Tchad (CBLT) devrait permettre d'éviter le renouvellement de telles erreurs.

### Indications bibliographiques

BENECH (V.), QUENSIÈRE (J.), VIDY (G.), 1982 — Hydrologie et physicochimie des eaux de la plaine d'inondation du Nord-Cameroun. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 19 (1) : 15-36.

BILLON (B.), RANDON (R.), 1965 — *Étude hydrologique des chutes Gauthiot - Campagne 1964*. Fort-Lamy. Orstom, 68 p.

BILLON (B.), BOUCHARDEAU (A.), ROCHE (M.), RODIER (J.), 1968 — *Monographie hydrologique du Logone*. Paris, Orstom, 8 vol., 770 p.

BILLON (B.) éd., 1969 — *Monographie hydrologique du Chari*. Paris, Orstom, Service hydrologique.

BILLON (B.), GUISCAFFRE (J.), HERBAUD (J.), OBERLIN (G.), 1974 — *Le bassin du fleuve Chari*. Paris, Orstom.

BISCALDI (R.), 1970 — *Hydrologie de la nappe phréatique du Logone-Chari-Tchad*. BRGM, Rapport 70-Yao-003.

BOUCHARDEAU (A.), 1949 — *Étude des crues des mayos du Nord-Cameroun*. Paris, Orstom, Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer : 19-38.

BOUCHARDEAU (A.), 1968 — *Reconnaissance du réseau hydrographique tributaire du lac Tchad au Nord-Cameroun*. Paris, Orstom, Commission scientifique du Logone et du Tchad, 19 p., 1 carte.

BOUCHARDEAU (A.), 1953 — *Monographie hydrologique du Logone*. Paris, Orstom, 8 vol., 770 p.

BOUCHARDEAU (A.), LÉFÈVRE (R.), 1957 — *Monographie du Tchad*. Paris, Orstom-CSLT, 112 p., 24 pl., 1 carte.

CADIER (E.), 1970 — *Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun - Bassin représentatif du Motorsolo*. Yaoundé, Orstom, 177 p.

CALLEDE (J.), DELFIEU (G.), 1967 — *Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun : le bassin du mayo Tsanaga - Campagne 1966*. Yaoundé, Orstom, 46 p.

CBLT, 1973 — « Études des ressources en eau du bassin du lac Tchad, en vue d'un programme de développement ». In : *Ressources en eaux souterraines dans le bassin du lac Tchad*. CBLT, Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad, PNUD, Rome FAO.

CHOURET (A.), FRANC (J.), LEMOALLE (J.), 1974 — *Évolution hydrologique du lac Tchad, de juillet à décembre 1973*. N'Djamena, Orstom, 9 p. multigr.

COLOMBANI (J.), OLIVRY (J.-C.), KALLEE (R.), 1984 — « Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride ». In : *Proceedings of the Symposium of Harare*, IAH Publ. n° 144 : 299-300.

OLIVRY (J.-C.), 1955 — *Étude des crues sur un petit bassin de la région de Maroua, Nord-Cameroun*. Paris, Orstom, Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer: 15-27.

OLIBREUIL (P.), 1962 — « Hydrologie de surface dans le Diamaré ». In : *Recherches et études camerounaises* n° 9, Paris, Orstom : 31-41.

OLIBREUIL (P.), 1972 — *Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux - Années 1951-1969*. Paris, Orstom.

Études des potentialités du bassin conventionnel du lac Tchad - Hydrologie - Analyse statistique des débits moyens journaliers extrêmes. 1979 — Paris, Orstom.

FRITSCH (P.), 1970 — *Aspects géologiques des plaines d'inondation du Nord-Cameroun*. Annales de la faculté des lettres et sciences humaines de Yaoundé, 1 (2), 165 p.

GAC (J.-Y.), 1979 — *Geochemistry of the basin of the Tchad - Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation*. Strasbourg, Thèse Sci., 249 p.

GUISCARFF (J.), 1961 — *Influence des aménagements anti-érosifs sur l'écoulement des mayos Kapsiki - Bassins versants de Mogodé*. Yaoundé, Orstom-Ircam, 40 p., graphiques.

LEFÈVRE (R.), 1971 — *Mesures de l'inféro-flux du mayo Tsanaga*. Yaoundé, 21 p. + 10 graph.

LE GOURIÈRES (D.), 1962 — *Étude du bassin versant du mayo Mokolo*. Yaoundé, Orstom-Ircam, 23 p., graphiques.

LE GOURIÈRES (D.), 1962 — *Bassins versants expérimentaux du Nord-Cameroun*. Conférence de Fort-Lamy, Yaoundé, Orstom-Ircam, 9 p. + graph.

LEMOALLE (J.), 1979 — *Étude des potentialités du bassin conventionnel du lac Tchad. Utilisation de la télédétection pour l'évaluation des surfaces inondées*. Paris, ministère de la Coopération/Orstom, 62 p.

MAHÉ (G.), OLIVRY (J.-C.), 1991 — « Changements climatiques et variations des écoulements en Afrique occidentale et centrale, du mensuel à l'interannuel ». In : *Proceedings of the Vienne Symposium Hydrology for the water management of large river basins*, IAH Publ., aug. 1991, n° 201 : 163-171.

MALEY (J.), 1981 — *Études palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord tropicale, de 30 000 ans à l'époque actuelle*. Paris, Orstom, Trav. et Doc. n° 129, 586 p.

NAAH (E.), 1978 — *Étude hydrologique du mayo Tsanaga à Minglia - Campagne 1977*. Yaoundé, Iriss-Onarest, Rapport définitif, 38 p., annexes.

NAAH (E.), 1986 — *Hydrologie des yayrés*. Rapport des campagnes 1984 et 1985. Yaoundé, Mesres - IRGM/CEH, 52 p.

NAAH (E.), 1992 — *Hydrologie du Grand Yayré du Nord-Cameroun*. Univ. de Yaoundé, Thèse doct. es-sci., 326 p.

NOUVELOT (J.F.), DELFIEU (G.), 1968 — *Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun - Le bassin de la Tsanaga*. Campagne 1967. Paris, Orstom.

NOUVELOT (J.F.), 1969 — Mesures et études des transports solides en suspension au Cameroun. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 6 (4).

NOUVELOT (J.F.), 1970 — *Complément à l'étude des transports solides en suspension au Cameroun*. Campagne 1969. Yaoundé, Orstom, 19 p.

NOUVELOT (J.F.), 1972 — *Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun - Monographie de la Tsanaga*. Yaoundé, Rapport terminal, 102 p., 79 graph., annexes.

N'TONGA (J.-C.), 1993 — *Structure et fonctionnement en crue d'un bassin versant soudanais-sahélien dans le Nord-Cameroun (Mouda, 18 km<sup>2</sup>)*. Univ. de Yaoundé, Thèse doct. 3<sup>e</sup> cycle, 174 p.

OLIVRY (J.-C.), 1974 — *Les déficits hydropluviométriques au Cameroun pendant les années sèches 1972 et 1973*. Yaoundé, Orstom, 71 p., graphiques.

OLIVRY (J.-C.), 1974 — *Étude hydrologique du Haut-Bassin du mayo Tsanaga à Mokolo*. Résultats de la campagne 1974. Yaoundé, Orstom, 40 p., graphiques.

OLIVRY (J.-C.), 1974 — *Quelques mesures complémentaires de transports solides en suspension. Le mayo Tsanaga à Bogo, le Mbam à Goura*. Yaoundé, Orstom, 64 p., graphiques.

OLIVRY (J.-C.), 1976 — *Étude hydrologique du Haut-Bassin du mayo Tsanaga à Mokolo*. Rapport définitif. Yaoundé, Orstom-Onarest, 93 p.

OLIVRY (J.-C.), 1977 — *Étude hydrologique du mayo Tsanaga à Menglia*. Compte-rendu d'installation des équipements hydropluviométriques et consignes d'exploitation pour la saison des pluies. Yaoundé, Onarest, 20 p.

OLIVRY (J.-C.), 1977 — *Transport solides en suspension au Cameroun*. In : *Actes du colloque de Paris sur l'érosion et les transports solides dans les eaux continentales*, IAH Publ., n° 122 : 134-141.

OLIVRY (J.-C.), 1978 — *Observations hydrométriques 1978 sur le mayo Tsanaga à Douvar*. Paris, Orstom, 8 p.

OLIVRY (J.-C.), 1978 — *Transports solides en suspension au Cameroun*. Yaoundé, Cahiers de l'Onarest, 1 : 47-60.

OLIVRY (J.-C.), 1986 — *Fleuves et rivières du Cameroun*. Paris, Mesres-Orstom, coll. Monographies Hydrologiques n° 9, 734 p.

OLIVRY (J.-C.), 1986 — *Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale*. In : colloque CIEH, Ouagadougou.

OLIVRY (J.-C.), 1987 — *Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur les écoulements : Sénégal et Casamance*. In : *Proceedings of the Vancouver Symposium*, IAH Publ., n° 168 : 501-512.

OLIVRY (J.-C.), 1987 — *Méthode simplifiée de pré-détermination des crues sur petits bassins versants en milieu intertropical : l'exemple du Cameroun*. In : *Journées d'Hydrologie de Strasbourg Crues et inondations*. Univ. Louis Pasteur, oct. 86 : 77-91.

OLIVRY (J.-C.), 1989 — *Transports solides et qualité des eaux au Cameroun*. In : Paris, Orstom, coll. Colloques et Séminaires, *Quatrièmes journées hydrologiques de l'Orstom à Montpellier* : 163-173.

OLIVRY (J.-C.), SIRCOULON (J.), TOURE (M.), 1992 — « The ill rivers of Africa ». In : *Colloque ICID, Impacts de variações climáticas e desenvolvimento sustentável em regiões semi-áridas Fortaleza (Brazil)*.

OLIVRY (J.-C.), 1993 — « De l'évolution de la puissance des crues des grands cours d'eau intertropicaux d'Afrique depuis deux décennies ». In : *Actes des journées hydrologiques Centenaire Maurice Pardé*, Institut de géographie LAMA, Grenoble, sept. 1993, 10 p.

OLIVRY (J.-C.), CHOURET (A.), VUILLAUME (G.), LÉOALLE (J.), BRICQUET (J.P.), 1996 — *Hydrologie du lac Tchad*. Paris, Orstom, coll. Monographies Hydrologiques n° 12, 266 p.

PONTANIER (R.), MOUKOURI KUOH (H.), SAYOL (R.), SEINY BOUKAR, THÉBÉ (B.), 1984 — *Comportement hydrique et sensibilité à l'érosion de quelques sols du Nord-Cameroun soumis à des averse contrôlées*. Yaoundé, Mesres-IRA-IRGM, 71 p.

POUYAUD (B.), 1985 — « L'évaporation, composante majeure du cycle hydrologique ». In : Paris, Orstom, coll. Colloques et Séminaires, *Climat et développement* : 130-139.

POUYAUD (B.), COLOMBANI (J.), 1989 — Les variations extrêmes du lac Tchad : l'assèchement est-il possible? *Annales de Géographie*, n° 545 : 1-23.

RIGAL (D.), 1989 — Crue et décrue du lac Tchad. Essai de suivi des images NOAA, novembre 1988-avril 1989. *Veille Climatique Satellitaire*, n° 28 : 71-76.

RIOU (C.), 1972 — Étude de l'évaporation en Afrique centrale. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 9 (2) : 3-31.

RIOU (C.), 1975 — *La détermination pratique de l'évapotranspiration - Application à l'Afrique Centrale*. Paris, Orstom, coll. Mémoires, n° 80.

ROCHE (M.A.), 1973 — *Tracage naturel, salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad*. Orstom, coll. Trav. et Doc., n° 117, 398 p.

ROCHETTE (C.), 1961 — *Étude de la rive gauche du Logone*. Paris, Orstom-CRT, 13 p.

RODIER (J.), 1967 — Les déversements du Logone vers la Bénoué. *Terre et Eaux*, 19 (49), 17 p.

SERVANT (M.), 1973 — *Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Crénzoïque supérieur*. Thèse Univ. Paris-VI, 348 p.

THÉBÉ (B.), 1987 — *Hydrodynamique de quelques sols du Nord-Cameroun : bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelles*. Thèse USTL Montpellier, 306 p.

TILHOU (G<sup>4</sup> J.), 1947 — *Le Tchad et la capture du Logone par le Niger*. Paris, Gautiers-Villars, 202 p.

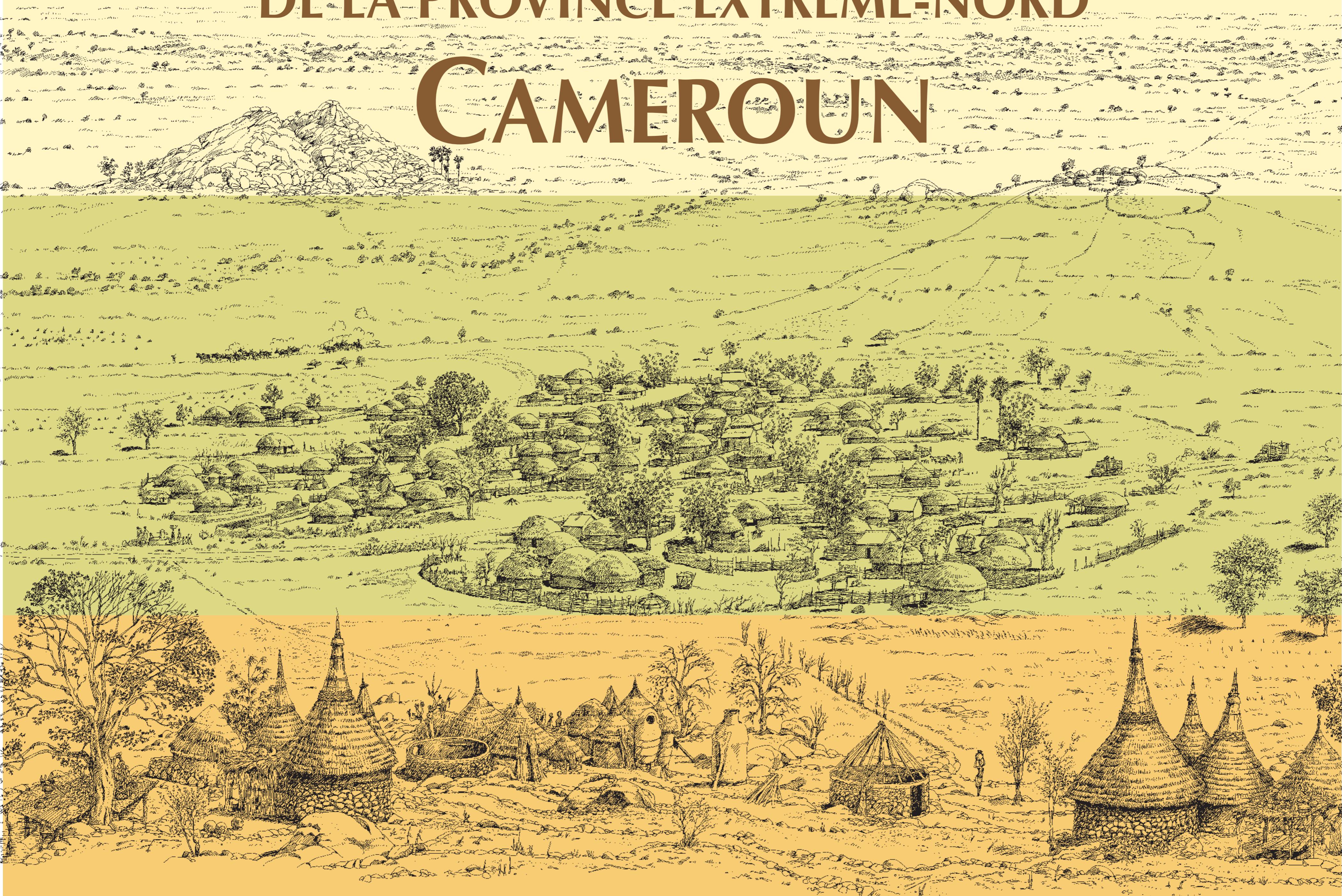
TILLEMONT (B.), 1970 — *Hydrogéologie du Nord-Cameroun*. Yaoundé, Bull. dir. Mines géol., n° 6, 306 p.

TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.), 1969 — *Monographie hydrologique du lac Tchad*. Paris, Orstom, 3 tomes.

TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.), 1969 — *Note hydrologique sur l'El Beïd et la Komadougou-Yobé*. Paris, Orstom, 57 p.

VIUILLAUME (G.), 1981 — *Bilan hydrologique mensuel et modélisation sommaire du régime hydrologique du lac Tchad*. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 18 (1).

# ATLAS DE LA PROVINCE EXTRÊME-NORD CAMEROUN



# ATLAS DE LA PROVINCE EXTRÊME-NORD CAMEROUN

*Éditeurs scientifiques*

Christian SEIGNOBOS et Olivier IYÉBI-MANDJEK

République du Cameroun  
**MINREST** MINISTÈRE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
**INC** INSTITUT NATIONAL  
DE CARTOGRAPHIE

Paris, 2000

Éditions de l'IRD  
INSTITUT DE RECHERCHE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT

*Coordination des travaux*

Christian SEIGNOBOS  
Institut de recherche pour le développement, Paris  
Olivier Ivébi-MANDJEK  
Institut national de cartographie, Yaoundé

*Rédaction cartographique*

Christine CHAUVIAT, Michel DANARD, Éric OPIGEZ (LCA)

*avec la participation de*  
S. Bertrand, C. Brun, M.S. Putfin, C. Valton (LCA)  
et  
R. Akamé, N.C. Ambe, J.R. Kameni, J.M. Leunte, O. Nan Manya, G. Vissi, A. Voundi (INC)

Le modèle numérique de terrain a été généré avec le logiciel de  
Système d'information géographique Savane de l'IRD  
par É. Habert (LCA)

La mise en forme du CD-Rom a été réalisée par  
Y. Blanca, É. Opigez et L. Quinty-Bourgeois (LCA)

*sous la direction de*  
Pierre PELTRE  
Responsable du Laboratoire de cartographie appliquée (LCA)  
IRD Île-de-France, Bondy

*avec la collaboration de*

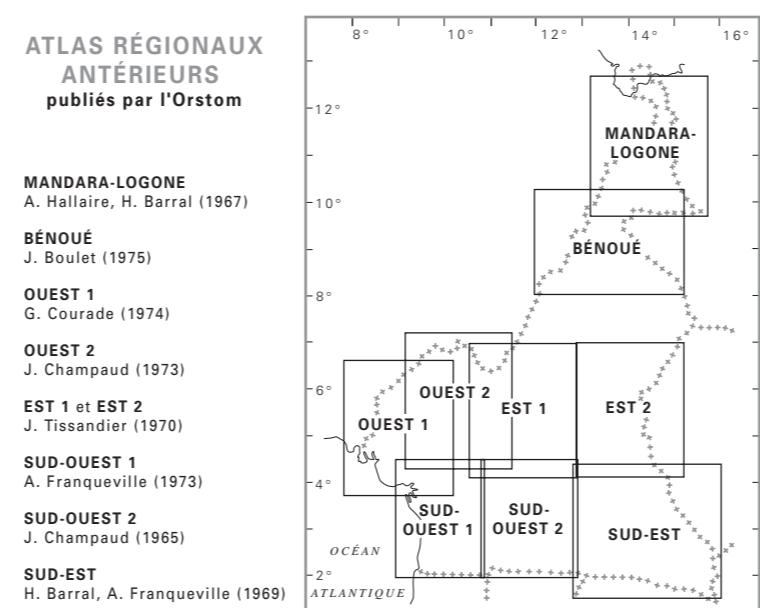
Paul MOBY-ÉTIA  
Directeur de l'Institut national de cartographie (INC)  
Yaoundé

*Maquette de couverture*  
Christian et Fabien SEIGNOBOS

*Secrétariat d'édition*  
Marie-Odile CHARVET RICHTER

**Références cartographiques**

Fond topographique extrait et mis à jour à partir des cartes à l'échelle de 1 : 500 000,  
Fort-Foureau, feuille ND-33-S.O., Institut géographique national, Paris, 1964,  
Maroua, Centre cartographique national, Yaoundé, 1975.



Le code de la propriété intellectuelle (loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon possible des peines prévues au titre III de la loi précitée.