

Échelle 1: 650 000





Planche 3

TABLEAU I										
Débits moyens mensuels et annuels de la Tsanaga à Bogo (m³ 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
Ranéó	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 m³ 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 hypergaussienne avec un module décennal sec de 4,5 m³ s<sup>-1</sup> et un module décennal humide de 11 m³ 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 au 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 existant sur le bassin et sur les postes de Maroua Agriculture et Salak, Guétalé, Douvanger, 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 1 900-2 000 mm.

Sur les bassins de petite taille, l'essentiel de l'écoulement provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiate 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 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 diffèrent en partie l'écoulement, ou d'autres éléments pondérateurs 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 (Douvâr), on a aussi mesuré 23 et 46 % sur un bassin de 48,9 km².

À Menglia, sur le mayo Tsanaga (575 km²), 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 yayré 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 cultural...). 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 variant 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		
Période de retour en années en m³ s <sup>-1</sup> en l.s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup>	50	20	10		10	20	50
	2,9	4,0	5,0	8,6	12,1	13,1	14,2
	1,89	2,61	3,26	5,6	7,88	8,53	9,25
K <sub>3</sub>							2,42

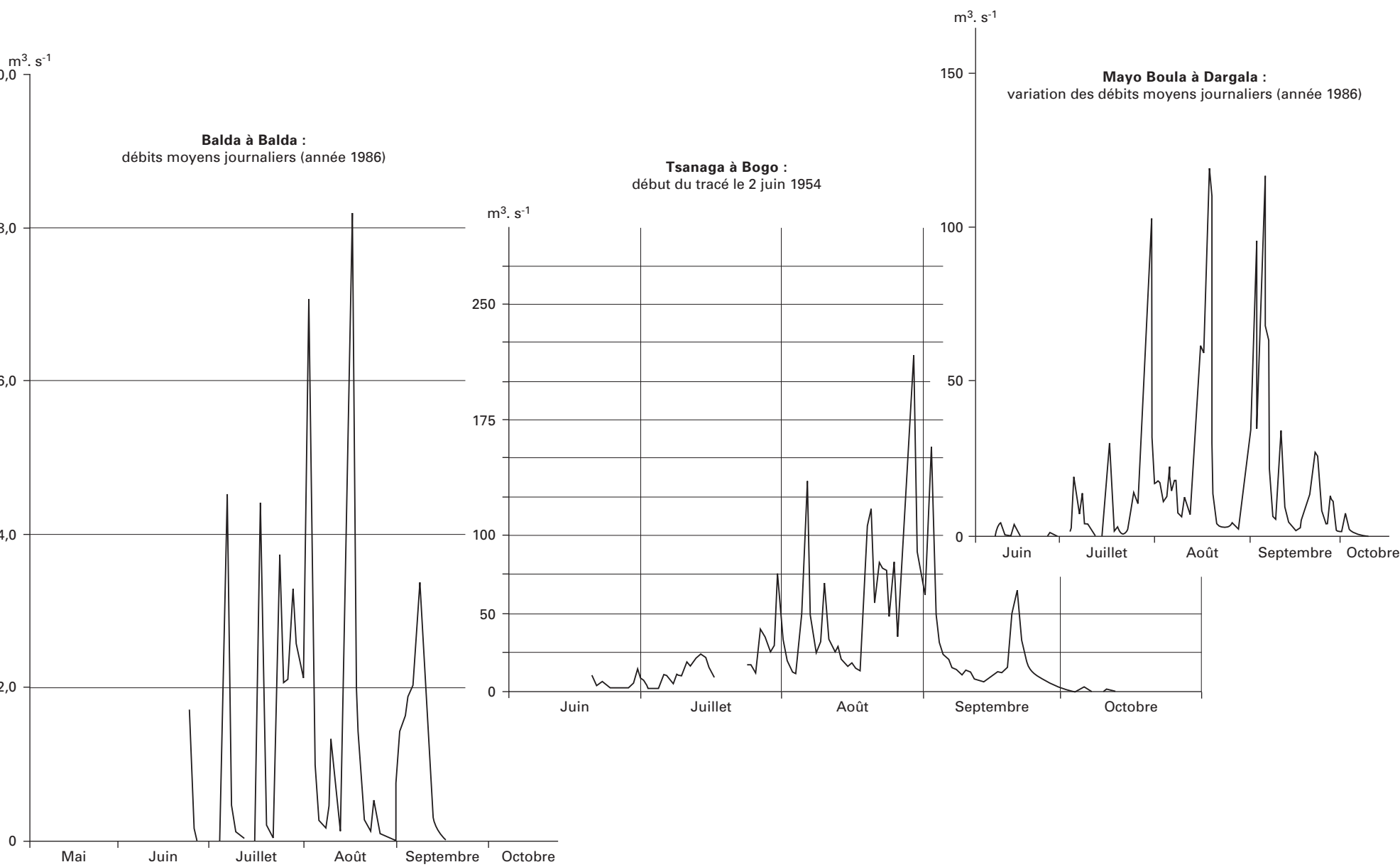


FIGURE 3
Exemples d'hydrogrammes annuels sur trois mayos issus des monts Mandara.

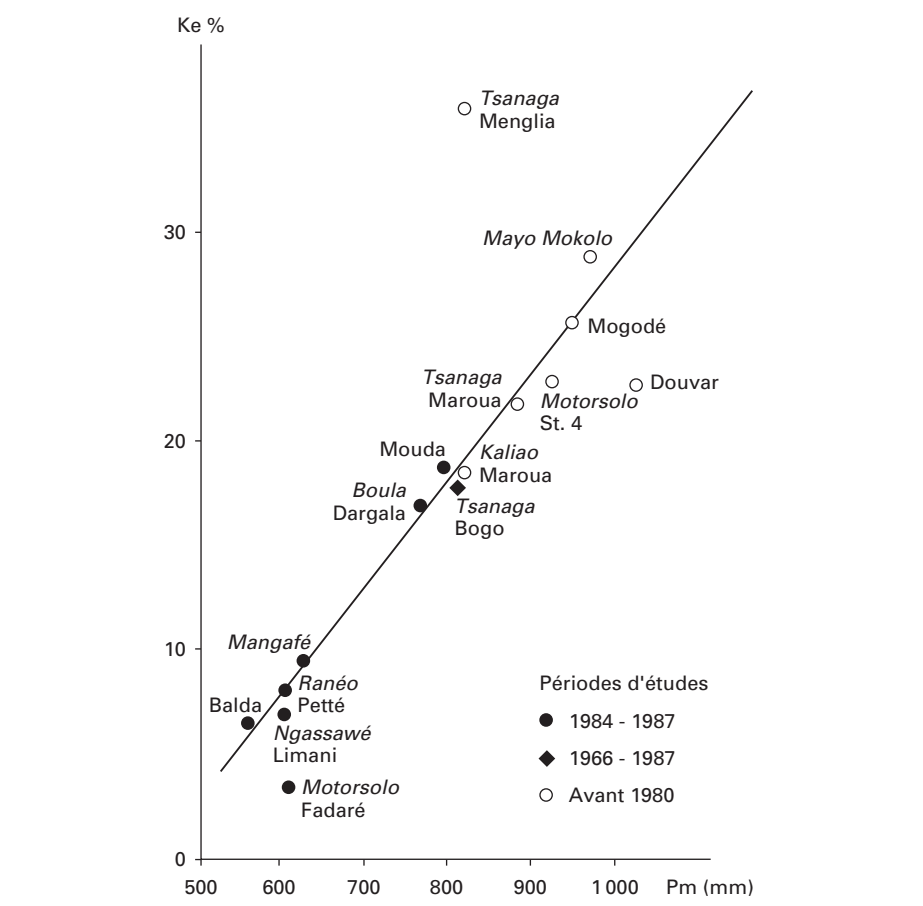


FIGURE 4
Relation entre les lames précipitées et le coefficient d'écoulement mesuré à différentes périodes sur les mayos issus des monts Mandara.

Le tableau IV regroupe les différents coefficients d'écoulement moyens obtenus pour des hauteurs moyennes de précipitations annuelles calculées sur les périodes d'observation correspondantes.

TABLEAU IV				
Valeurs des coefficients d'écoulement (Ke en <span> </span> %)				
Bassins	Période d'observation	Ke <span> </span> %	pm (mm)	
Mayo Mokolo (15,65 km²)	1961	29,00	964	
Mayo Mogodé (1,08 km²)	1960	26,00	940	
Mayo Tsanaga à Douvar (48,9 km²)	1974	23,00	1020	
Motorsolo S4 (42 km²)	1968	23,00	918	
Mayo Tsanaga à Menglia (575 km²)	1977	36,00	823	
Mayo Tsanaga à Maroua (845 km²)	1966-1970/1984-1987	22,00	876	
Mayo Tsanaga à Bogo (1535 km²)	1966-1970/1984-1987	18,00	809	
Kaliao à Maroua (355 km²)	1966-1970	18,60	812	
Ngassawé à Limani (1 030 km²)	1984-1987	7,11	603	
Mangafé à Mangafé D (267,5 km²)	1984-1987	9,38	625	
Ranéó à Petté (435 km²)	1984-1987	8,02	602	
Motorsolo à Fadaré (877 km²)	1984-1987	3,43	612	
Boula à Dargala (1 517 km²)	1985-1987	17,30	761	
Mayo Balda à Balda (240 km²)	1986-1987	6,42	560	
Mayo Mouda (18,1 km²)	1984-1985	19,00	788	

### Les crues

Les eaux ne rencontrent guère d'obstacles importants dus aux sols ou à la végétation. Leur concentration étant très rapide dans les chenaux de la zone montagneuse, les crues élémentaires sur les petits bassins se caractérisent par leur soudaineté. Cela se traduit par des temps de montée relativement courts, des débits de pointe élevés et de forts coefficients de ruissellement.

En se développant à l'échelle des grands bassins, les crues élémentaires donnent naissance à des crues dont les caractéristiques (forme de l'hydrogramme, temps de montée, temps de base, débit maximum, volume ruisselé, etc.) subissent l'influence de nombreuses variables (intensité, durée et répartition de la pluie, topographie du bassin, type de sols...). La figure 5 présente les graphes des hydrogrammes de crues de quelques bassins. La crue s'amortit aussi à l'arrivée des mayos dans la plaine, la différence étant d'autant plus marquée que le bassin supérieur a des pentes plus fortes.

Les crues du mayo Tsanaga ont fait l'objet de nombreuses études. Les débits spécifiques des maxima annuels de crue varient de 234 à 402 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Maroua, de 513 à 1 096 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour le Kaliao et de 80 à 176 l.s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup> pour la Tsanaga à Bogo.

NOUVELOT (*op. cit.*) a proposé les estimations statistiques suivantes.

L'amortissement des crues entre Menglia et Maroua est défini par le rapport des débits maximaux 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 m³ s<sup>-1</sup> et des débits de base très faibles à Bogo (en début de saison, inférieurs à 9 m³ s<sup>-1</sup>).

Ainsi, une crue de 400 m³ s<sup>-1</sup> au confluent de Maroua, survenant en juillet, ne donnera qu'un débit de pointe de 180 m³ s<sup>-1</sup> à Bogo, survenant en septembre, un débit maximal de 240 m³ 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 (Ouvry, 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 km² 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-Douvâr (Ouvry *et al.*, 1976) sur substratum cristallin du socle ou sur le Bouloré à substratum de roches vertes (DUBREUIL, 1955) ou encore sur les bassins de Mouda (THÉRÉ, 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 valeurs 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 complète. L'échantillon de données reste insuffisant pour une étude statistique de la durée de cette période. On peut seulement dire qu'à Bogo l'écoulement devient nul dans la dernière décade d'octobre ou les premiers jours de novembre. La Tsanaga voit un écoulement permanent apparaître seulement en juillet; en moyenne, c'est le 11 juillet (et avec une probabilité de 60 % entre le 4 et le 18 juillet) ; les dates extrêmes sur 14 années sont le 26 juin et le 27 juillet.

Si on retient pour date moyenne du début de la période sans écoulement le 1<sup>er</sup> novembre, on peut estimer à 250 jours la période sèche moyenne (où l'on note quand même quelques épisodes de crue en juin).

LEFÈVRE (1971) a montré qu'à Maroua subsistait un écoulement d'inféro-flux pendant la saison sèche. Ces nappes d'inféro-flux utilisant les dépôts de sable du lit comme aquifère sont bien connues sur tous ces mayos et constituent souvent la seule ressource en eau des populations riveraines pendant la saison sèche. À Maroua, la nappe d'inféro-flux est alimentée par le drainage de la nappe phréatique de la plaine de Gazawa. LEFÈVRE (*op. cit.*) a déterminé la vitesse du flux par injection de sel et mesure en aval de la résistivité. Le 1<sup>er</sup> novembre 1968, le débit d'inféro-flux était de 14,4 m³ h<sup>-1</sup>, soit 4 l.s<sup>-1</sup> sur une section mouillée de 300 m²; le 1<sup>er</sup> mars 1969, le débit était encore de 9,3 m³ h<sup>-1</sup>, soit 2,6 l.s<sup>-1</sup> sur une section de 190 m². Le volume d'eau qui s'écoulerait en inféro-flux serait en année moyenne de 100 000 m³, soit 1/2 000 de l'écoulement aérien.

### Les apports des monts Mandara à la cuvette tchadienne

La contribution globale des monts Mandara aux ressources en eau de la cuvette tchadienne, susceptible d'alimenter le Grand Yayré, a fait l'objet d'une première estimation (Ouvry, 1986) basée sur les observations de la période dite « normale » et de la décroissance du sud au nord des écoulements spécifiques.

Pour le seul mayo Tsanaga, les apports interannuels sont de 0,27 km³ pour un module spécifique de 5,6 l.s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>. Les apports du bassin du mayo Boula (2 000 km²), pour le même module spécifique seraient de l'ordre de 0,35 km³. Les études sur le Motorsolo ont montré qu'un module spécifique de 4 l.s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup> pouvait être retenu pour les mayos nord dont les bassins couvrent une superficie de 2 600 km². Le volume interannuel de ces apports serait de 0,33 km³.

Le total moyen des apports dus aux mayos des Mandara atteindrait un volume de 0,95 km³. Sur la base d'un coefficient d'irrégularité K<sub>3</sub> de 3 pour l'ensemble de la région, l'écoulement annuel de fréquence décennale a été estimé à 0,47 km³ en année sèche et à 1,43 km³ en année humide.

Pour les décennies sèches, NAAH (1992) a proposé une estimation basée sur les rapports entre volumes écoulés mensuels des différents mayos étudiés entre 1984 et 1987 pour reconstituer les écoulements globaux issus des monts Mandara sur la période 1969-1987. Le tableau VI présente les résultats de cette reconstitution. Sur la période commune d'observation (4 ans), les tributaires des monts Mandara auraient déversé en moyenne 0,442 km³ an<sup>-1</sup> dans les plaines du yayré.

En pourcentage, la part moyenne respective de chaque tributaire dans cette alimentation serait de l'ordre de :

Mayo Ngassawé : 10 % ; mayo Mangafé : 6,3 % ; mayo Ranéo : 5 % ; mayo Motorsolo : 4 %; mayo Tsanaga : 36,5 % ; mayo Boula : 36,2 % ; mayo Balda : 2 %.

TABLEAU VI						
Apports des mayos au Grand Yayré (10 <sup>6</sup> m³)						
Année	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
1969	34,9	114,0	373	211	32,8	766
1970	13,4	58,9	438	234	26,5	771
1971	13,4	43,1	203	149	18,6	427
1972	13,4	147,0	98,8	155	19,0	433
1973	13,4	66,5	277	109	20,1	486
1974	141,0	90,3	317	119	33,4	574
1975	13,4	195,0	546	326	34,5	1 115
1976	26,8	135,0	289	152	137,4	740
1979	25,5	80,0	143	138	38,15	425
1980	53,1	137,0	303	148,5	34,2	676
1983	44,7	271,0	497	235	41,0	1 089
1984	0,0	86,7	134	136	5,04	362
1985	49,6	163,0	166	132	4,46	515
1986	4,30	102,0	179	190	6,74	482
1987	38,3	41,6	221	103	6,14	410



## ATLAS DE LA PROVINCE EXTRÊME-NORD CAMEROUN

### 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 km³. En retenant le K<sub>3</sub> observé à Bogo (2,4), NAAH situe les apports de fréquence décennale à 1 km³ an<sup>-1</sup> en année humide et à 0,45 km³ an<sup>-1</sup> 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 particulaires 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 mg l<sup>-1</sup> avec une prédominance des carbonates, du calcium et de la silice. L'apport en sels au yayré, suivant les années, ne serait que de 100 000 à 180 000 tonnes.

De nombreuses études ont été réalisées sur les flux particulières en suspension (Orstom et IROGM), 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 développe-ment 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 325 000 tonnes en 1968 et 330 000 tonnes en 1969, années « normales » (NOUVELOT, 1972) ; on a mesuré en 1973, année relativement sèche, 270 000 tonnes (OLIVRY *et al.*, 1974). NAAH (1992) a observé des transports annuels de 320 000 tonnes et 280 000 tonnes en 1985 et 1986. Ainsi, pour Bogo, les exportations des matières en suspension varient en valeur spéci-fique de 219 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup> en année moyenne à 175 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup> 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'arrachement des pre-mières 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 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>), Mangalé (123 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>), Ranéo (200 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>) et Boula (204 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>) ont permis à NAAH (1992) de proposer une dégradation spécifique moyenne pour la région de 154 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>, 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 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>; 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'affleu-rements rocheux importante, produisent moins de sédiments que les zones arénisées intermé-diaires. Ainsi, à Mokolo (OLIVRY, HOORELBECKE, 1976) la dégradation spécifique n'est que de 260 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup>, alors qu'on a mesuré sur la Tsanaga à Menglia 500 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup> en 1977 pour un bassin de 575 km² (NAAH, 1978). Localement, sur zones arénisées, on a mesuré des éro-sions annuelles globales (suspension et charriage) approchant les 1 000 t km<sup>2</sup> an<sup>-1</sup> pour des bassins de quelques kilomètres carrés.

Les mesures de charriage 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 à 1,5 million de tonnes qui parti-cipe 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 (900 000 t an<sup>-1</sup>).

## Le Logone inférieur

### Hydrologie du Logone inférieur

À Laiï, au Tchad, le Logone est formé de ses deux branches majeures : occidentale venue du Cameroun, orientale issue de la Pende. Son bassin couvre alors 56 700 km² et son module calculé sur la période 1948-1973 est de 512 m³ s<sup>-1</sup>; calculé sur 40 ans, le module tombe à 464 m³ s<sup>-1</sup>, soit 10 % de moins du fait du moindre poids des dernières décennies sèches. La crue maximale a atteint 3 730 m³ s<sup>-1</sup> en 1955. La pluviométrie moyenne interannuelle proba-ble est de 1 370 mm et la lame écoulée est de 285 mm, soit un déficit d'écoulement de 1 085 mm et un coefficient d'écoulement de 20,8 %.

À Bongor, le Logone matérialise, à partir du Bec-de-Canard, la frontière du Cameroun. La superficie de son bassin versant est alors de 73 700 km². Le gain en superficie provient essentiellement de son affluent de rive gauche, la Tandjilé. Depuis Laiï, le Logone a pénétré dans une vaste plaine sédimentaire où la largeur moyenne de son lit varie de 3 à 9 km, mon-trant une dégradation du réseau hydrographique importante. Sur la rive droite, des déverse-ments sont notables dès avant Éré; ils seront drainés par la 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 transitent 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 1 280 mm. Si l'on s'en tient au module 1948-1973, la lame écoulée serait de 228 mm, soit un coefficient d'écoulement de 17,8 % et un déficit d'écoulement de 1 052 mm.

La série homogénéisée sur 40 ans, biaisée par les deux dernières décennies sèches, voit son module moyen tomber à 488 m³ s<sup>-1</sup>.

Par rapport à Laiï, on relèvera que le mois le plus fort (septembre) est plus faible à Bon-gor, 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 jus-qu'à 70 km de large.

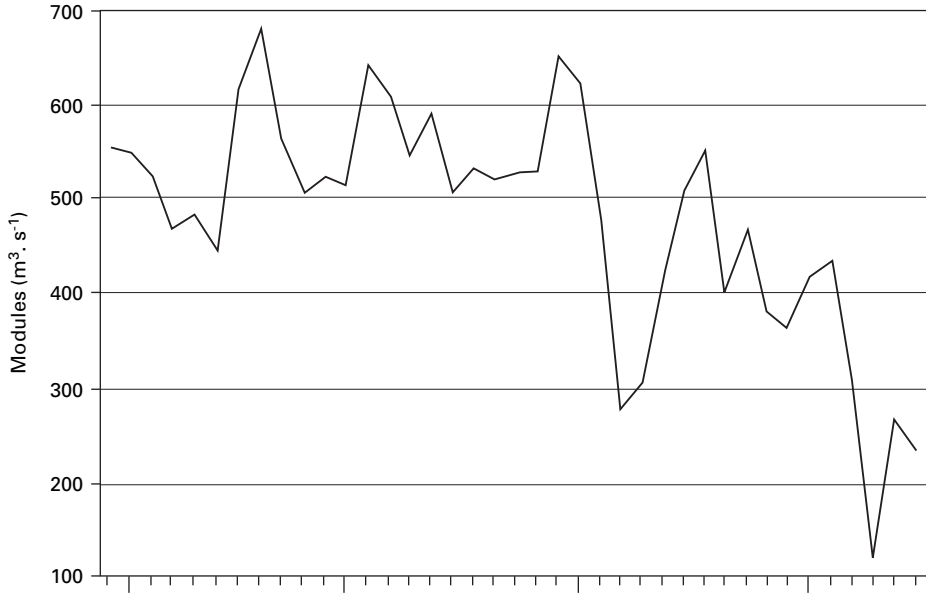


FIGURE 6

Évolution des modules du Logone à Bongor sur la période d'observation.

TABLEAU VII <p>Débits mensuels et modules en m³ s<sup>-1</sup> (homogénéisés sur 40 ans<span> </span>: 1950-1989)</p>														
Stations	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	MA	
Laiï	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 km de largeur entre Logone-et-Chari; ces eaux sont drainées par la Koulabou qui rejoint le Logone à Logone-Gana.

En rive gauche, les déversements inondent le Grand Yayré, d'abord par des défluent comme le Guerléo et la Logomatya, ensuite par simple débordement continu dû à l'inexis-tence 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 m³ s<sup>-1</sup> à Logone-Birni; le Logone a perdu environ 154 m³ s<sup>-1</sup>. Le volume écoulé à Logone-Birni est de 12 km³. Le module moyen actualisé sur la période homogénéisée tombe à 317 m³ s<sup>-1</sup>.

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 m³ s<sup>-1</sup>;
- Logone-Gana : module de 335 m³ s<sup>-1</sup>.

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

Aux pertes importantes 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 Bon-gor 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 Laiï, 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 inférier.

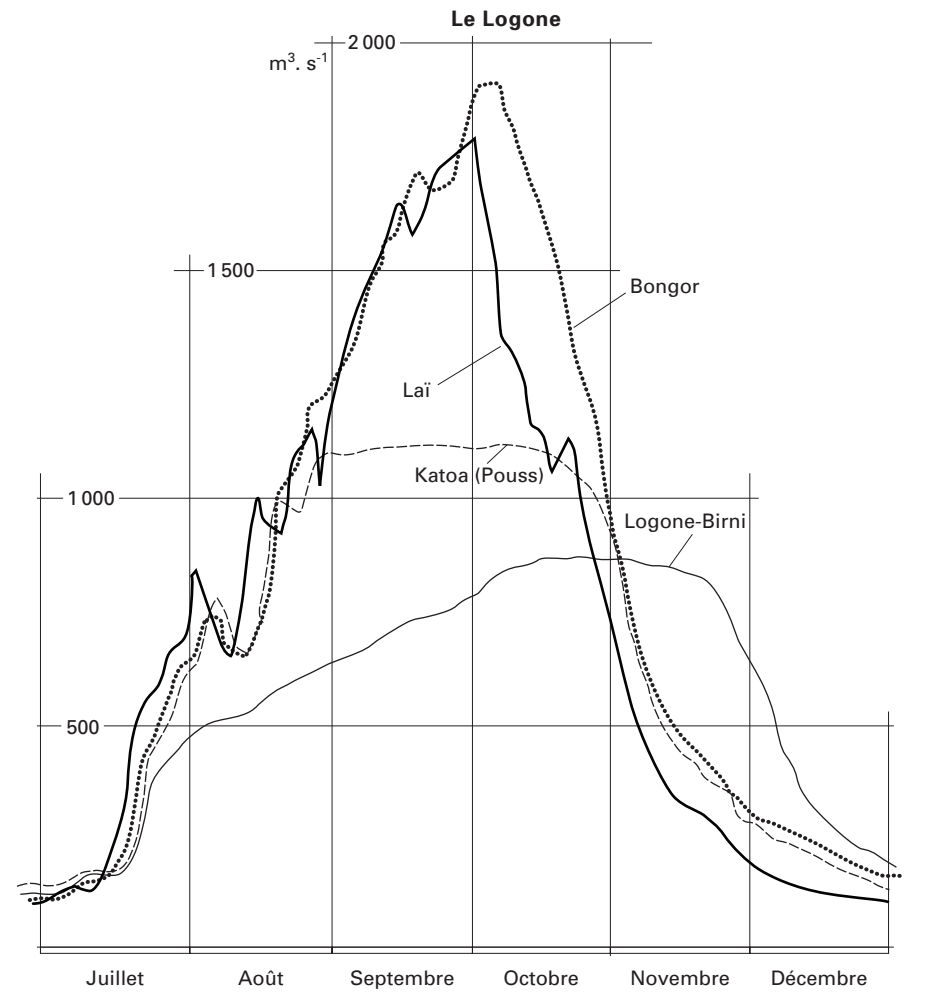


FIGURE 7

Hydrogrammes des hautes eaux du Logone, de Laiï à Logone-Birni, pour 1953, montrant à l'aval de Bongor l'amortissement de la crue et les pertes par déversement dans le Yayré.

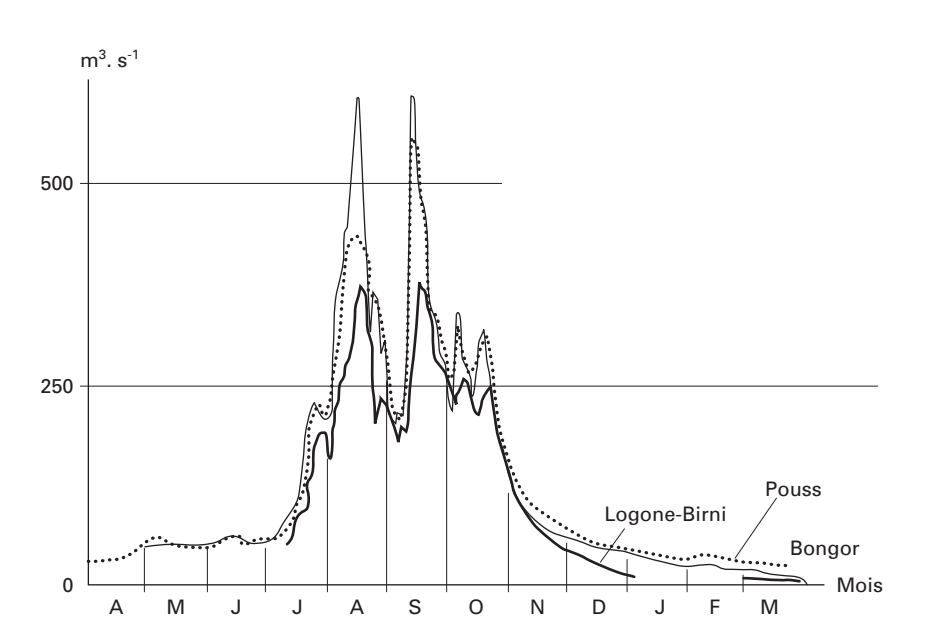


FIGURE 8

Hydrogrammes annuels du Logone, de Bongor à Logone-Birni, en année très sèche (1984-1985). L'écoulement est canalisé dans le lit mineur; l'amortissement de la crue et les pertes sont peu marqués.

L'étude fréquentielle des débits montre que les échantillons disponibles sur les stations principales du Logone inférieur s'organisent autour d'une distribution hypogaussienne, caracté-ristique des écoulements dans des plaines alluviales à très faibles pentes. On observe, en par-ticulier, que plus les déversements sont importants, plus l'évapotranspiration consomme l'eau disponible sur les surfaces d'inondation, d'où un infléchissement dans la distribution des modules d'années exceptionnellement humides.

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 homo-généisée du fait de l'hypogaussité des lois de distribution.

TABLEAU VIII <p>Distribution des modules en m³ s<sup>-1</sup></p>									
	Années sèches			Médiane	Années humides			K <sub>3</sub>	
Période de retour en années	50	20	10	2	10	20	50		
Bongor	155	254	330	525	626	642	750	1,90	
Logone-Gana	123	190	240	365	418	425	431	1,74	
Logone-Birni	145	182	215	321	415	439	466	1,93	

La distribution statistique des maxima annuels de crue du Logone à Bongor, Pouss, Logone-Gana et Logone-Birni aboutit à la prédétermination des débits de différentes périodes de retour indiquée dans le tableau IX.

L'étude des étiages montre une rupture entre l'échantillon observé de 1948 à 1978 et celui des années 1980. L'étiage décennal sec est estimé à 24 m³ s<sup>-1</sup> dans la première période (valeur médiane de 40 m³ s<sup>-1</sup>). L'étiage absolu est inférieur à 10 m³ s<sup>-1</sup> en 1984, 1985, 1986 et 1987.

TABLEAU IX <p>Distribution des maxima de crues en m³ s<sup>-1</sup></p>														
	Années sèches					Médiane					Années humides			
Période de retour (années)	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100			
Bongor	608	826	1124	1358	1607	1987	2255	2357	2425	2485	2516			
Pouss	513	660	851	992	1131	1312	1407	1431	1442	1448	1449			
Logone-Gana														
Logone-Gana	379	475	605	705	811	965	1068	1105	1128	1147	1156			
Logone-Birni	265	427	562	656	754	895	993	1028	1050	1067	1075			

#### Les pertes du Logone inférieur

Entre Bongor et Logone-Birni, les eaux déversées sur la rive droite du fleuve sont drainées par la Koulabou (nom que prend le Ba Illi à son extrémité aval), et une partie retourne au Logone en amont de Logone-Gana.

Avant les aménagements hydroagriques de la zone <sup>(3)</sup>, les eaux issues des déversements de la rive gauche inondaient le yayré par des défluent comme le Danay, le Guerléo entre Bongor et Pouss et la Logomatya en aval de Pouss et par simple débordement continu sur les berges. Du sud au nord à partir de Yagoua (km 0) entre les km 9 et 17, la rive gauche du Logone est très basse et marécageuse. C'est là que le mayo Danay rejoint le Logone, mais c'est là aussi qu'en aval du village de Tsébé, le mayo Guerléo prend naissance.

La vallée du Danay communique avec les marécages interdunaires s'étendant au sud et à l'ouest (région de Kalfou-Moulouday). Dans le prolongement du Danay, le mayo Boulouk semble être un ancien cours du mayo Boula, avant que celui-ci ne réussisse sa percée du cor-don dunaire Yagoua-Limani.

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

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

Après un faible parcours, la Logomatya recevait le mayo Araynaba qui partait du Logone en face du village de Gamsaye. Son cours, long d'une cinquantaine de kilomètres, s'éloigne du Logone de près de 8 km et le rejoint par un coude brusque de Ngodeni à Iviyé. La Logo-matya était alimentée par cette brèche d'Araynaba, large de 8 à 10 m et très active, mais qui s'encombrait très régulièrement d'herbes, rendant l'écoulement très diffus. Simple chaplet de mares pendant la saison sèche, elle voyait son débit se gonfler en août avec les premiers débordements du Logone. Ceux-ci en augmentant, franchissaient 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 m³ s<sup>-1</sup>.

Bien que tributaire des crues du Logone, son régime était donc pratiquement indépen-dant 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 lâchures qui se font au lac de Maga et le comportement de ces deux défluent est profondément modifié par les aména-gements des périmètres rizicoles de cette partie de la plaine :

- Toutes les brèches du mayo Guerléo 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 périmètres de SEMRY I (5 500 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'amé-nagement 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 bourre-let, mais la poussée de végétation freine progressivement cette hémorragie diffuse.

Le mayo Guerléo alimente aujourd'hui, avec en partie le mayo Tsanaga et le Logone, le vaste lac de 36 000 ha retenu par une digue en argile compactée de 27 km de longueur et de 2 à 7 m de hauteur entre Pouss et Guirvidig. Des ouvrages de prise ou de vidange permettent de maîtriser le niveau de la retenue. 6500 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 ha de cultures traditionnelles, une opération de reforestation et la valorisation des ressources piscicoles du lac dont la cote maxi-male est à 312,75 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 km² en moyenne. L'impact de la retenue de Maga semble alors être minime dans le fonctionne-ment du yayré (NAAH, 1992).

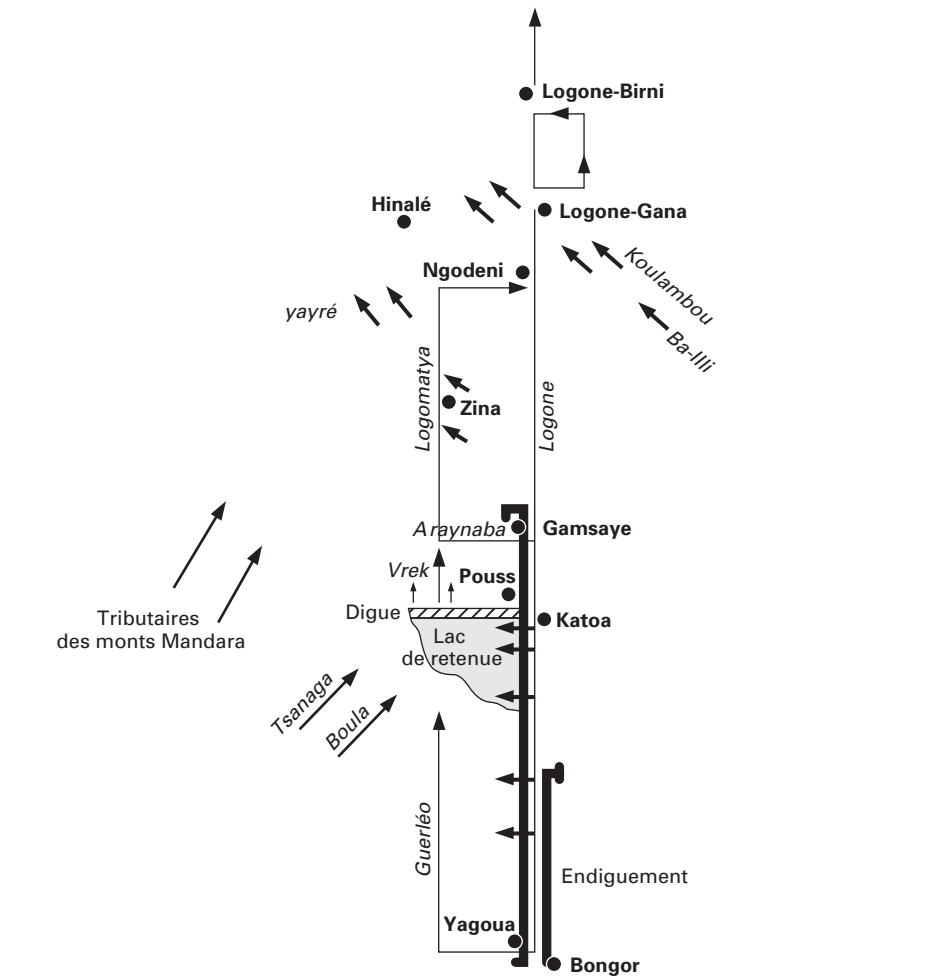


FIGURE 9

Identification des zones de pertes du Logone et d'alimentation du yayré. En trait épais, les endiguements entre Yagoua et Gamsaye.

<sup>[3]</sup> Voir le chapitre consacré à la Riziculture.

Les processus d'échanges s'avèrent très complexes et difficiles à quantifier dans les défluent. Par le mayo Guerléo transiteraient environ 2 % du volume du Logone à Bongor, soit près de 12 % des pertes totales entre Bongor et Katoa. Le volume des eaux qui se per-dent par la Logomatya est également très faible par rapport au volume global des pertes entre Katoa et Logone-Birni.

Entre Pouss et Logone-Birni, les déversements sur la rive gauche du Logone se faisaient certes par la Logomatya, mais beaucoup plus par la section du fleuve entre Pouss et Gam-saye, située en amont de la Logomatya. La perte du débit y était de l'ordre de 95 m³ s<sup>-1</sup>. Cette section du fleuve est actuellement endiguée, ce qui renforce les déversements sur la rive droite, dans la plaine de Katoa, avec un débit estimé à 190 m³ s<sup>-1</sup>.

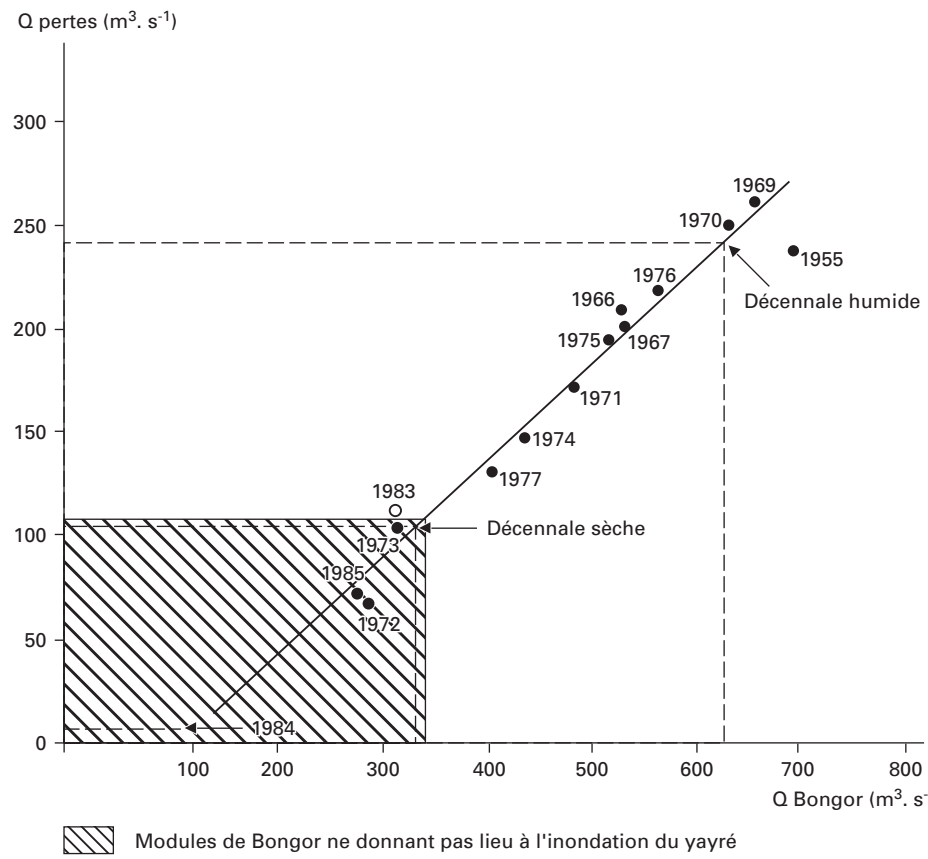
Les aménagements évoqués plus haut, réalisés pour l'essentiel entre 1954 et 1960 et parachevés par la création du lac de Maga, ont permis le contrôle partiel de l'inondation et entraîné des modifications de la rive gauche du Logone. On obtient l'identification suivante des zones de pertes (fig. 9) :

- section Bongor-Gamsaye : pertes par prélèvements de la Semry (Yagoua-Djaŋga, déversoir Logone de la retenue de Maga) ; on évalue le maximum probable prélevé dans cette sec-tion à 513 km³, soit 16,3 m³ s<sup>-1</sup>;
- section Gamsaye Logone-Birni : pertes par déversements du Logone (la Logomatya étant privée de l'Araynaba).

Le bilan des pertes globales entre Bongor et Logone-Birni est présenté dans le tableau X.

TABLEAU X <p>Bilan des pertes entre Bongor et Logone-Birni (m³ s<sup>-1</sup>)</p>				
Année	Modules Bongor	Modules Logone-Birni	Pertes	
1954-1955	621	438	183	
1955-1956	685	445	240	
1956-1957	565	403	162	
1957-1958	510	389	121	
1959-1960	525	405	120	
1966-1967	525	315	210	
1967-1968	533	332	201	
1969-1970	656	393	263	
1970-1971	630	378	252	
1971-1972	480	307	173	
1972-1973	282	213	69	
1973-1974	314	209	105	
1974-1975	432	284	148	
1975-1976	519	324	195	
1976-1977	561	341	220	
1977-1978	401	268	133	
1983-1984	310	194	116	
1985-1986	274	200	74	

Les pertes sont très faibles pour les années considérées comme des périodes très sèches (1972, 1973, 1983, 1985), en ce qui concerne les crues et les modules du Logone. Pour ces années, les inondations dans les yayrés sont de peu d'importance, comme le montre la figure 10. L'année 1984, par exemple, très sèche, aurait donné un débit de pertes de l'ordre de 10 m³ s<sup>-1</sup> et on pourrait considérer qu'à partir de la décennale sèche, soit un module à Bon-gor de l'ordre de 330 m³ s<sup>-1</sup>, les inondations dans les yayrés sont nulles ou de peu d'importan-ce. Il apparait nettement que le volume des pertes est lié à l'importance des modules de Bongor, près de 98 % de ces pertes se faisant en période de crue; l'absence d'inondation de grande amplitude est surtout causée par un affaiblissement des crues du Logone.





## ATLAS DE LA PROVINCE EXTRÊME-NORD CAMEROUN

### Planche 3

En juin, les précipitations ont aussi grossi le chapelet de mares résiduelles de la Logomatya, 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 m³ s<sup>-1</sup> à Bongor; elle s'effectue simultanément par ses deux extrémités (Araynaba et coude de Ngoden). 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 m³ s<sup>-1</sup> environ.

Une fois la jonction faite à Zina, le courant de la Logomatya s'oriente sud-nord, sauf près d'Iviyé, où le Logone continue à se déverser dans la Logomatya. Toute l'eau pénétrant alors dans la Logomatya est évacuée dans le yayré. Pour des débits maxima de 1 100 m³ s<sup>-1</sup> à Bongor, l'extension de l'inondation se limite à un large drain au nord, en continuité de la Logomatya et à des débordements limités côté occidental de ce cours.

Jusqu'à 1 200 m³ s<sup>-1</sup> à Bongor, les eaux de crue envahissent la totalité du lit de la Logomatya, les dépressions et les drains artificiels aménagés par les pêcheurs. Au-dessus de 1 200 m³ s<sup>-1</sup>, le flot de crue inonde la plaine, mais l'onde de crue ne parvient à l'El Beïd que si le Logone dépasse 1 500 m³ s<sup>-1</sup> 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 yayré :
  - la première correspond au drain situé en aval de la Logomatya à Ngodeni par lequel l'inondation progresse selon un axe dépressionnaire orienté SSE-NNW à partir d'un débit à Bongor de 700 m³ s<sup>-1</sup>;
  - la seconde se situe au-dessus d'un débit de 1 200 m³ s<sup>-1</sup> sur un axe dépressionnaire, parallèle au premier et séparé de lui par une zone étroite pouvant rester exondée, centrée sur Hinalé et caractérisée par la seule savane arborée du yayré. Cette seconde voie, de loin la plus large et la plus importante, est empruntée par les eaux de la Logomatya amont, jadis du Guerléo.

On relève que l'épaisseur de la couche d'eau qui se déverse dans le yayré 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'étale 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 Logomatya à Zina dès la mi-octobre, alors que les déversements se poursuivent au nord par Iviyé, bien que la décrue soit déjà amorcée. On note même sur cet axe des écoulements supérieurs à ceux du Logone, du fait d'apports complémentaires provenant de la Logomatya amont.

Ces déversements entre Ngodeni et Iviyé ne cessent que pour un débit de 500 m³ s<sup>-1</sup> environ à Bongor qui marque un renversement du courant au niveau d'Iviyé 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 Logomatya paraissent concerner un volume relativement constant d'une année à l'autre.

La partie la plus importante des eaux du yayré est cependant drainée par l'El Beïd (pour autant que la crue du Logone ait dépassé 1 500 m³ s<sup>-1</sup>). C'est la seule qui interviendra dans le bilan, les eaux de la Logomatya retournant au Logone étant comptabilisées à Logone-Birni.

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

L'El Beïd et ses deux principaux affluents, la Kalia sur la frontière du Nigeria et la Forunduma au Nigeria, drainent à Gambarou-Fotokol, peu avant de se jeter dans le lac Tchad, un ensemble de régions très plates comprenant le yayré 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 12 500 km².

Le cours proprement dit de l'El Beïd ne devient visible dans le yayré 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 km environ du Chari. Il reçoit en rive gauche, après un parcours d'environ 15 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 km, puis plein ouest sur 45 km. À Gambarou-Fotokol, après avoir reçu la Forunduma, il rejoint le lac Tchad au bout de 25 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 mm. Avec les années nulles 1972 et 1973, la moyenne sur 19 ans est de 38,9 m³ s<sup>-1</sup>, soit un volume de 1,23 km³. Depuis, l'absence d'écoulements annuels a été observée de nombreuses fois pendant la décennie 1980.

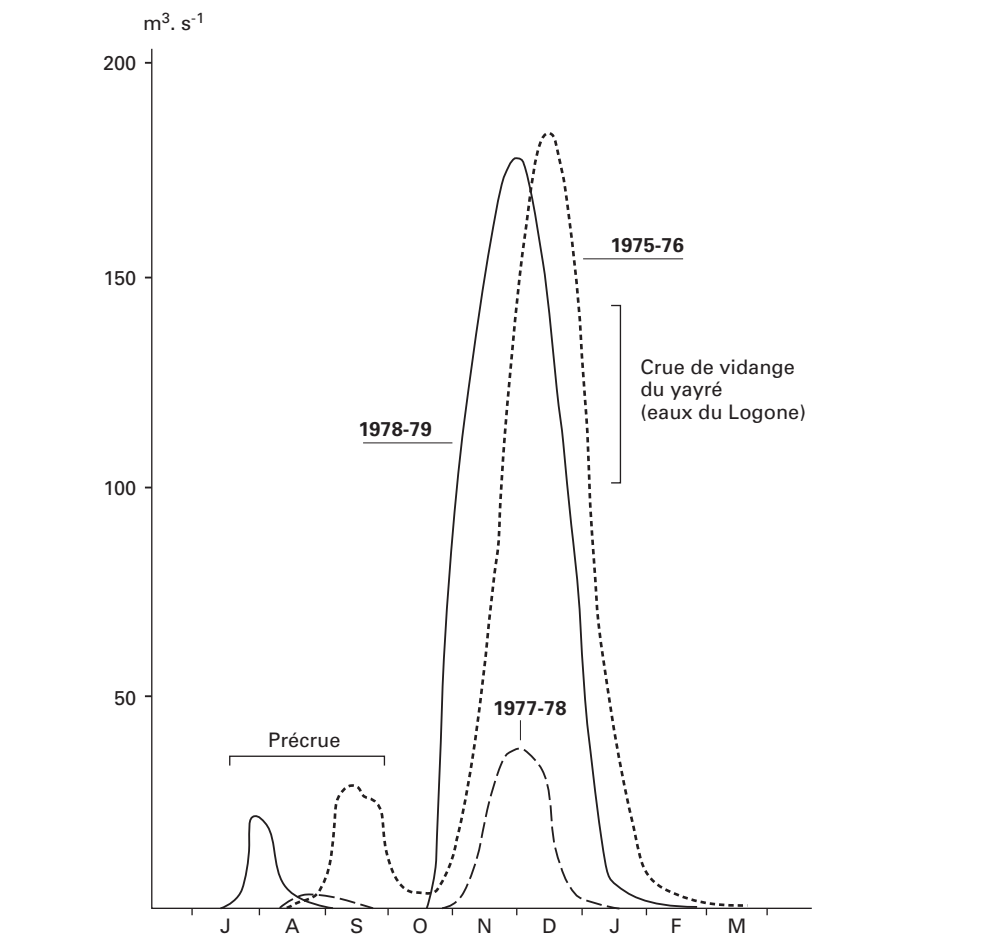
Le régime hydrographique de l'El Beïd dépend de deux types de fonctionnement du basin apparent :

- 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 yayré 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.

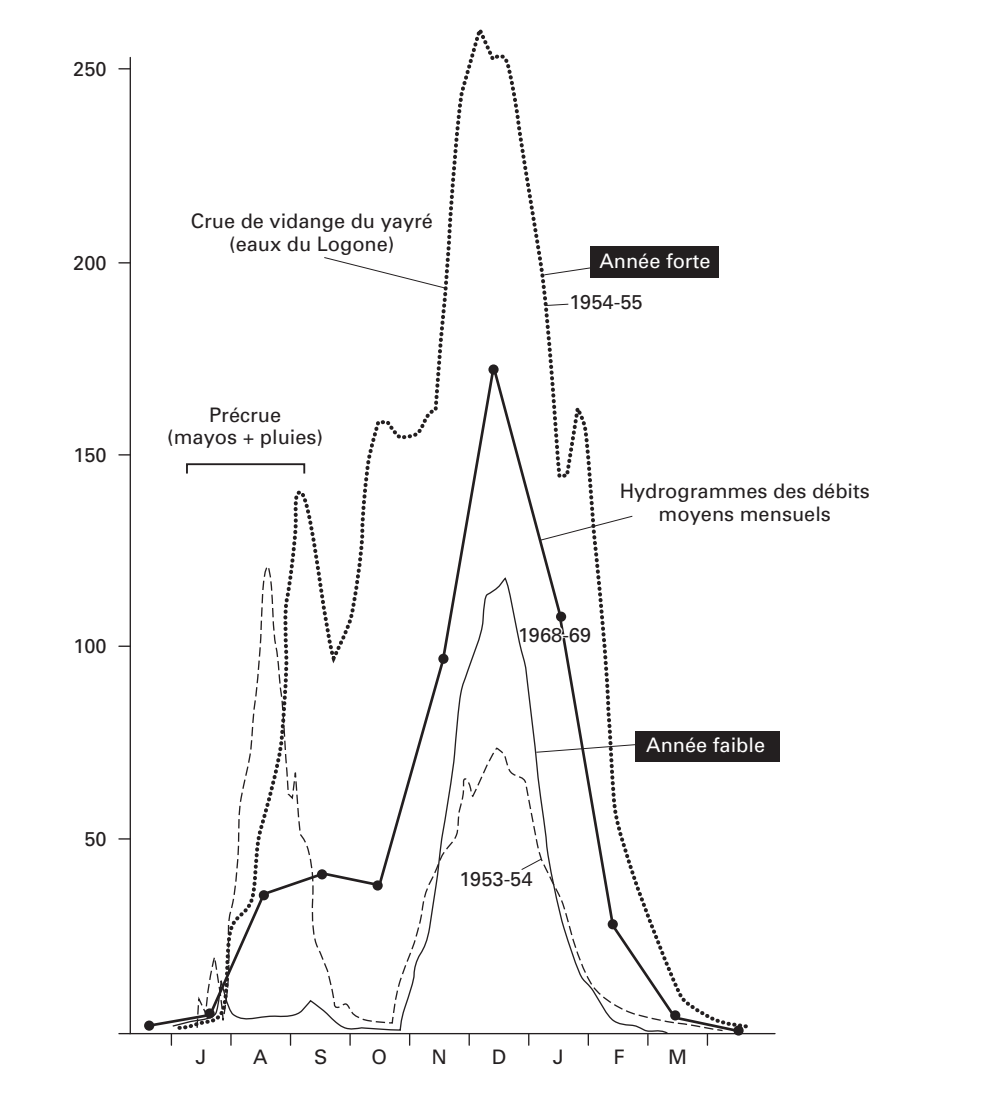
Dans la figure 11, on a indiqué trois hydrogrammes de la station de Tildé montrant de manière caractéristique les deux phases d'écoulement :

- précruce provenant des mayos et des pluies;
- crue de vidange du yayré.



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

## Hydrogrammes annuels de l'El Beïd à Fotokol



**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 précruce et de vidange du yayré (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 précruce et de crue du yayré. Cela n'est plus vérifié pour les années faibles du Logone (1953-1954) où la précruce devient plus forte en maximum atteint. À la limite, seule la précruce peut exister. Les deux types d'écoulement sont le plus souvent parfaitement distincts. Il arrive aussi que la précruce soit nulle. En moyenne, la précruce 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 m³ s<sup>-1</sup>;
- une crue décennale de 300 m³ s<sup>-1</sup>;
- une crue vicennale de 355 m³ s<sup>-1</sup>.

Le maximum médian spécifique serait de 14,5 l.s<sup>-1</sup> km<sup>2</sup>, 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 évènements serait de l'ordre de 20 ans.

- L'analyse statistique des modules – dont deux nuls – conduit à retenir :
  - la valeur médiane de 38,9 m³ s<sup>-1</sup>, son écart-type de 26,4 m³ s<sup>-1</sup>; le coefficient de variation est de 0,679;
  - un module décennal humide de 72,5 m³ s<sup>-1</sup>, vicennal de 82 m³ s<sup>-1</sup> (et centennal de 100 m³ s<sup>-1</sup> ?);
  - un module quinquennal sec de 17 m³ s<sup>-1</sup>, décennal de 5 m³ s<sup>-1</sup> et nul pour une fréquence vicennale.

Le K<sub>3</sub> vaudrait alors 14,5..., 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 km².

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 (BILON *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 1 250 m³ s<sup>-1</sup>.

Le maximum de la crue annuelle a atteint 5 160 m³ s<sup>-1</sup> en 1961, la valeur médiane étant de 3 690 m³ s<sup>-1</sup>. L'étiage absolu (médiane estimée à 126 m³ s<sup>-1</sup>) admettait une valeur de fréquence décennale sèche de 88 m³ s<sup>-1</sup>.

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).

Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	MA
m³ s <sup>-1</sup>	190	186	281	557	1250	2360	3230	3100	1670	776	448	270	1200
MA <span> </span> : moyenne annuelle													

Les étiages absolus relevés en 1973 et 1974 sont respectivement de 47,7 et 38,6 m³ s<sup>-1</sup>. Les modules des années 1972-1973 et 1973-1974 tombent en dessous de 600 m³ s<sup>-1</sup>. Enfin, les maxima annuels de ces deux années sèches ont été de 1 430 et 2 130 m³ s<sup>-1</sup>. Le volume transitant à N'Djamena en année moyenne est alors estimé à 37,8 km³.

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 1 041 m³ s<sup>-1</sup>, soit un volume annuel moyen de 32,9 km³. Sur la période 1972-1991, le module moyen des deux décennies sèches tombe à 686 m³ s<sup>-1</sup>, soit un volume moyen des apports du Chari de 21,6 km³ an<sup>-1</sup>.

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 m³ s<sup>-1</sup>, soit 1/5 du module moyen.

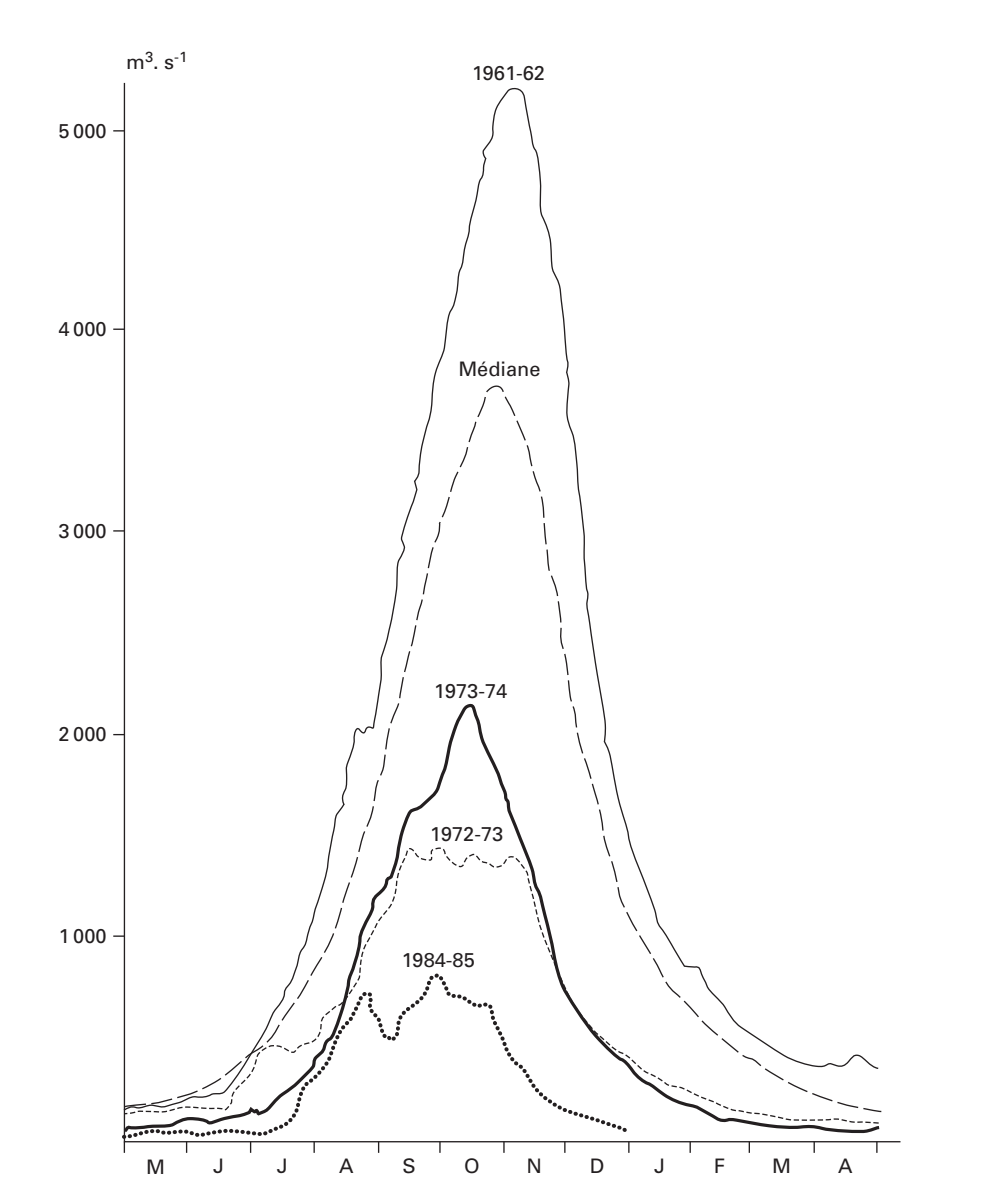
La crue annuelle est également très affectée par la crise hydroclimatique. La valeur médiane sur 58 ans n'est plus que de 3 150 m³ s<sup>-1</sup>. En 1984, pratiquement inexistante, la crue n'atteint que 785 m³ s<sup>-1</sup>.

Dans les années les plus défavorisées, le débit d'étiage absolu tombe à 20-25 m³ s<sup>-1</sup>. La figure 13 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'hydraulicité 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 mémoire 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

## Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'Djamena

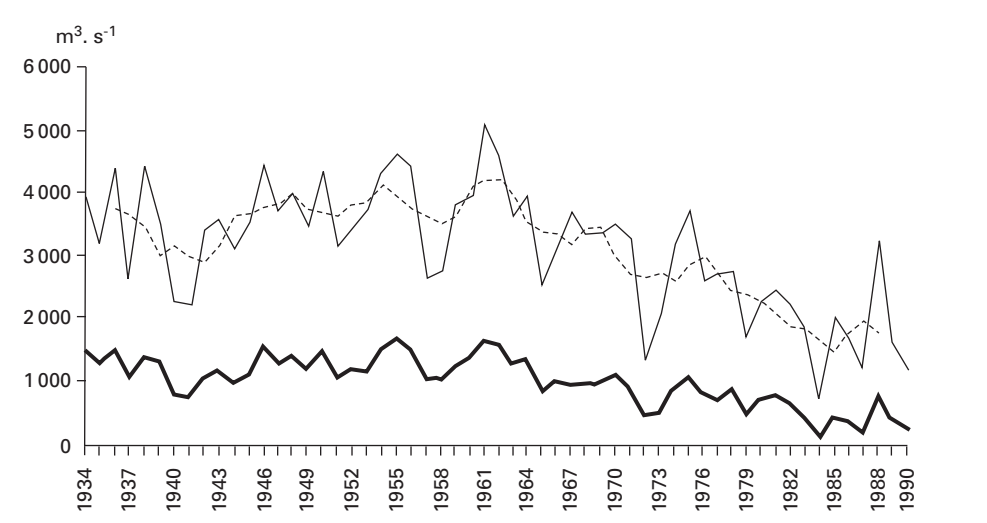


**FIGURE 13**  
**Hydrogrammes caractéristiques du Chari à N'Djamena en périodes humide et sèche et indication des valeurs médianes.**

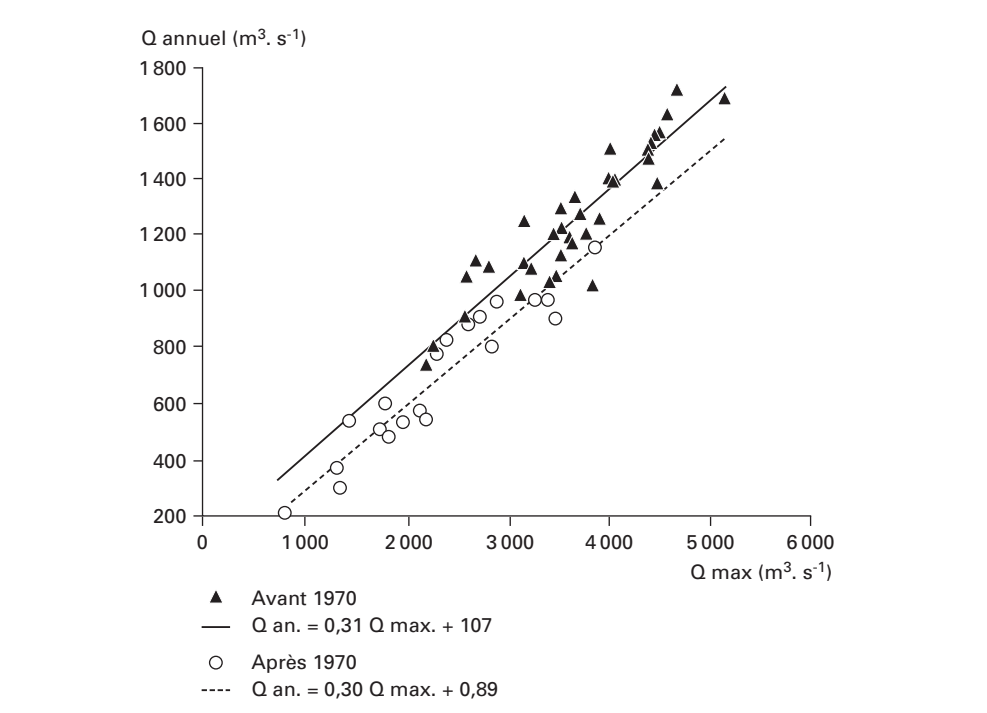
(OLIVRY, 1987, 1992, 1993). L'évolution actuelle vers un tarissement accéléré de la vidange des nappes souterraines lors de la décrue du Chari semble corroborer cette idée d'une « maladie » des fleuves de l'Afrique tropicale sèche.

Un retour à la « normale » suppose une longue période de bonnes précipitations permettant la réalimentation des aquifères du bassin du Logone et du Chari.

La mise en relation des maxima annuels de crue et des modules (fig. 15) montre deux régressions nettement décalées, qui illustrent bien la différence du fonctionnement hydrologique du Chari pour la période dite normale et la période sèche actuelle.



**FIGURE 14**  
**Évolution des débits caractéristiques du Chari à N'Djamena de 1934 à 1990. En trait gras, les modules annuels; en trait fin, les maxima annuels de crue et en pointillé leurs moyennes mobiles calculées sur 5 ans.**



**FIGURE 15**  
**Relations entre le débit maximum annuel et le module du Chari à N'Djamena pour la période antérieure à 1970 et les deux dernières décennies sèches.**

#### Un défluent camerounais du Chari : le Serbéwel

En aval de N'Djamena et Kousseri, le Chari, au moment de la crue, immerge les savanes boisées qui remplacent ici les grandes plaines herbeuses du sud. La crue se produit en octobre-novembre et pénètre dans les terres, côté Cameroun, par l'intermédiaire de défluent importants comme le Serbéwel et le Taf-Taf.

Le Serbéwel est en fait un bras du Chari qui se sépare de ce dernier 18 km en aval de Kousseri et se jette dans le lac à l'aval de Makari. Sa longueur, abstraction faite des méandres, est de 100 km environ. Large de 50 à 100 m, le Serbéwel a des berges franches possédant un bourrelet assez continu recouvert d'une galerie forestière. L'écoulement du Serbéwel est continu pour les années de fortes crues; plus généralement, dès février et mars, le débit devient nul faute d'écoulement, bien que le Serbéwel reste en eau; la pente est alors nulle entre le lac et la naissance du Serbéwel, alors que le Chari continue lui-même à couler : le plan d'eau à l'embranchure du Chari serait donc à un niveau légèrement inférieur que celui de l'embranchure du Serbéwel et il doit exister un léger courant orienté du sud-ouest au nord-est le long du rivage camerounais (TILLEMENT, 1970).

Plus en aval, le Taf-Taf, défluent du Chari, va se jeter dans les marécages du lac au nord de Massaki.

Dans toute cette région facilement inondable, la monotonie de la plaine n'est rompue de loin en loin que par de petits reliefs constitués d'accumulation de terre de quelques mètres d'altitude appelés « buttes Saw » dont l'origine serait anthropique pour certains; les Saw auraient élevé ces îlots pour rester au sec en période d'inondation.

Mesuré à Maltam, le module interannuel du Serbéwel serait de l'ordre de 60 m³ s<sup>-1</sup>. Il faut des années très sèches comme 1972, 1973 ou les années 1980 pour que l'écoulement du Serbéwel devienne nul.

La distribution mensuelle des débits en période « normale » est donnée dans le tableau XII.

Le débit maximal observé est de 415 m³ s<sup>-1</sup>, mais il aurait dépassé 430 m³ s<sup>-1</sup> en 1961 et 1955. La crue médiane atteindrait 279 m³ s<sup>-1</sup>.

	TABLEAU XII												
	Distribution mensuelle des débits du Serbéwel en m³ s <sup>-1</sup>												
Mois	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	MA
m³ s <sup>-1</sup>	2,82	3,33	5,74	20,2	50,7	129	195	193	102	26,5	10,3	4,43	60
MA <span> </span> : moyenne annuelle													

#### Le lac Tchad

Le Chari rejoint le lac Tchad par un delta dont le bras principal aboutit à Djimtilo. L'ensemble des apports hydriques au lac est estimé en période « normale » à 46 milliards de mètres cubes dont environ 6 milliards de précipitations reçues par le plan d'eau du lac (pluviométrie moyenne de 330 mm). Sur les 40 milliards de mètres cubes d'apports fluviaux, 95 % proviennent du bassin du Chari.

Le lac Tchad est partagé entre le Niger, le Tchad, le Nigeria et le Cameroun. Le Cameroun couvre environ 1/12 de la surface du « moyen Tchad », soit 1 700 km².

Côté Cameroun, la rive est très plate et le lac proprement dit est séparé de la terre ferme par une large zone marécageuse occupée par des herbiers.

Au cours des années déficitaires de 1973 et 1974, toute la partie camerounaise était exondée avec une végétation dense, à l'exception d'eaux libres réduites à la région sud-est au nord de Djimtilo (Kalom). Depuis ces années-là, des phases hésitantes de remise en eau ont marqué la succession d'années d'hydraulicité plus ou moins déficitaire. De fait, avec la persistance de la sécheresse, des modifications importantes ont été apportées au milieu, en particulier par la séparation de la cuvette du nord-ouest (Nigeria-Niger), de celle du sud-est (Cameroun-Tchad).

L'histoire du lac montre qu'à une époque récente de tels phénomènes ont déjà été observés et ne présentent donc pas de caractère irréversible. Nous ne nous y attarderons pas et renvoyons aux nombreuses études sur ce sujet (4).

En période moyenne, le lac atteint une cote de 281,5 m. Il couvre alors une superficie de l'ordre de 20000 km² et a un volume de l'ordre de 65 km³. Lors de la crue du lac, entre 1962 et 1964, le maximum atteint correspondait à la cote 283,60 m, soit une superficie de 23500 km² et un volume d'eau stocké de 105 km³.

Au minimum 1971, la surface du lac s'est réduite à 19000 km² pour un volume stocké de 49 km³ à la cote 280,8 m.

À l'étiage 1973, la surface du lac n'occupe plus que 8000 km² et le volume stocké n'est plus que de 28 km³. Dès juillet 1973, le lac est scindé en deux cuvettes. Seule la cuvette sud est alimentée par le Chari et la cuvette nord se trouve asséchée en 1975 et 1976 malgré une meilleure hydraulicité. La situation se dégrade encore au cours des années suivantes (fig. 16).

Le contexte déficitaire se poursuit au cours des années 1980. L'apport du Chari n'est que de 17 km³ en 1983 et tombe à 6,7 km³ en 1984, année la plus dramatique pour les régions du Sahel.

Les années 1986 et 1987 restent faibles et après un bref sursaut en 1988, le remplissage de la cuvette sud reste soumis aux mêmes aléas déficitaires.

Le niveau moyen de la cuvette sud est à l'altitude de 280,5 m; la surface inondée est alors de 7500 km².

À 279 m d'altitude, le niveau de la cuvette se réduit, en 1974 et 1987, à 4000 km².

Les travaux de J. LEMOALLE (1979) à partir des images Landsat montrent que la cuvette sud se scinde alors en trois zones d'eaux libres :

- environ 1 700 km² pour les eaux libres du sud-est;
- environ 775 km² pour les eaux libres du sud-ouest;
- environ 1 550 km² pour les eaux libres situées au sud de la grande barrière qui sépare la cuvette sud de la cuvette nord asséchée.

L'histoire récente, entre 1800 et aujourd'hui, commence par une période de très haut niveau (cote 2867) et, après une série de fluctuations, aboutit à l'assèchement connu aujourd'hui (cote 2787).

Il est important de souligner que le volume des apports annuels du Chari n'est pas très éloigné du volume stocké dans le lac en période « normale ».

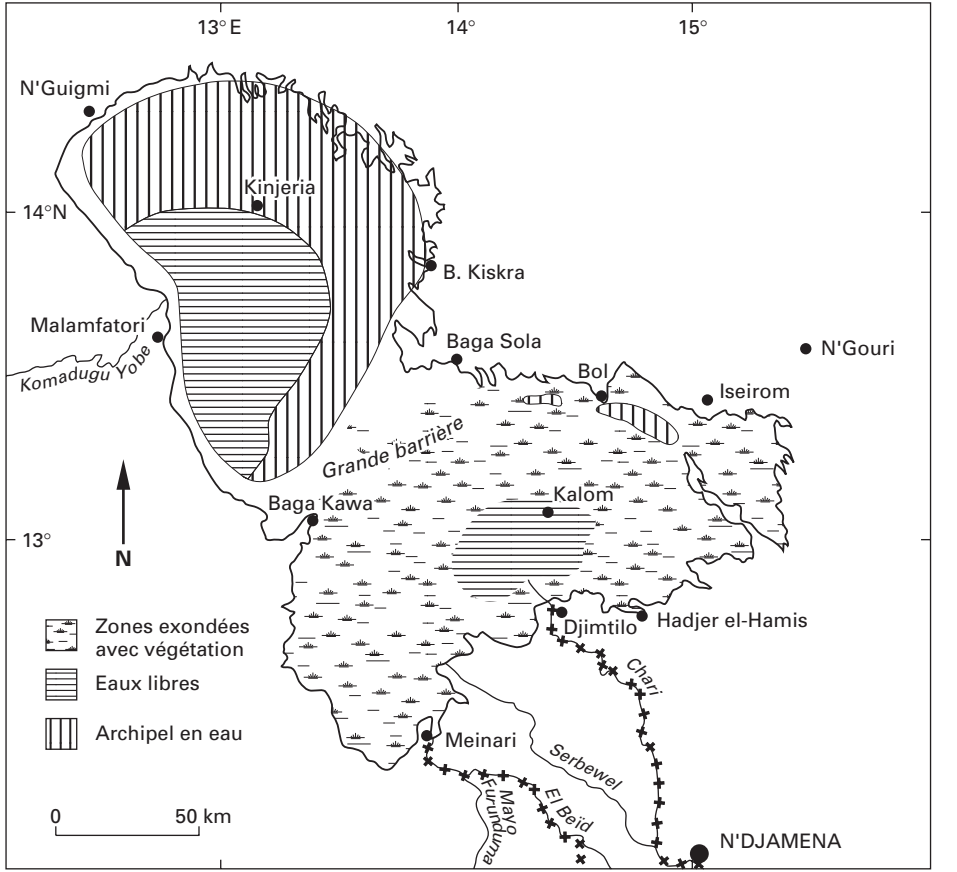
Cela permet de conclure qu'une évolution rapide du lac est prévisible dans le cas d'une série d'années d'hydraulicité moyenne sur les bassins du Chari et du Logone; ou même d'une seule année exceptionnellement humide (OLIVRY, 1986; POLYAUD, COLOMBANI, 1989).

## Bilan des apports des tributaires camerounais du bassin du lac Tchad

En reprenant, dans un bilan hydrologique général, les principaux résultats de cette étude, on a, dans un premier temps, pris en considération les éléments du bilan qui paraissent le mieux illustrer les conditions hydroclimatiques moyennes du XX<sup>e</sup> siècle avant le déficit actuel.

À Lai, le volume du Logone en année moyenne (512 m³ s<sup>-1</sup>) est de 16,15 km².

À Bongor, avec un débit moyen de 534 m³ s<sup>-1</sup>, le volume des apports moyens annuels est de 16,84 km³, soit 0,69 km³ de plus qu'à Lai dont 0,1 km³ d'excédent des apports de la Tandjilié sur les pertes Bénoué et Ba Illi. Le bassin intermédiaire (17 000 km²) fournit donc un



**FIGURE 16**  
**Carte schématique du lac Tchad, début juillet 1973 (d'après Chouret, Franc, Lemoalle, 1974).**

(4) TILHO (1947) ; TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (1969) ; SERVANT (1973) ; CHOLRET (1974) ; MALEY (1981).



## ATLAS DE LA PROVINCE EXTRÊME-NORD CAMEROUN

### Planche 3

Carte de la province Extrême-Nord

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 m³ s<sup>-1</sup>, ce qui donne un volume annuel de 12 km³, soit 4,84 km³ de pertes depuis Bongor.

GAC (1979) identifie en rive droite 1,7 km³ de pertes provisoires dans la plaine inter Chari-Logone avec restitution de 0,9 km³ en amont de Logone-Birni, ce qui signifie des pertes par évaporation de 0,8 km³ (en plus bien sûr de la lame précipitée). Un volume de 4,04 km³ 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 2000 km<sup>2</sup>, les pertes ne doivent pas excéder 0,4 km³ 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 km³ provenant du Logone qui transiterait par le yaéré.

Le bilan du yaéré comprend en entrées :

- les apports du Logone : 3,64 km³ ;
- les apports dus aux précipitations directes ; celles-ci estimées en moyenne interan-nuelle à 700 mm sur les 800000 ha du yaéré donnent un volume précipité de 5,6 km³ ;
- les apports dus aux mayos des monts Mandara, estimés à 0,95 km³.

Les entrées dans le yaéré totalisent donc un peu plus de 10 milliards de mètres cubes (10,19 km³).

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'hydro-logie de surface. Le volume des apports de l'El Beïd évacués du yaéré est en année moyenne de 1,23 km³ (module de 38,9 m³ s<sup>-1</sup>).

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

<div> <div><div>Delta du Chari</div></div> <div><div>Serbével</div></div> <div><div>Total Chari-Logone</div></div> </div>	<div> <div>35,9 km³</div> <div>1,9 km³</div> <div>37,8 km³ (Chari à N'Djamena + 12 km³ du Logone)</div> </div>
<div> <div><div>El Beïd</div></div> <div><div>Apports Nigeria</div></div> </div>	<div> <div>1,23 km³ (vidange du yaéré)</div> <div>1,0 km³</div> </div>
<div> <div><div>Total écoulement superficiel</div></div> <div><div>Apports des précipitations</div></div> </div>	<div> <div>40 km³</div> <div>6 km³ (300 mm de pluies moyennes sur 20000 km³ de surface moyenne du lac)</div> </div>
<div> <div><div>Total des entrées</div></div> </div>	<div> <div>46 km³</div> </div>

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 représen-tent au maximum 5 % des entrées, l'évaporation du lac peut être chiffrée à 2200 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 2200-2300 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 km³ an<sup>-1</sup> (58 %). L'alimentation potentielle du yaéré n'excède pas sur la période 0,5 km³ en provenance des monts Mandara et 2 km³ en provenance du Logone; son drainage par l'El Beïd n'est que de 0,2 km³. Les apports au lac totaliseraient 22 km³ 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 passer de la climato-logie 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 hydraulicité 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 tel-lement bouleversée que la survie des hommes serait totalement remise en cause par la désér-tification 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 prélèvements effectués pour l'irrigation pendant la saison sèche et les étiages... 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'Ex-trême-Nord du Cameroun. L'exemple de la mer d'Aral est là pour le rappeler. Mais une ges-tion 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

Carte de la province Extrême-Nord

BÉNECH (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 Qauthiot - 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 hydro-logique.

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.), LEFÈVRE (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.

CALLÈDE (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 pro-gramme de développement ». *In : Ressources en eaux souterraines dans le bassin du lac Tchad*. CBLT, Cameroun, Niger, Nigéria, 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.), KALLEL (R.), 1984 — « Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride. » *In :* Proceedings of the Symposium of Harare, *IAHS Publ.* n° 144 : 299-300.

DUBREUIL (P.), 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.

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

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

*Études des potentialités du bassin conventionnel du lac Tchad - Hydrologie - Analyse statis-tique 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 — *Géochimie du bassin du Tchad - Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation*. Strasbourg, Thèse Sci., 249 p.

GUISCAFRE (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. Utilisa-tion 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 bassins*, *IAHS, 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 30000 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, Irtais-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 Came-roun. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 6 (4).

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

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

N'TONGA (J.-C.), 1993 — *Structure et fonctionnement en crue d'un bassin versant soudano-sahélien dans le Nord-Cameroun (Mouda, 18 km²)*. 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.), HOORELBECKE (R.), ANDIGA (J.), 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.), HOORELBECKE (R.), 1976 — *Étude hydrologique du Haut-Bassin du mayo Tsa-naga à Mokolo*. Rapport définitif. Yaoundé, Orstom-Onarest, 93 p.

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

OLIVRY (J.-C.), 1977 — « Transports solides en suspension au Cameroun ». *In :* Actes du colo-que de Paris sur l'érosion et les transports solides dans les eaux continentales, *IAHS 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. Monogra-phies Hydrologiques n° 9, 734 p.

OLIVRY (J.-C.), SIRCOULON (J.), 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 écoule-ments : Sénégal et Casamance. » *In :* Proceedings of the Vancouver Symposium, *IAHS Publ.*, n° 168 : 501-512.

OLIVRY (J.-C.), 1987 — « Méthode simplifiée de prédétermination 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.), NAAH (E.), 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.), TOURÉ (M.), 1992 — « The ill rivers of Africa. » *In :* Colloque ICID, *Impactos de variacoes climaticas e desenvolvimento sustentavel em regioes semi-aridos 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.), LÉLOALLE (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 — *Comp-or-tement hydrique et sensibilité à l'érosion de quelques sols du Nord-Cameroun soumis à des averses 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 — *Traçage 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 Cénozoïque 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.

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

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

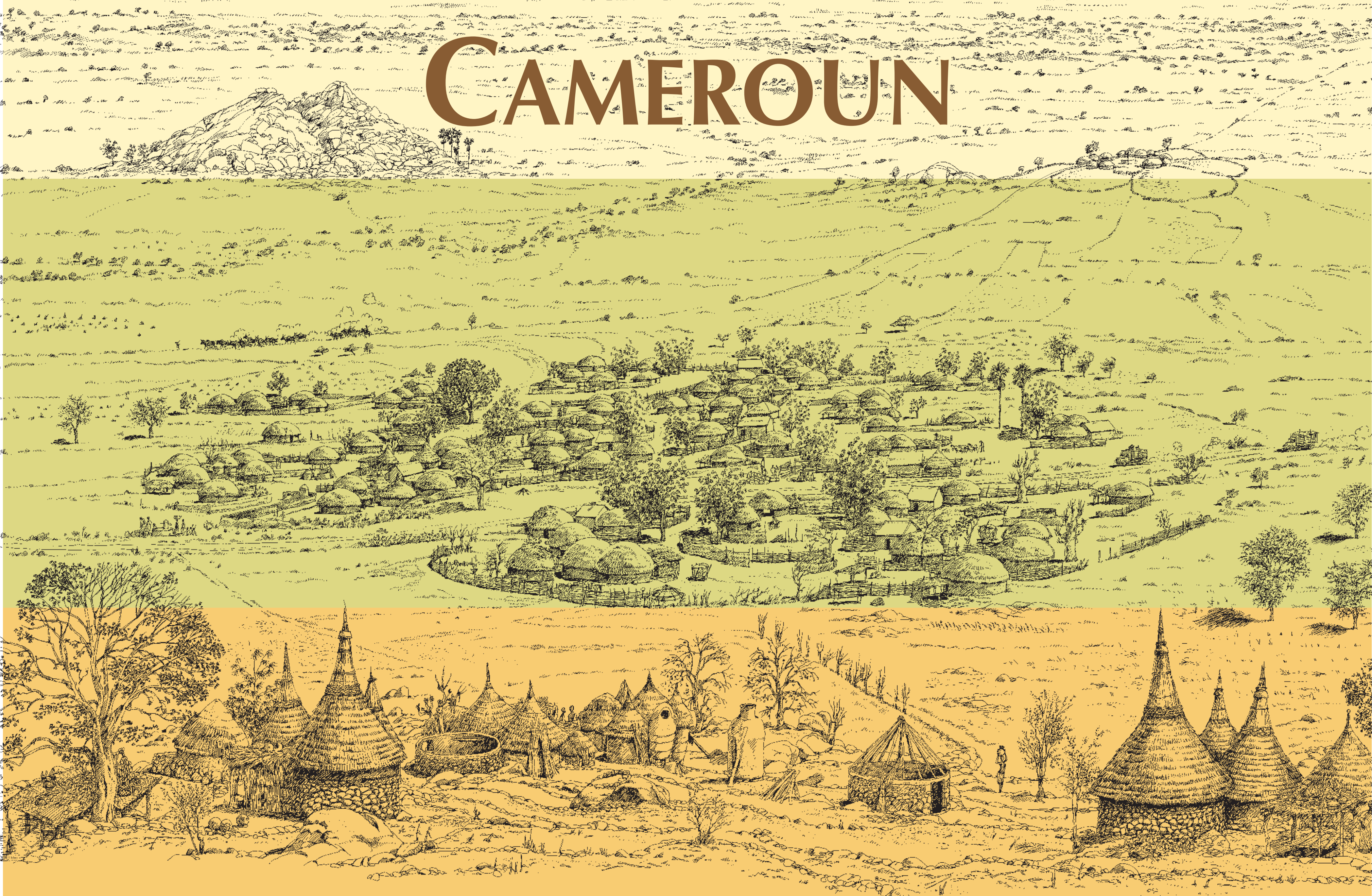
TOUCHEBEUF de LUSSIGNY (P.), 1969 — *Monographie hydrologique du lac Tchad*. Paris, Orstom, 3 tomes.

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

VUILLAUME (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



*Coordination des travaux*

Christian SEIGNOBOS  
Institut de recherche pour le développement, Paris  
Olivier IYÉBI-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 Many, 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

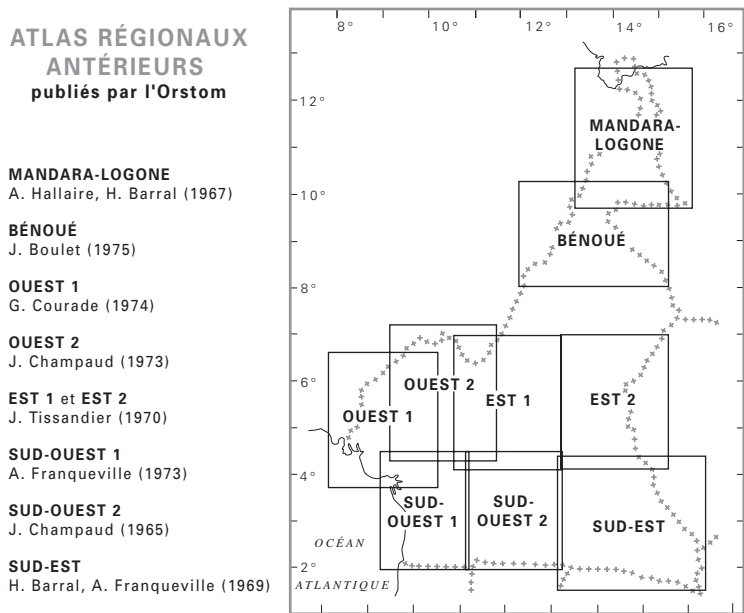
*avec la collaboration de*  
Paul MOBY-ÉTIA  
Directeur de l’Institut national de cartographie (INC)  
Yaoundé

*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 passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.