INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES,
L'INDUSTRIE ET LE SOUS-SOL

DOCUMENTATION
EXEMPLAIRE UNIQUE
A CONSULTER SUR PLACE

ONAREST

QUALITÉ DES EAUX DE QUELQUES RIVIÈRES DU CAMEROUN MÉRIDIONAL

J. C. OLIVRY
Hydrologue de l'ORSTOM
E. NAAH
Hydrologue de l'IRTISS

ONAREST

71837

17004

MAI 79
Fdi : A 17004

INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES TECHNIQUES, L'INDUSTRIE
ET LE SOUS-SOL

QUALITE DES EAUX DE QUELQUES RIVIERES DU CAMEROUN MERIDIONAL

J.C. OLIVRY
Hydrologue de L'ORSTOM

E. NAAH
Hydrologue de l'IRTISS

ERRATA.

On notera en particulier :

- Dans les tableaux et le texte, les valeurs de la conductivité sont données en microhos par cm (µS/cm).

- p. 22, dernier paragraphe, première ligne : au lieu de "processus anciens", lire :"processus annexes".

- p. 24, ligne 18, lire "... des eaux plus minéralisées de la partie confinée des nappes".

QUALITE DES EAUX DE QUELQUES RIVIERES DU CAMEROUN MERIDIONAL

1. INTRODUCTION

2. GENERALITES

3. LES MESURES

3.1. Les prélèvements
3.2. Les paramètres mesurés
3.3. Résultats des mesures

4. QUALITE DES EAUX ETUDIEES

4.3.1 Cations solubles

4.3.11 Alcalinc terreux
4.3.12 Alcalins

4.3.2. Anions

4.3.21 Chlorures et sulfates
4.3.21 Carbonates et bicarbonates

4.3.3. Silice et Fer

5. VARIATIONS SAISONNIERES DES CONCENTRATIONS SUR LE NYONG, LA SANAGA ET LE MBAM.

5.1. Cations et anions
5.2. Silice et Fer

6. ESTIMATION DES TRANSPORTS DISSOUS

7. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION

En 1973, l'ORSTOM a entrepris un programme de mesures de qualité des eaux des rivières du CAMEROUN Méridional (ou Sud-CAMEROUN).

Confrontés à d'autres tâches d'un caractère prioritaire, les responsables n'ont malheureusement pas pu réaliser une étude systématique des variations dans le temps de la composition chimique des eaux de surface. Les points de prélèvements sont géographiquement très inégalement répartis. La cadence des prélèvemants est généralement insuffisante, sauf dans le cas du LBAM et de la SANAGA ; pour la plupart des stations, les hydrologues ont procédé à des prélèvements ponctuels et les analyses ne traduisent alors qu'un état donné de la chimie des eaux d'une rivière.

Ces réserves étant faites, il nous a paru cependant intéressant de publier dans une note, les résultats obtenus. Ceux-ci constituent par eux-mêmes une information nouvelle précieuse. Antérieurement à nos travaux, peu ou pas d'analyses physicochimiques de la qualité des eaux avaient été faites. (1)

Bien que la densité des mesures ne permette pas d'étude vraiment précise, nous nous sommes cependant efforcés de définir le sens des variations de la composition chimique des eaux. Cet aspect de ces travaux devrait permettre un choix des orientations dans les futurs programmes de recherche sur la qualité des eaux.

Enfin, il nous a paru possible de tenter l'approche du bilan des transports dissous, bilan qui vient compléter pour le LBAM et la SANAGA, les mesures sur l'érosion et notamment, les évaluations qui ont été faites sur les transports solides en suspension..

(1) *Nous voulons parler de recherche fondamentale. Les adductions d'eau ont évidemment été étudiées par les services responsables.*

2. *GENERALITES*

On entend généralement par Sud-CAMEROUN ou CAMEROUN Méridional l'ensemble des régions situées au Sud de l'Adamaoua.

Ces régions, à l'exception de quelques zones moins arrosées reçoivent en moyenne plus de 1 500 mm de précipitations annuelles. Elles sont drainées d'une part par le bassin de la SANAGA dont la limite nord se situe sur le plateau de l'Adamaoua, d'autre part par des fleuves cotiers du NYONG au NTEM au Sud, de la DIBAMBA et MOURI à la CROSS à l'Ouest.

Le régime hydrologique de ces cours d'eau dépend de leur situation dans les différentes zones climatiques du Sud-CAMEROUN.

Le bassin de la SANAGA est soumis au climat tropical de transition caractérisé par une saison sèche de novembre à mars et une saison des pluies, de mars à octobre atteignant son maximum en septembre.

A l'Ouest, on retrouve, sous des appelations différentes (climat équatorial côtier, climat tropical de montagne), et à quelques variantes près, une seule saison sèche parfois réduite au mois de décembre et janvier, et une seule, mais abondante saison des pluies culminant généralement en juillet-août ou en septembre.

Au Sud, le climat équatorial est marqué par deux saisons sèches et deux saisons des pluies. La grande saison sèche étant observée de décembre à février, et la grande saison des pluies de septembre à novembre. La petite saison sèche juillet-août est d'autant plus marquée que l'on va vers le Sud, du bassin du NYONG à celui du NTEM.

La végétation est essentiellement constituée par la forêt à l'Ouest et au Sud. Sur le bassin de la SANAGA, la forêt n'intervient plus que pour 1/3 de la couverture végétale, constituée pour les 2/3 de savanes et galeries forestières.

La couverture géologique correspond pour sa majeure partie à des formations du socle précambien avec toutefois dans la partie Ouest des formations volcaniques très importantes.

Nous serons amenés plus loin à donner quelques valeurs caractéristiques du régime hydrologique du NTEM, de la SANAGA et du NYONG. La bibliographie donnée en fin d'ouvrage permettra au lecteur de se reporter aux diverses études et monographies hydrologiques, précisant les différents facteurs conditionnels et les paramètres du régime de la plupart des cours d'eau étudiés ici.

3. LES MESURES :

3.1. Les prélèvements

Les prélèvements ont été effectués dans les eaux vives des fleuves et rivières par remplissage à refus d'échantillons de 1 litre. Ces échantillons étaient contenus dans des flacons en polyéthylène.

Comme il a été dit, la densité et la répartition géographique des prélèvements ne permettent pas une approche systématique de la qualité des eaux au Sud-CAMEROUN. On peut individualiser trois séries de prélèvements.

a) Prélèvements relativement réguliers étalés sur l'année :

SANAGA à NATCHTIGAL	20 prélèvements de mars 73 à oct. 74
MBAM à GOURA	22 prélèvements " " "
NYONG à MBALMAYO	9 prélèvements d'avril 73 à fév. 74.

b) Prélèvements effectués en basses eaux et en hautes eaux effectués dans l'Ouest comprenant en général 2 échantillons de saison sèche (mars 74 et janvier 75) et 1 échantillon de hautes eaux (octobre 74).

Metchie aux chutes, Chouni à Banok, Nifi à Bamoungoum, Nonkié à Banessing, Nape à Melong (Nagba), Noun à Balungo, Mbam à Mantoum, Nkam à Melong et Ekom, Noun à Bafoussam, Nezam à Bengwi, Metchum à Couri.

c) Prélèvements ponctuels

Soit en basses eaux (mars 74 - janvier 75) : Cross à Mainyu, Cross à Manfé, Munuya à Akwen, Ngam à Banganté, Nkoup à Foubot, Nlongo à Tiko. (mars 74 seulement), Mungo à Mundame, Mungo au pont de Tiko ; (mars), Dibamba à Bonépoupa.

Soit en hautes eaux (octobre 74), Nassa à Bamendou, Chris à Mbo, Nat à Bandjoun, Meteu à Balong, rivières du pays bamiléké.

La carte (fig. 1) situe les différents cours d'eau où ont été effectués les prélèvements. Pour le NYONG, la SANAGA et le MBAM, chaque prélèvement comportait 2 échantillons. Ce qui porte à environ 200, le nombre d'analyses effectuées.

3.2. Paramètres mesurés :

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Commun d'Analyses du Centre de Recherche de YAOUNDE, laboratoire placé sous la responsabilité de M. LENELLE Ingénieur chimiste.

Les résultats des analyses portent sur :

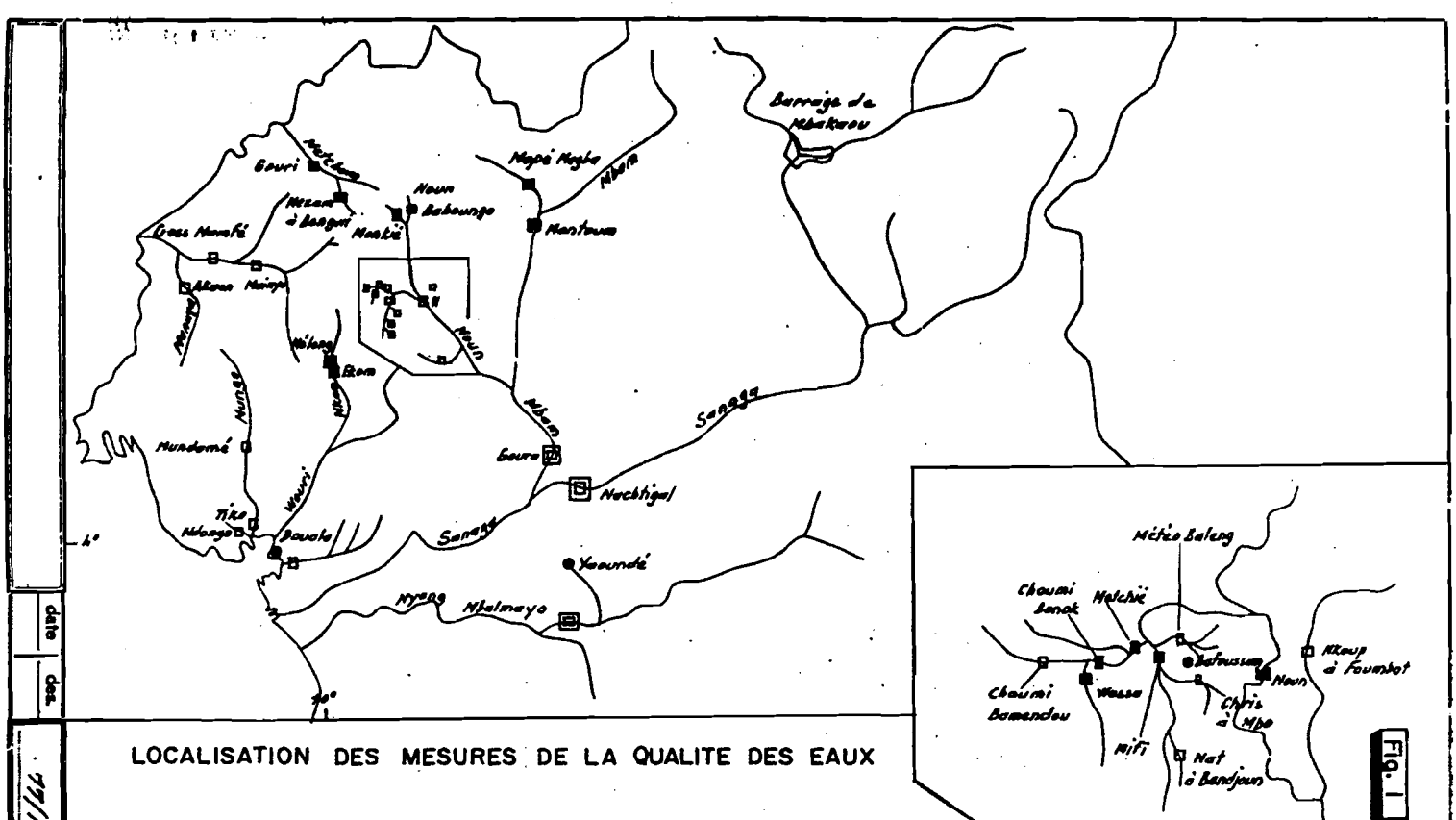
la mesure du PH

la mesure de la conductivité à 20° C $\mu S/cm$

le dosage des cations Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}, Na^{+}

le dosage des anions Cl^{-}, SO_4^{--}, CO_3^{--}, HCO_3^{-}

cations et anions exprimés en milliéquivalents par litre (mé/l)


Bouri
Nkam à Baougni
Nkam à Bandjoun
Noun
Bakoungo
Mapé Mapia
Nkam
Manfoum
Barrage de Mbakaou
Mbam
Mbam
Ndé
Ndé
Mbam
Sanaga
Mbam
Nkam
Ndé
Ndé
Mbam
Mbam
Mbam

le dosage de la silice Si O2 en mg/l

le dosage du fer Fe en mg/l

3.3. *Les résultats des analyses*

Les résultats des analyses sont indiqués dans les tableaux I à IX.

La différence entre la somme des cations et celle des anions est en grande partie imputable au caractère incomplet des analyses et dans une moindre mesure à une relative imprécision pour les très faibles concentrations. Enfin, certains résultats paraissant erronés (erreur de manipulations ou de transcription du laboratoire) ont été mis entre parenthèse.

Nous donnons dans les fig. 2 à 7, sous forme de diagrammes de Schoeller les concentrations des cations Ca++, Mg++, (Na+ + K+) et des anions Cl-, SO4--, HCO3-.

Ces concentrations sont reportées en ordonnées logarithmiques. Pour la SANAGA, le MBAM et le NYONG (fig. 2, 3, et 4), les diagrammes présentent quatre analyses réparties sur l'année.

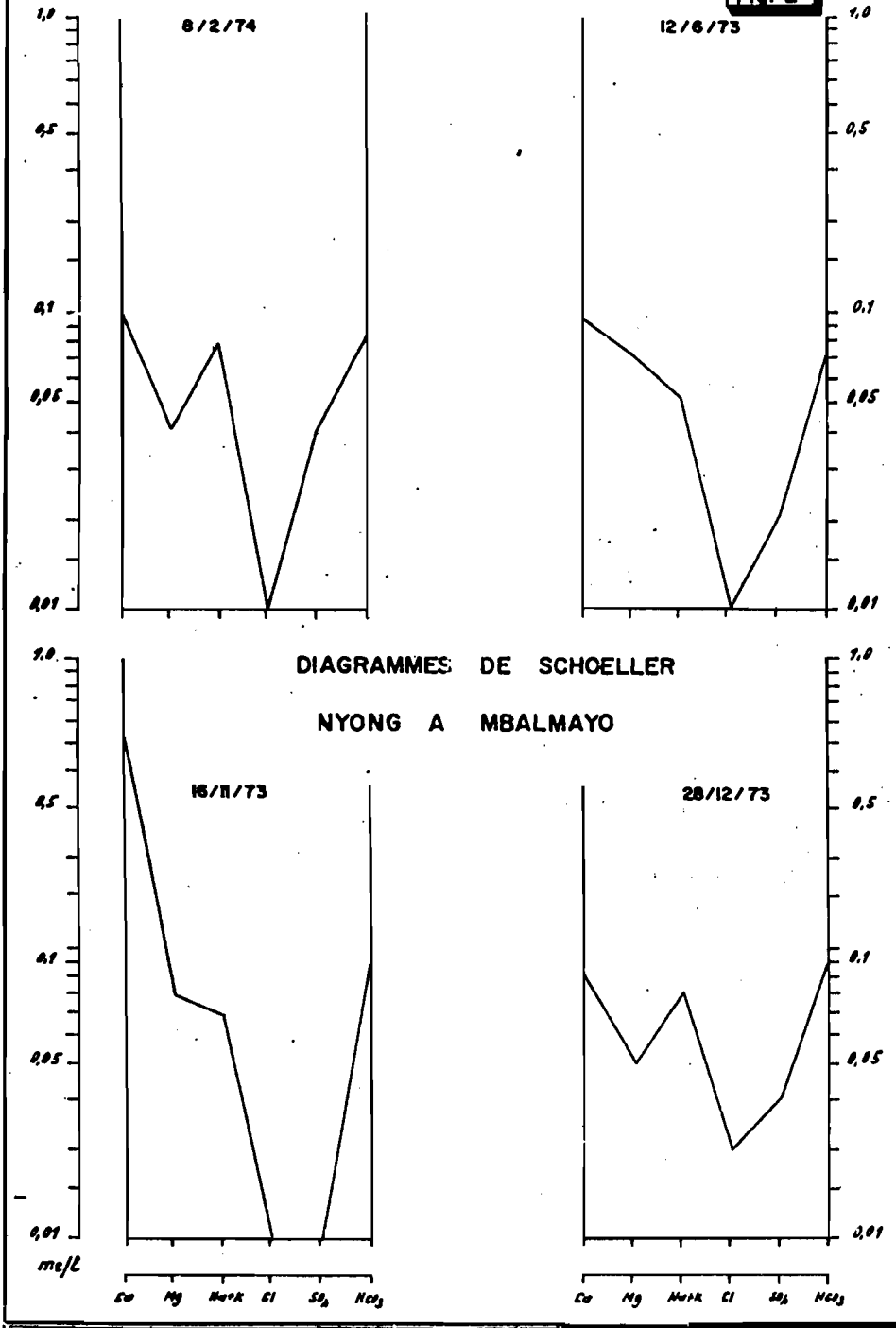
Pour les autres stations retenues, figurent sur le même diagramme, une analyse de saison des pluies (sauf pour le Mungo où, pour le même jeu, nous avons reporté les résultats de Mundame et du pont de Tiko). Le lecteur intéressé par les teneurs en ions exprimées en mg/l pourra faire les transformations nécessaires à partir des correspondances indiquées ci-dessous.

Ion	Formule	Masse molaire	Valeur du milliéquivalent/l exprimée en mg/l
Carbonate	CO3	60	30
Bicarbonate	HCO3	61	61
Sulfate	SO4	96	48
Chlorure	Cl	35,5	35,5
Silicate	Si O2	60	60
Calcium	Ca	40	20
Magnésium	Mg	24,3	12,1
Sodium	Na	23	23
Potassium	K	39	39
Fer	Fe	55,8	27,9

TABLEAU I : RESULTATS DES ANALYSES D'EAU DU NYONG A MBALMAYO

Date	N°	PH	Cond	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{++}	K^{+}	Cl^{-}	$SO4^{--}$	$HCO3^{-}$	Si O2	Fe 2O3
			µS/cm		10^{-2} mc/l						mg/l	
2-4-73	1	6,6	25	9	8,5	4	3	1	8,5	6	6,9	1,34
16-5-73	2	6,4	21	8,5	5	5	3,5	1,5	1	13,5	5,9	0,58
28-5-73	3	6	18	11	7	4	3	2	1	8,5	7,2	1,10
12-6-73	4	6,5	15	9	7	3	2	1	2	8	7,0	1,02
5-9-73	5	6,6	19	16	7	5	2	1	1	10	6,8	0,60
4-10-73	6	(7,6)	(68)	3	11	5	2	1	1	5	8,4	0,60
16-11-73	7	6,3	16	5	7	4	2	1	1	9	7,2	1,20
28-12-73	8	6,0	17	8	4	5	2	2	3	9	6,6	1,20
8-2-74	9	6,1	26	10	4	6	2	1	4	8	7,2	0,49

Fig. 2



DIAGRAMMES DE SCHOELLER

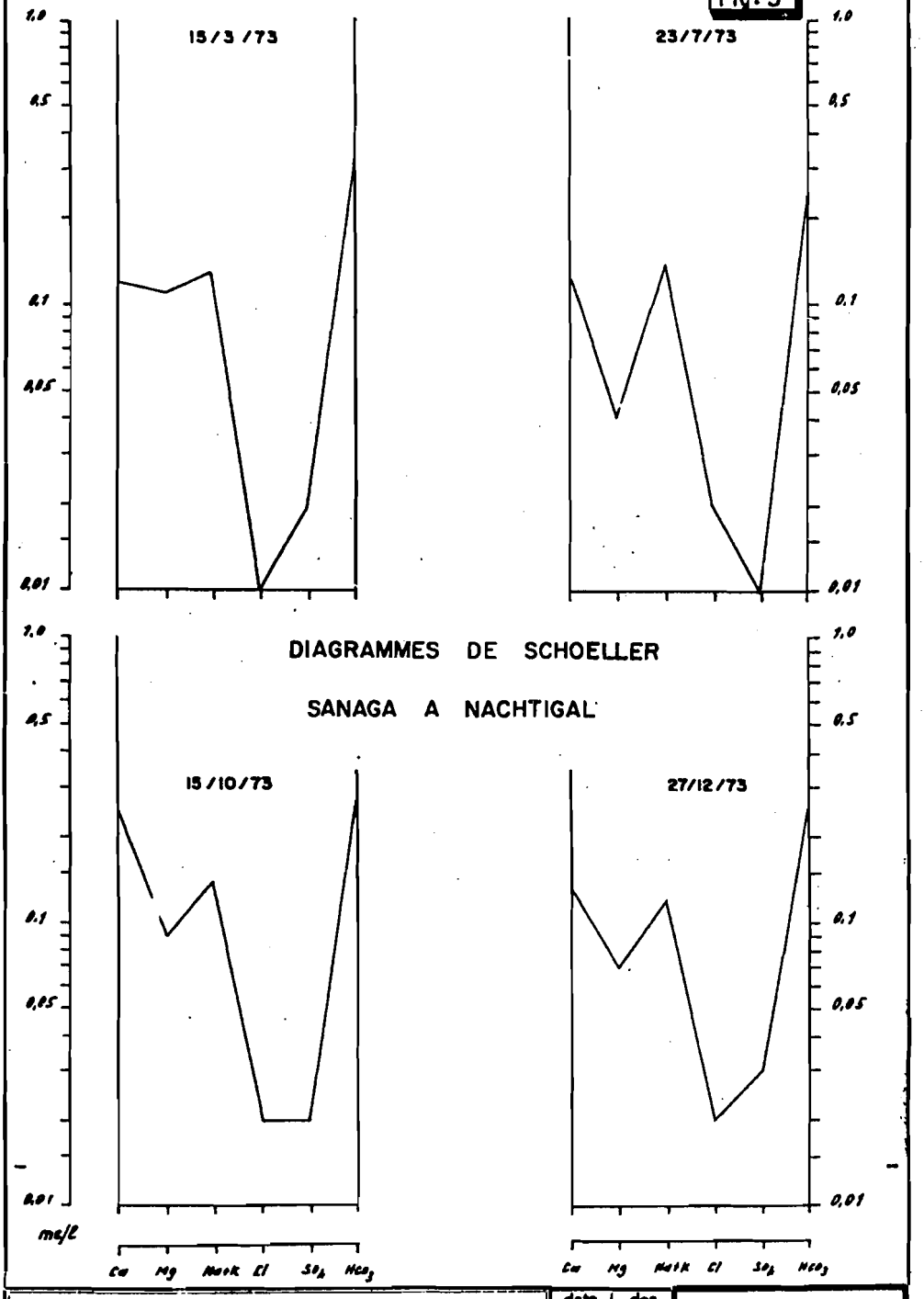
NYONG A MBALMAYO

	date	dec.	77/12 - 19

TABLEAU II : RESULTATS DES ANALYSES D'EAU DE LA SANAGA A NACHTIGAL

Date	n°	Ph	Cond.	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{++}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{--}	HCO_3^{-}	Si O2	Fe 203
			µS/cm		10^{-2}	me/l	"				mg/l	
mars 73	1	7,1	34	12	11	8	4	1	2	34	15,0	0,21
4-5-73	2	6,9	33	11	12	8	5	1	1	32	11,4	0,24
16-5-73	3	6,9	29	10	10	7	6	1	1	28	12,1	0,73
28-5-73	4	6,8	27	13	8	9	6	3	1	19	15,2	1,78
13-6-73	5	7,2	27	14	10	7	4	1	1	23	16,6	1,62
22-6-73	6	7,2	26	13	10	6	5	1	1	23	15,3	1,20
23-7-73	7	7,2	27	13	6	10	5	2	1	27	12,0	1,10
6-8-73	8	7,2	29	8	8	9	5	1,5	2	31	14,8	0,48
20-8-73	9	7,2	29	30	8	2	4	1	2	35	14,4	0,66
3-9-73	10	7,1	29	15	8	10	4	1,5	2	22	16,0	0,66
18-9-73	11	7,0	29	21	8	9	4	1,5	2	23	16,0	0,78
4-10-73	12	6,9	30	19	7,5	9	4	1,5	2	21	15,0	0,84
15-10-73	13	7,2	35	25	9	10	4	2	2	24	15,6	0,72
16-11-73	14	7,1	39	26	9	10	4	1	2	32	16,4	1,20
13-12-73	15	7,4	29	13	7	7	3	3	2	26	14,6	0,62
27-12-73	16	7,1	31	13	7	8	4	3	3	26	15,2	0,76
16-1-74	17	7,4	35	14	8	10	4	3	4	29	13,0	0,25
8-2-74	18	7,2	37	16	8	8	4	5	2	30	12,6	0,27
27-2-74	19	7,5	37	17	8	8	4	5	2	30	12,4	0,24
23-10-74	20	7,2	21	9	6	6	3	1,8	2	22	14,8	1,35

Fig. 3



DIAGRAMMES DE SCHOELLER

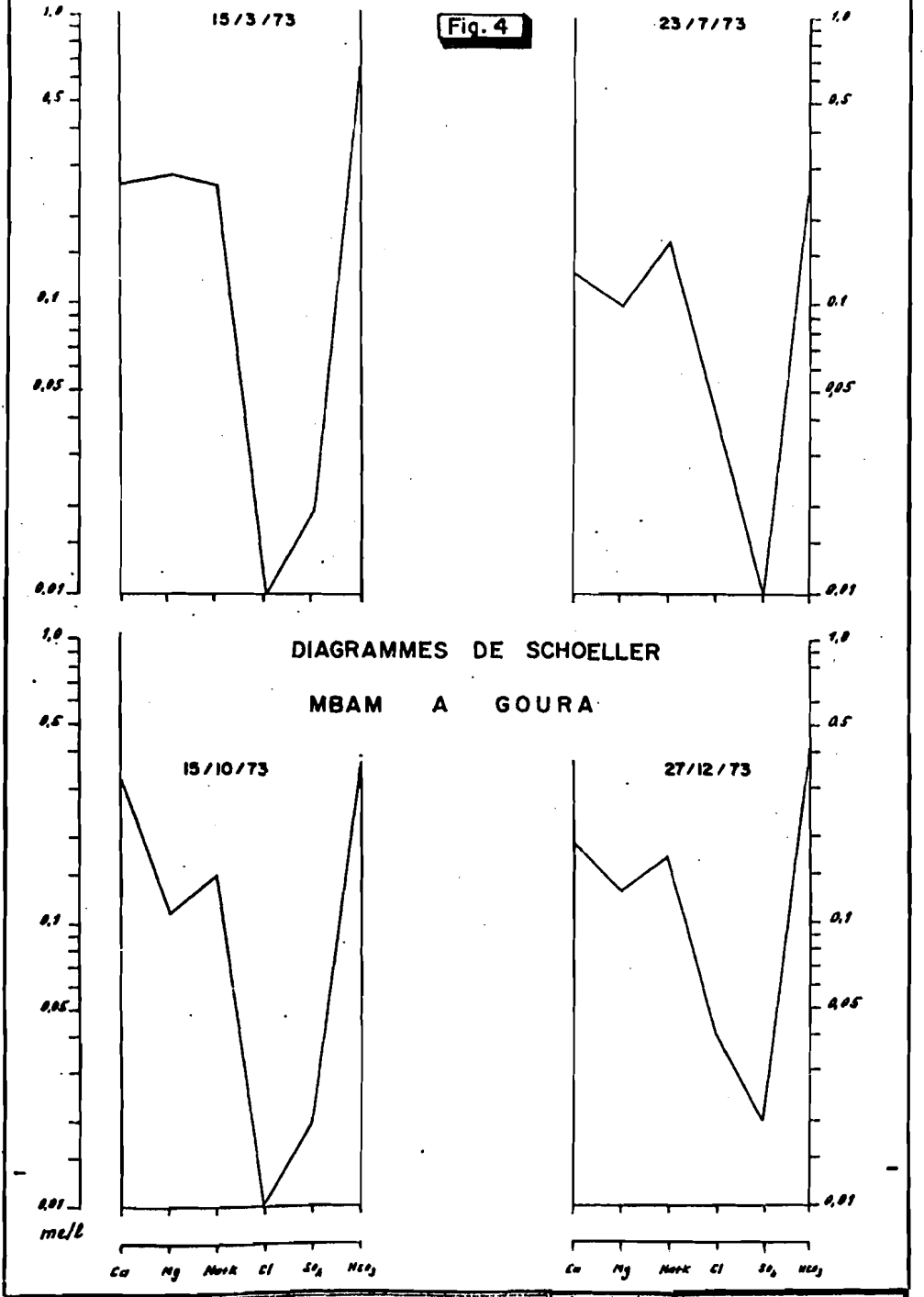
SANAGA A NACHTIGAL

	date	des.	77/12 - 28

TABLEAU III : RESULTATS DES ANALYSES D'EAU DU BARRAGE A COURA.

Date	n°	PH	Cond	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{++}	K^{+}	Cl^{-}	$SO4^{-}$	$HCO3^{--}$	Si O2	Fe 2O3
			S/cm		10^{-2} me/ l						" mg/l "	
mars 73	1	7,5	78	26	28	19	7	1	2	75	16,8	0,12
3-4-73	2	7,6	75	23	27	14	8	1	4	70	14,3	0,18
4-73	3	7,2	60	16	15	88,5	6,5	1	3	39	13,0	0,25
4-5-73	4	7,0	48	15	18	12	8	1	1	39	16,0	0,63
24-5-73	5	7,0	39	13	12	13	7	2,7	1	31	17,9	1,20
28-5-73	6			14	12	13	6	2	1	30		
12-6-73	7	7,5	36	15	14	10	6	1	1	34	18,1	1,02
22-6-73	8	7,4	40	19	15	11	6	1	1	36	20,0	1,88
23-7-73	9	7,2	33	14	10	11	6	4	1	30	12,7	1,52
6-8-73	10	7,2	(46)	19	9,5	12	4	1	2,5	30	16,6	0,18
20-8-73	11	7,1	35	19	10	12	4	1	2	28	17,0	0,66
18-9-73	12	7,4	35	20	9	11	4	1	2	26	17,0	0,90
3-10-73	13	7,4	40	21	10	11	4	1	1,5	31	17,2	0,78
15-10-73	14	7,4	40	(30)	12	11	4	1	2	31	17,2	0,78
16-11-73	15	7,4	43	21	13	13	4	1	2,5	35	18,0	1,08
13-12-73	16	7,5	44	18	12	11	5	5	2	40	11,8	0,84
27-12-73	17	7,4	51	19	13	12	5	3	1,5	44	18,0	0,67
16-1-74	18	7,6	57	21	16	13	6	2	2,5	50	17,4	0,51
9-2-74	19	7,7	72	28	18	17	6	3,5	2	55	16,0	0,17
27-2-74	20	7,7	68	29	19	15	6	4,5	3	60	15,8	0,21
23-3-74	21	7,		23	21	16	8	1	2	65		
23-10-74	22	7,6	27	14	8	8	4	1	2	22	18,4	1,44

Fig. 4



DIAGRAMMES DE SCHOELLER

MBAM A GOURA

	date	doc.
		77/12-18

TABLEAU IV : RESULTATS D'ANALYSES D'EAU

	METCHUM GOURI			CROSS MAINYU		CROSS MANFE		MUNAYA AKWEN	
Date des échantillons	18-3-74	20-10.74	25.1.75	18.3.74	26.1.75	18.3.74	27.1.75	17.3.74	26.1.75
PH	7,6	7,4	7,5	7,2	7,3	7,2	7,3	7,2	7,4
Conduct. à 20° C	58	22	34	38	28	40	25	60	93
Ca mé/l	0,16	0,10	0,13	0,10	0,07	0,10	0,07	0,10	0,11
Mg mé/l	0,11	0,06	0,09	0,7	0,16	0,7	0,05	0,8	0,13
K mé/l	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,06	0,03
Na mé/l	0,15	0,07	0,12	0,10	0,09	0,10	0,09	0,23	0,55
Somme cations még/l	0,47	0,26	0,37	0,32	0,35	0,32	0,24	0,47	0,82
Cl mé/l	0,04	0,06	0,14	0,02	0,04	0,01	0,03	0,15	0,54
SO4 mé/l	0,02	0,03	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0
CO3 mé/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3 mé/l	0,48	0,25	0,39	0,29	0,29	0,29	0,25	0,28	0,34
Somme anions mé /l	0,54	0,34	0,53	0,33	0,33	0,32	0,28	0,45	0,88
Si O2 mg/l	17,75	16,4	19,2	11,5	14,[illegible]	15,25	14,0	11,75	16,0
Fe mg/l	0,10	0,57	0,28	0,10	0,16	0,10	0,16	0,14	0,26

TABLEAU V : (Suite)

	MUNGO HUNDAME	MUNGO PONT	NDONGO TIKO		DIBAMBA BONEPOUPA
Date des échantillons	15.3.74	15.3.74	15.3.74	28.1.75	13.3.74
PH	7,6	7,7	8,2	8,2	7,3
Cond. à 20° C	71	110	230	161	41
Ca me/l	0,20	0,26	0,77	0,70	0,10
Mg me/l	0,19	0,29	0,68	0,71	0,09
K me/l	0,05	0,08	0,08	0,07	0,05
Na me/l	0,13	0,23	0,42	0,41	0,09
Somme cations meg/l	0,57	0,36	1,95	1,89	0,33
Cl még/l	0,09	0,03	0,05	0,06	0,01
SO4 mé/l	0,02	0,02	0,02	0	0
CO3 mé/l	0	0	0	0	0
HCO3 mé/l	0,54	0,77	1,92	1,85	0,33
Somme anions mé/l	0,65	0,82	1,99	1,91	0,34
Si O2 mg/l	19,88	23,13	38,75	36,8	(0,10)
Fe mg/l	0,12	0,08	0,08	0,12	(-)

TABLEAU VI : (Suite)

	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	
Date des échantillons	21.3.74	17.10.74	23.1.76	22.3.74	28.1.75	22.10.74	18.3.74	20.10.	25.1.75
PH	7,8	7,3	7,4	7,5	7,4	7,5	7,8	7,2	7,2
Cond. à 20°	89	17	38	57	33	27	35	19	22
Ca mé/l	0,27	0,08	0,17	0,14	0,12	0,12	0,08	0,10	0,06
Mg mé/l	0,20	0,05	0,80	0,11	0,10	0,09	0,04	0,04	0,08
K mé/l	0,07	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03
Na mé/l	0,15	0,07	0,10	0,14	0,11	0,08	0,09	0,06	0,08
Somme cation mé/l	0,68	0,23	0,40	0,44	0,36	0,32	0,27	0,22	0,25
Cl mé/l	0	0,03	0,22	0,	0,03	0,01	0,03	0,03	0,06
SO4 mé/l	0,01	0,03	0,	0,01	0	0,02	0,02	0,03	0
CO3 mé/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3 mé/l	0,68	0,18	0,41	0,44	0,36	0,31	0,25	0,21	0,21
Somme anion mé/l	0,69	0,24	0,63	0,45	0,39	0,34	0,30	0,37	0,27
Si O2 mg/l	15,25	14,0	16,0	17,75	16,0	15,4	12,25	16,1	12,0
Fe mg/l	9,10	2,16	0,36	0,14	0,60	0,81	0,14	0,48	0,66

TABLEAU VII (Suite)

	[illegible]			[illegible]			[illegible]		
Date des échantillons	19.3.74	16.10.74	23.1.75	19.3.74	16.10.74	22.1.75	19.3.74	16.10.74	23.1.75
pH	7,7	7,5	7,7	7,8	7,8	7,6	7,9	7,6	7,6
Cond. à 20° C	44	39	48	62	39	44	39	40	44
Ca mé/l	0,17	0,18	0,19	0,16	0,18	0,21	0,25	0,18	0,18
Mg mé/l	0,19	0,16	0,20	0,15	0,16	0,14	0,22	0,16	0,17
K mé/l	0,05	0,02	0,02	0,05	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02
Na mé/l	0,14	0,09	0,12	0,14	0,09	0,11	0,22	0,10	0,12
Somme cations mé/l	0,52	0,45	0,52	0,50	0,45	0,49	0,74	0,46	0,49
Cl mé/l	8	0,02	0,09	0,01	0,07	(0,41)	0,02	0,04	0,10
SO4 mé/l	0,02	0,03	0	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0
CO3 mé/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3 mé/l	0,55	0,44	0,54	0,48	0,41	0,50	0,72	0,32	0,50
Somme anions mé/l	0,57	0,49	0,63	0,52	0,50	0,91	0,76	0,38	0,60
Si O2 mg/l	16,5	14,4	12,4	15,6	14,9	13,6	15,0	14,1	11,2
Fe mg/l	0,23	0,33	0,48	0,10	0,51	0,52	0,10	0,23	0,32

Tableau VIII : (Suite 4)

	MASSA BANOCK	GYOUTI BAFE NOU	GERIS MTO	NAT BANG JOU	METRU	NGAM BAN-GAUCTP		MONKIL BALESSING		
Date des échantillons	12.10.74	21.10.74	16.10.74	15.10.74	16.10.74	23.3.74	29.1.75	10.3.74	21.10.74	25.1.75
PH	7,6	7,5	7,9	7,3	8,1	9,0	7,4	7,6	7,5	7,5
Cond. à 20°	36	30	51	32	111	50	25	64	27	38
Ca mé/1	0,16	0,15	0,23	0,15	0,48	0,14	0,09	0,15	0,11	0,14
Mg mé/1	0,13	0,12	0,24	0,08	0,43	0,13	0,08	0,11	0,05	0,10
K mé/1	0,03	0,02	0,01	0,05	0,06	0,03	0,02	0,07	0,04	0,04
Na mé/1	0,09	0,07	0,12	0,07	0,25	0,08	0,07	0,16	0,09	0,12
Somme cation mé /1	0,41	0,36	0,60	0,35	0,23	0,39	0,26	0,49	0,29	0,40
Cl mé/1	0,03	0,13	0,04	0,08	0,07	0,01	0,08	0,14	0,03	0,04
SO4 mé/1	0,02	0,02	0,03	0,02	0,	0,01	0	0,02	0,02	0
CO3 mé/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3 mé/1	0,41	0,35	0,60	0,29	1,20	0,30	0,30	0,49	0,30	0,41
Somme anion mé /1	0,46	0,50	0,67	0,39	1,27	0,42	0,38	0,65	0,35	0,45
Si O2 mg/1	12,8	13,2	21,6	11,2	21,6	12,0	12,0	18,25	18,0	17,6
Fe mg/1	0,48	0,63	0,12	0,42	0,24	0,74	1,22	1,14	0,75	1,20

TABLEAU IX : (SUITE 5)

	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Date des échantillons	20.3.74	29.1.75	10.7.74	10.10.74	20.3.74	16.10.74	21.3.74	17.10.74	24.1.75
PH	8,2	8,2	7,7	7,5	7,9	7,7	7,7	7,6	7,3
Cond. à 20° C	318	189	69	26	124	52	78	24	31
Ca mé/l	0,99	0,74	0,20	0,10	0,35	0,21	0,25	0,11	0,12
Mg mé/l	0,94	0,62	0,19	0,07	0,34	0,19	0,18	0,06	0,06
K mé/l	0,09	0,07	0,05	0,03	0,09	0,05	0,07	0,03	0,03
Na mé/l	0,64	0,49	0,13	0,06	0,24	0,13	0,13	0,08	0,09
Somme cations mé/l	2,66	2,12	0,57	0,26	0,01	0,58	0,63	0,28	0,32
Cl mé/l	0,02	0,09	0,02	0,02	0,03	0,06	0,01	0,04	0,09
SO4 mé/l	0,03	0	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0
CO3 mé/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3 mé/l	2,54	(0,54)	0,29	0,58	0,98	0,54	0,62	0,23	0,35
Somme anions mé/l	2,59	(0,63)	0,62	0,33	1,02	0,63	0,65	0,28	0,44
Si O2 mg/l	38,75	12,6	15,88	16,8	20,32	17,2	13,88	15,2	14,9
Fe mg/l	0,08	0,48	0,52	0,48	0,10	0,51	0,08	0,75	0,48

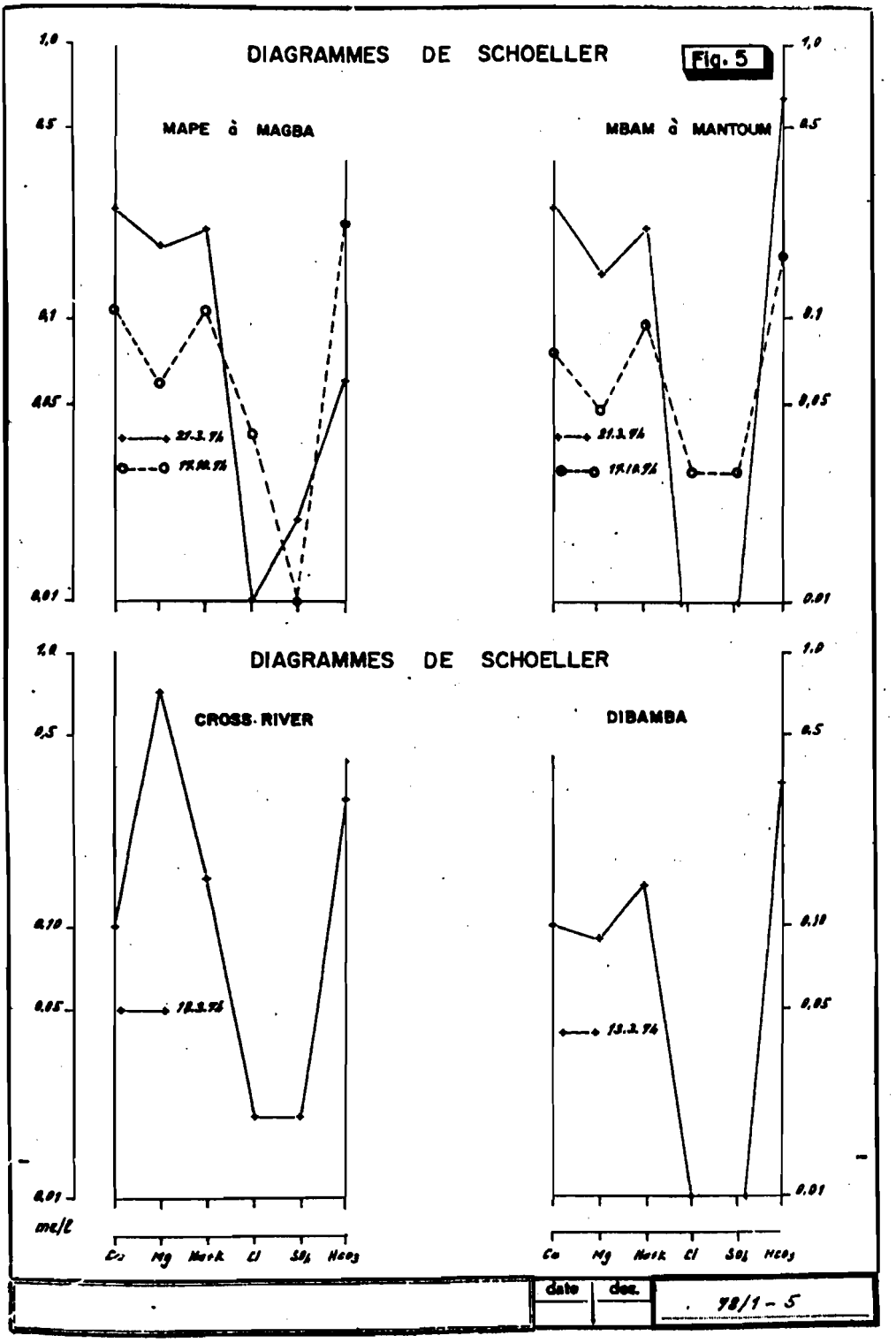
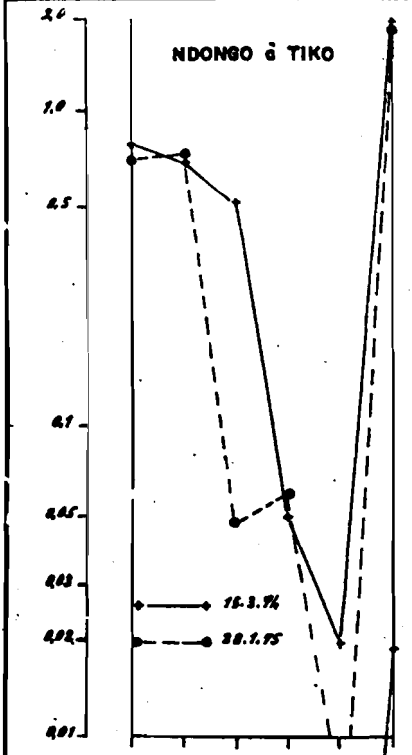
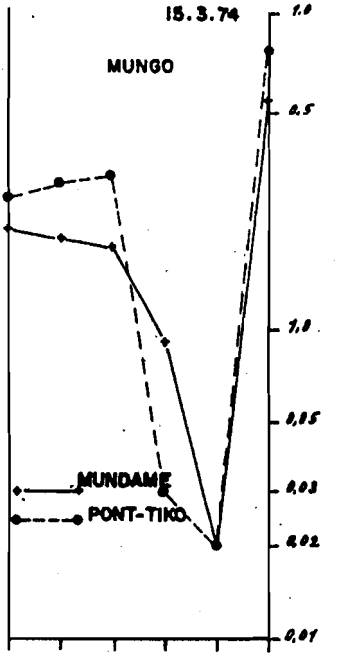

DIAGRAMMES DE SCHOELLER
Fig. 5
MAPE à MAGBA
MBAM à MANTOUM
21.3.74
17.10.74
DIAGRAMMES DE SCHOELLER
CROSS-RIVER
DIBAMBA
13.3.74
1,0
0,5
0,1
0,05
0,01
0,10
me/l
Ca
Mg
Na+K
Cl
SO4
HCO3
date
doc.
78/1 - 5

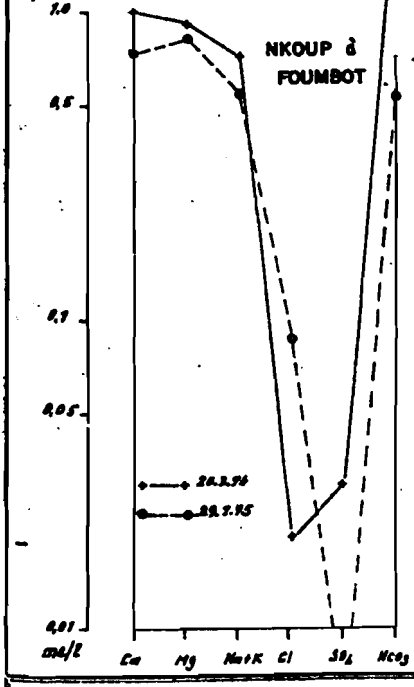
Fig. 6

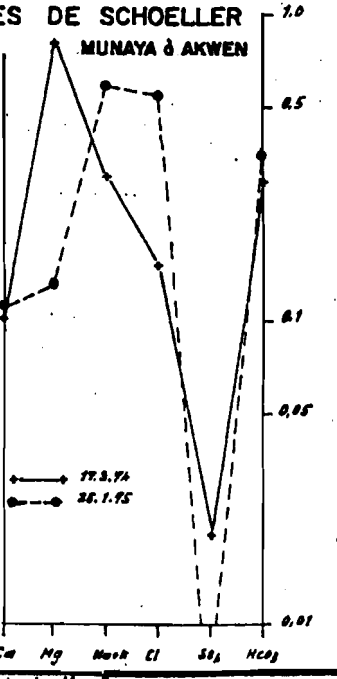
DIAGRAMMES DE SCHOELLER





DIAGRAMMES DE SCHOELLER



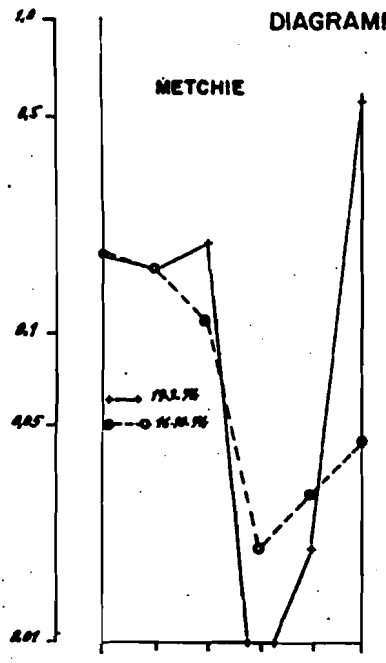


	date	dés.	78/7-7

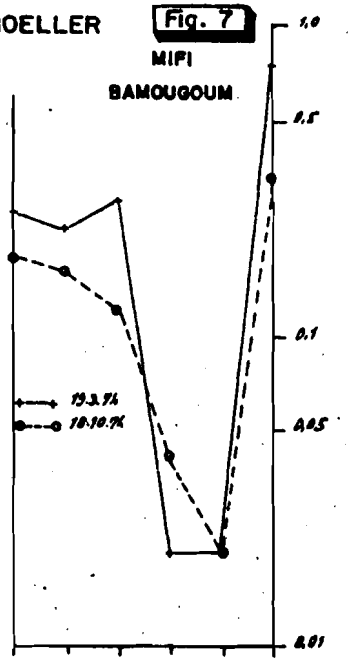
DIAGRAMMES DE SCHOELLER

Fig. 7

METCHIE

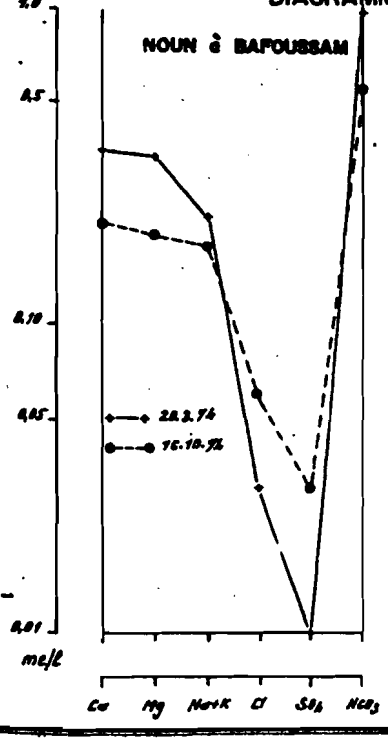


MIFI
BAMOUGOUM

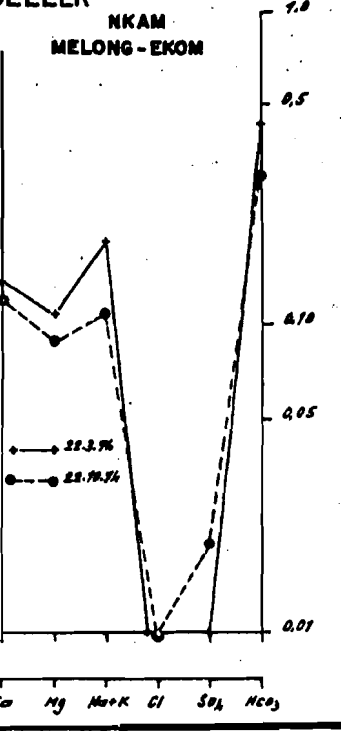


DIAGRAMMES DE SCHOELLER

NOUN à BAFOUSSAM



NKAM
MELONG-EKOM



	date	dess.	78/1-6

4. *QUALITE DES EAUX ETUDIEES.*

Un simple examen des tableaux regroupant les analyses effectuées montre dans l'ensemble des eaux peu minéralisées. Les concentrations sont généralement plus fortes pendant la période de basses eaux ; (ceci constitue d'ailleurs un fait d'observation général sur lequel nous reviendrons).

Grosso-modo, les eaux étudiées appartiennent à la même famille caractérisées par des faibles minéralisations et des rapports entre éléments assez voisins. Sans prétendre à un examen exhaustif des résultats obtenus qui serait vite monotone, nous nous proposons de mettre en évidence les caractéristiques des différents paramètres mesurés.

4.1. Conductivité

La conductivité d'une eau est fonction des ions en solution et, en première approximation, permet une évaluation rapide de la minéralisation globale de l'eau. Des facteurs tels le degré de ionisation, la valence et la mobilité des ions, la concentration de H^+ libres influent sur la conductivité qui ne peut de ce fait indiquer avec précision les concentrations. La conductivité est d'autant plus forte que l'eau est fortement minéralisée.

Les valeurs mesurées sur les eaux étudiées montrent dans l'ensemble, des minéralisations globales très faibles. Outre les variations saisonnières montrant une plus forte concentration des eaux de la période d'étiage, restituées par la vidange des nappes souterraines, on observe des variations géographiques intéressantes à préciser.

La conductivité est comprise entre 20 et 50 S/cm pour la majeure partie des stations, les eaux du NYONG ayant les plus faibles valeurs de saison sèche.

Les plus fortes valeurs ont été observées sur le Nkoup à FOUMBOT (319, 189), le Ndongo à TIKO (230,161), le Noun à BAFOUSSAM (124), la Metcu à BALENG (111) le Mungo au pont de TIKO (110). Les bassins versants de ces cours d'eau ont une couverture totale ou partielle constituée par des roches volcaniques. En soit ceci ne suffit pas à expliquer les plus fortes minéralisations : d'autres bassins sur couverture volcanique ne montrent pas de conductivités très élevées. Mais pour ces derniers bassins, Metchie, Choumi, Nassa, Ngam etc..., la couverture volcanique est ancienne (basaltes de plateau) et a donné par altération des sols ferrallitiques différant surtout par leur origine des sols ferrallitiques observés sur le socle précambrien. Les plus fortes conductivités sont observées sur les cours d'eau drainant des sols volcaniques jeunes, que ce soit les terres noires de BALENG, de FOUMBOT et de la Vallée du Noun, avec cendres et lapillis ou bien les coulées basaltiques récentes du Mont-CAMEROUN.

Il est d'ailleurs intéressant de souligner l'incidence de ces eaux à plus forte conductivité sur la conductivité aval des eaux de rivières drainant des bassins beaucoup plus importants. Ceci est particulièrement net pour le Noun à BAFOUSSAM enrichi dans sa partie avale par la traversée des terres noires. Le Mingo, le 15/3/74, voit passer sa conductivité de 71 à 110 µS/cm de l'amont, au pont de TIKO, après le drainage des versants du Mont-CAMEROUN. Le MBAM subit également un enrichissement très net par rapport à la SANAGA dont les bassins diffèrent pourtant assez peu, sinon par les sols volcaniques récents de l'Ouest, de superficie réduite.

Nous aurons l'occasion de revenir dans l'examen des concentrations des divers éléments sur ce particularisme des eaux des régions volcaniques récentes. Précisons toutefois que les plus fortes concentrations de la saison sèche 1974 s'expliquent par un étiage particulièrement sévère dans l'Ouest, cette année-là par rapport à la saison sèche 75.

En conclusion, la mesure de la conductivité montre que les eaux du Sud-CAMEROUN peuvent être classées, dans les eaux de minéralisation très faible à minéralisation faible.

4.2. *Le pH - Potentiel Hydrogène*

Le pH de l'eau représente son acidité ou son alcalinbilité dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydride carbonique liée à la minéralisation totale.

Sur la SANAGA, le pH varie au cours de l'année de 6,8 à 7,5 ; sur le MBAM, le pH varie de 7,0 à 7,7. Les plus fortes valeurs du pH sont observées en période d'étiage. Ceci pourrait être interprété comme le drainage de la partie confinée des nappes dont le matériau aquifère est constitué principalement d'argiles hydromorphes (montmorillonites, argiles smectites) riches en alcalins et alcalino-terreux. En saison des pluies, l'écoulement provient des eaux de ruissellement et d'écoulement du toit de la nappe, parties lessivées, plus acides et moins riches en alcalino-terreux (kaolinite).

Les valeurs du pH mesurées dans les cours d'eau des provinces de l'Ouest sont toujours nettement alcalines comprises généralement entre 7,5 et 7,7 et, jamais inférieures à 7,2 (dans la limite de notre échantillon, bien sûr). On n'observe pas de variations saisonnières significatives. Nous soulignerons les fortes valeurs mesurées sur le Nkoup à FOUMBOT et le Ndongo à TIKO, où le PH atteint 8,2 (8,1 sur la Meteu, 7,9 sur la Chris et le Noun) qui indiquent le caractère alcalin des eaux drainant des sols volcaniques jeunes.

Par contre, sur le NYONG à MBALMAYO, les variations du pH se situe entre 6,0 et 6,6 et montrent toute l'année, une eau légèrement acide.

Cette acidité ne peut être imputable à la forte activité biologique de l'horizon humifère sous forêt, car on ne l'observe pas pour les eaux des bassins de la Munaya ou de la Cross également sous forêt. Elle est plus probablement liée à la végétation aquatique qui a envahi le lit du NYONG et de ses affluents en amont du confluent du Mfoumou. A l'incidence de cette végétation constituée essentiellement de graminées (échinichloa stagnina), il faut probablement ajouter celle de la forêt inondée.

Il serait intéressant de vérifier sur le NTEM l'incidence des zones marécageuses sur la valeur du pH de ses eaux. Pour la SANAGA, les faibles valeurs du pH (6,8), observées en mai 73 pourraient d'ailleurs être imputées aux lâchures importantes du barrage de Mbakaou qui lors de l'étiage sévère de cette année-là, ont amené une vidange pratiquement totale de la retenue et du "pourrissoir" de la végétation submergée. Il est probable que les lâchures de la retenue de Bamendjin ont pour les mêmes causes, amené depuis sa mise en service, une diminution du pH du Noun.

L'ensemble de ces renseignements sur le pH montre que la plupart des cours d'eau fournit une eau de pH compris entre 7,2 et 7,6, limites généralement retenues pour les eaux de distribution. A l'exception du NYONG pour lequel une alcalinisation doit être prévue, toutes les eaux étudiées rentrent dans la gamme des eaux potables dont les normes internationales situent le pH entre 7 et 8,5.

4.3 *Composition ionique*

Au cours de son ruissellement ou de son infiltration, l'eau est en contact avec les différents types de sols et de sous-sols et sert de véhicule à des éléments, dont la nature et la quantité dépendent de leur comportement géochimique d'une part, des conditions naturelles du milieu et du régime des cours d'eau d'autre part.

Le comportement géochimique des éléments est fonction de leur potentiel ionique. En suivant le classement de GOLDSCHMIDT qui a distingué trois catégories d'éléments en fonction du quotient de leur charge ionique Z et de leur rayon atomique r, on a :

- les cations solubles, $Z/r < 3$ comprenant notamment les alcalins Na et K et les alcalino-terreux Ca et Mg ;
- les hydrolysats, ou Z/r est compris entre 3 et 10, qui ont un pouvoir de polarisation élevé et dont la stabilité est faible suivant le comportement acide oubasique du milieu, avec SiO_2 et Fe_2O_3.
- les anions complexes ($Z/r > 10$), au pouvoir de polarisation très élevé en particulier, les associations du soufre et du carbonate avec l'oxygène sous forme de sulfates, carbonates ou bicarbonates.

4.3.1 *Cations solubles*

4.3.11 *Alcalino-terreux Ca, Mg-Titre Hydrotimétrique TH*

Les teneurs en Ca ++ et Mg++ sont comprises généralement entre 0,10 et 0,30 me/l, les concentrations en Ca sont le plus souvent plus élevées que celles de Mg++. Pour le NYONG, corrélativement aux faibles valeurs de la conductivité, on observe de faibles concentrations de Ca et Mg inférieures au 1/10 de me/l. Par rapport aux résultats d'ensemble, de fortes concentrations sont observées dans les eaux drainant les sols volcaniques récents. Il s'agit toujours des bassins déjà cités (Nkoup à POUMBOT Ca : 0,99 me/l, Nkongo à TIKO : Ca 0,77 me/l Mg : 0,68 me/l).

Le Titre hydrotimétrique total (ou TH) exprimé en ° degrés français varie de 0,6 à 1° pour le NYONG, de 1 à 3° pour la SANAGA et le MBAM et la plupart des cours d'eau étudiés, à l'exclusion des rivières sur bassin volcaniques où le titre hydrotimétrique peut atteindre 7 et même 10° en période d'étiage. Avec une dureté généralement très faible, les eaux étudiées rentrent dans la catégorie des eaux potables de bonne qualité. Elles sont cependant nettement plus " douces" que le seuil généralement admis avec un degré optimal de 12 à 15.

4.3.12 *Alcalins Na, K*

Les concentrations en potassium K varient très peu d'une station à l'autre et au cours de l'année. Elles sont faibles. Comprises entre 0,01 me/l sur la Chris, de 0,09 me/l sur le Nkoup, les concentrations sont le plus souvent de l'ordre de 0,02 à 0,05 me/l. Bien que dans les roches ignées, la teneur en potassium soit presqu'aussi importante que celle du sodium, on observe dans les eaux naturelles une différence sensible entre les deux concentrations.

Les concentrations en sodium Na sont de 2 à 5 fois supérieures à celles de K, et parfois bien davantage lorsque les teneurs en sodium sont fortes. Celles-ci varient géographiquement dans de plus fortes proportions que celles de K. Les teneurs en sodium Na, les plus faibles sont observées sur le NYONG (0,04 - 0,05 me/l) Sur la SANAGA, les teneurs en Na sont comprises entre 0,06 et 0,10 me/l. Sur le MBAM et la majeure partie des autres cours d'eau étudiés, les concentrations sont à peine plus élevées, de 0,09 à 0,16 me/l environ. Les concentrations dépassent 20 me/l pour les eaux drainant des bassins à couverture volcanique jeune. Nous retrouvons une hiérarchie des teneurs en Na comparable à celle qui a été décrite pour l'étude des conductivités, liée à l'importance des sols volcaniques récents par rapport à la superficie des bassins versants. Ainsi, pour le Nkoup à POUMBOT, on a mesuré 0,64 me/l de Na, pour le Nkongo à TIKO 0,42 me/l, pour le Noun à BAFOUSSAM 0,24 me/l et pour le Mingo au pont de TIKO 0,23 me/l.

Un cas particulier mérite d'être souligné : la Munaya à AKOTN montre des teneurs de 0,23 et 0,55 me/l de Na. Ici, l'origine du sodium ne doit pas être recherchée dans une couverture volcanique récente. Le sodium provient de sources salées signalées par J.C. DUFORT dans le sédimentaire du golfe de MANFE (grés de base), dans la région de Inokoum sur le bassin de la Munaya.

4.3.2. Les anions

4.3.21 Cl- et SO4 --

Les teneurs en chlorures sont extrêmement faibles. (0,01 à 0,02 me/l pour le NYONG, de 0,01 à 0,05 pour la SANAGA et le MBAM). Elles paraissent légèrement plus élevées pour les eaux des plateaux de l'Ouest, mais aussi plus variables sans qu'il soit possible d'interpréter ces différences. En comparant les sommes des anions ou des cations, certains résultats fournis par le laboratoire apparaissent erronés (erreurs de transcription ou de manipulation). Les résultats obtenus sur la Munaya confirment par contre la mise en solution de chlorure de sodium. La teneur en Cl- était de 0,54 me/l le 26 janvier 1975. Mais cette concentration (20 mg/litre) reste très en deça des teneurs limites de 50 mg/l recommandées pour éviter la corrosion des canalisations en acier inoxydable et de 250 mg/l pour la consommation humaine.

Les teneurs en sulfates sont également très faibles, parfois non décelées à l'analyse ; elles varient de 0,01 à 0,04 me/l et se situent plus généralement autour de 0,02 me/l. On n'observe pas de variations géographiques ou saisonnières signifivatives. A noter cependant une valeur un peu plus élevée (0,85 me/l) pour le NYONG en avril 1973, qui pourrait traduire une activité biologique plus marquée.

4.3.22 Carbonates et Bicarbonates

Les teneurs en carbonates sont nulles, ceux-ci n'étant pas observés pour des pH inférieurs à 8,3. L'analyse du NGAM à BANGANGTE de mars 1974 pH = 9,0 et CO3 = 0,10 me/l paraît douteuse.

Les bicarbonates (HCO3-) présentent des concentrations assez fortes et constituent le plus souvent l'essentiel de la part anions.
Les teneurs varient de 0,06 à 0,1 me/l dans le NYONG, de 0,19 à 0,35 me/l dans la SANAGA, et de 0,22 à 0,75 me/l dans le MBAM. Les teneurs en HCO3 des rivières des provinces de l'Ouest sont supérieures à 0,20 me/l et le plus souvent de l'ordre de 0,40 me/l.

Un nombre de rivières du Sud de l'Adamaoua (ce qui implique un traitement particulier de ces eaux réservées à cet usage).

Les concentrations les plus fortes sont observées sur les stations drainant des bassins à couverture volcanique récente : Nkoup à FOUMBOT 2,54 mc/l en mars 74, Ndongo à TIKO 1,92 mc/l mars 74. Metcu 1,20 mc/l en octobre 74, Noun à BAFOUSSAM 1,02 en mars 74 ...

Le titre alcalimétrique complet TAC est obtenu en degrés français en multipliant par 5, les concentrations données en milliéquivalents par litre. Le Tac varie de 0,3° F à 12° F.

4.3.2 *La Silice et le Fer*

Fer et Silice sont des constituants importants des roches anciennes et éruptives. La ferrallitisation, processus majeur de la formation des sols observés au Sud-CAMEROUN, amène un appauvrissement des sols en silice et un enrichissement en fer. Ceci se retrouve dans les analyses des eaux où l'on note de fortes concentrations en silice et de plus faibles teneurs en fer.

Dans les tableaux des analyses, les concentrations de la silice et du fer ont été données en mg/l ; ce qui permet de comparer directement en poids, les différences entres ces deux constituants.

Les concentrations en Si O2 dissous varient de 5,9 à 8,4 mg/l sur le NYONG. Sur la SANAGA, elles varient de 11,4 à 16,6 mg/l. Sur le MBAM, les concentrations mesurées sont comprises entre 11,8 et 20,0 mg/l. Sur les cours d'eau des provinces de l'Ouest, on observe également des concentrations de 11,2 à 20 mg/l. Les plus fortes valeurs sont encore observées sur le Ndongo à TIKO (38,74 mg/l) et le Nkoup à FOUMBOT. Elles dépassent 20 mg/l pour le Noun et le Mungo. La faible valeur mesurée sur la Dibamba demande à être vérifiée ; si elle était confirmée, cela pourrait signifier qu'il y a précipitation de la silice dans les estuaires envahis par les marées (ici, seulement l'onde de marée)... Les variations saisonnières du NYONG, de la SANAGA et du MBAM paraissent délicates à interpréter. En période de hautes-eaux, les concentrations sont souvent les plus élevées, ce qui nous ramène au processus de ferrallitisation que nous developperons plus loin.

Les concentrations en silice sont donc relativement élevées et l'utilisation des eaux en fonction de leur destination implique certaines précautions. Une eau potable de bonne qualité ne contient pas plus de 20 mg/l. Il semble toutefois qu'on puisse tolérer une eau contenant 40 mg/l, sans inconvénient grave pour les consommateurs. Par contre, pour les eaux de chaudière à haute pression, de fortes concentrations entrainent des dépots de silice extrêmement durs sur les tubes des surchauffeurs et sur les turbines. Pour une pression de 96,5 bars, la teneur maximale admise est de 15 mg/l. Cette concentration limite est dépassée dans un grand nombre de rivières du Sud de l'CAMEROUN (ce qui implique un traitement particulier de ces eaux réservées à cet usage).

En ce qui concerne le fer, les concentrations sont, nous l'avons dit, beaucoup plus faibles que celles de la silice, mais cependant souvent plus élevées que celles observées dans des eaux prélevées en dehors du milieu intertropical. Dans les régions tempérées, des concentrations de 0,5 mg/l sont déjà exceptionnelles. Sur le NYONG, on a mesuré de 0,5 à 1,34 mg/l de fer ; sur la SANAGA, les teneurs varient de 0,21 à 1,78 mg/l ; sur le MBAM, elles sont comprises entre 0,12 et 1,92 mg/l. Dans les provinces de l'Ouest, les teneurs observées sont nettement plus faibles, notamment pour les eaux de bassins à couverture volcanique, et généralement comprises entre 0,08 et 0,6 mg/l. A noter cependant, en période de hautes eaux, les valeurs de 2,16 mg/l sur le Mbam à MANTOUM, de 1,22 sur le Ngam à BAGANGTE et 1,20 mg/l sur la Monkie en période de basses eaux.

Les eaux du Sud-CAMEROUN sont plus concentrées en fer en saison des pluies qu'en saison sèche. Les normes admises situent les concentrations limites supérieures entre 0,1 et 0,3 mg/l de Fe, en raison des invonvénients ménagers (goût, couleur, précipité, taches sur le linge) et non pour éviter des accidents toxiques, des eaux ferrugineuses contenant plus de 5 mg/l pouvant être ingérées sans danger.

4.4. Conclusions

Ces analyses ont mis en évidence d'une manière générale des eaux de bonne qualité pour les usages domestiques. Pour les usages industriels, des restrictions apparaissent du fait des fortes teneurs en silice.

Des variations spatiales des paramètres étudiés qui ont été mises en évidence, nous retiendrons :

- le pH, acide sur le NYONG - et probablement aussi sur les rivières à zones marécageuses situées plus au Sud -, devient de plus en plus alcalin en passant de la SANAGA, au MBAM et du MBAM aux régions volcaniques récentes des provinces de l'Ouest.

- les concentrations deviennent globalement de plus en plus élevées du NYONG au MBAM et aux cours d'eau des régions volcaniques de l'Ouest. La mise en solution des divers éléments est liée au substratum géologique, mais aussi au degré d'altération (pédogénèse) de ce substratum.

Les variations saisonnières montrent, à l'exception du fer, de plus fortes concentrations en période de basses-eaux qu'en période de hautes-eaux pour l'ensemble des cours d'eaux étudiés. Les eaux souterraines restituées en saison sèche, sont plus chargées que les eaux de ruissellement par suite d'un contact prolongé avec les éléments solubles du matériau aquifère.

Comme cela a déjà été souligné, la ferrallitisation semble jouer un rôle déterminant dans la minéralisation des eaux. La pluie chaude provoque une hydrolyse des minéraux des roches avec élimination dans les eaux de percolation de bases alcalines et alcalino-terreuses, et d'une partie de la silice, évacuées jusqu'à la mer par les cours d'eau. Il en résulte une accumulation relative de produits de synthèse ferrugineux ou alumineux peu solubles, dont nous reparlerons plus loin, et qui se développe dans des sols souvent très épais. Le processus de ferrallitisation paraît s'être exercé pendant des périodes géologiques toutes entières. Les roches volcaniques anciennes et récentes y sont soumises au même titre que les roches du socle précambrien. A en juger par l'épaisseur des sols, qui dépasse souvent 15 m, le processus serait très ancien sur le bassin du NYONG, moins avancé sur le bassin de la SANAGA et du MBAM, et récent sur les terrains volcaniques jeunes où on observe des sols pénévolués. Ceci expliquerait la "hiérarchie" des concentrations qui a été définie. Le lessivage et la percolation des sols épais et anciens déjà appauvris en silice et en bases alcalines et alcalino-terreuses, n'amèneraient, sur le NYONG notamment, que de faibles mises en solution, tandis que sur les sols jeunes, la relative richesse en éléments solubles explique les plus fortes concentrations observées.

Au cours de ce processus d'altération, la libération des sesquioxydes Al 203 et Fe 203 se traduit par leur accumulation en surface par migration ascendante, celle-ci étant favorisée par l'évaporation superficielle (ce qui entraine souvent des phénomènes d'induration et la formation de cuirasses). Lors de la remontée des nappes, en saison des pluies, ces horizons supérieurs plus ferrugineux sont au contact des eaux souterraines et les teneurs en fer deviennent plus élevées qu'en saison sèche dans les eaux de rivières.

On constate donc que la ferrallitisation et les processus anciens (lixiviation, induration) rendent bien compte de la minéralisation des eaux et des variations saisonnières que nous nous proposons de préciser maintenant, à partir des analyses du NYONG, de la SANAGA et du MBAM.

5 *LES VARIATIONS SAISONNIERES DES CONCENTRATIONS SUR LE NYONG, LA SANAGA ET LE MBAM.*

Avec 19 prélèvements sur la SANAGA, 21 sur le MBAM, pour la période mars 73 - février 74, une étude des variations saisonnières parait possible pour ces deux cours d'eau. Pour le NYONG, 9 prélèvements entre avril 73 et février 74, ne permettent plus qu'une approche imprécise de la signification des variations observées. Par ailleurs, des variations observées sur une seule année hydrologique doivent être considérées avec prudence, compte tenu notamment de l'hydraulicité très faible de l'année 73.74, (sauf sur le NYONG). L'écart à la moyenne est de - 29 % sur le MBAM, et aurait probablement dépassé - 35 % sur la SANAGA ; si celle-ci n'était régularisée par la retenue de Mbakaou. Cette retenue, en modifiant les conditions naturelles de l'écoulement de la SANAGA, limite d'ailleurs, la signification des variations de la minéralisation des eaux de cette rivière. Par conséquent, les résultats obtenus présentent surtout un intérêt qualificatif.

5.1. *Cations et Anions*

Nous donnons dans les tableaux X, XI, et XII les caractéristiques des eaux de 3 rivières exprimées par différents rapports entre les anions et cations caractéristiques et par des formules rappelant les éléments dominants. Les eaux sont essentiellement bicarbonatées. Les teneurs en chlorures et en sulfates sont faibles, varient peu dans l'année et le rapport r SO4/r Cl n'est guère significatif. D'une manière plus générale, les rapports où SO4 et Cl interviennent sont très fortement affectés par les faibles valeurs mesurées pour ces éléments (où le degré de précision de l'analyse intervient). Ainsi, l'indice d'échange de base (i.e.b. = $\frac{r\,cl - r\,(Na+K)}{r\,cl}$) ne montre pas de variations significatives. Le rapport des alcalino-terreux r Mg/r Ca est plus intéressant. Que ce soit sur le MBAM ou sur la SANAGA, Mg est le plus faible par rapport à Ca pendant la période de hautes-eaux, ce qui pourrait indiquer une plus forte concentration de Mg soluble dans la partie confinée des nappes... (ce qui semble confirmé par les plus faibles valeurs de r (Na+K)/r Mg pendant les mois de mars à mai). Les concentrations en alcalino-terreux sont généralement plus fortes que celles des alcalins Na et K, et c'est Ca qui domine ; cependant, les alcalins montrent une teneur globale plus forte que Ca de mars à mai sur la SANAGA et en mai-juin sur le MBAM.

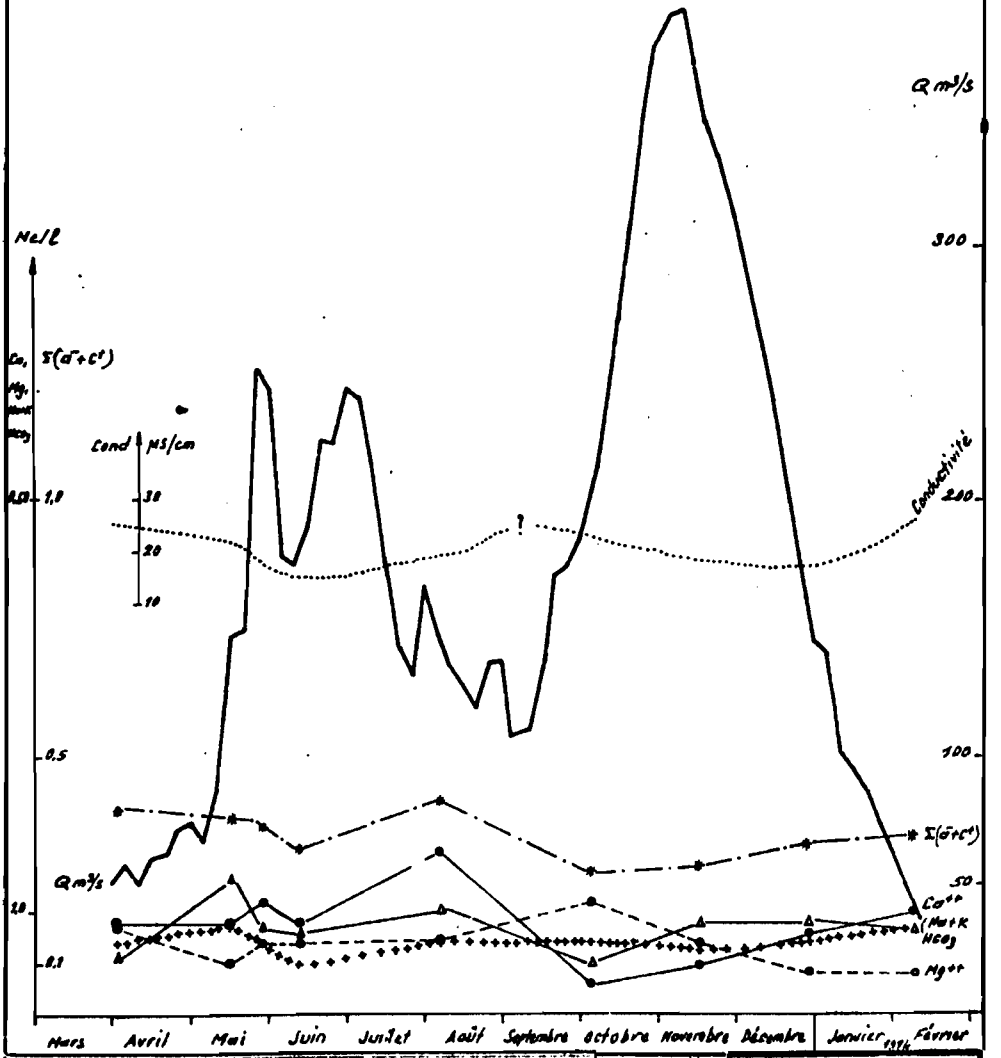
Dans les figures 8 à 10, nous avons reporté les variations de concentrations des différents cations et anions (à l'exclusion des sulfates et des chlorures) ainsi que les variations du débit liquide pour l'année 73-74, observées sur le NYONG, la SANAGA et le MBAM.

Variations saisonnières de la qualité des eaux et du débit

du NYONG à MBALMAYO

Fig. 8

en 1973-1974



	date	dés.	78/1-9

Variations saisonnières de la qualité des eaux et du débit

de la SANAGA à NACHTIGAL

en 1973-1974

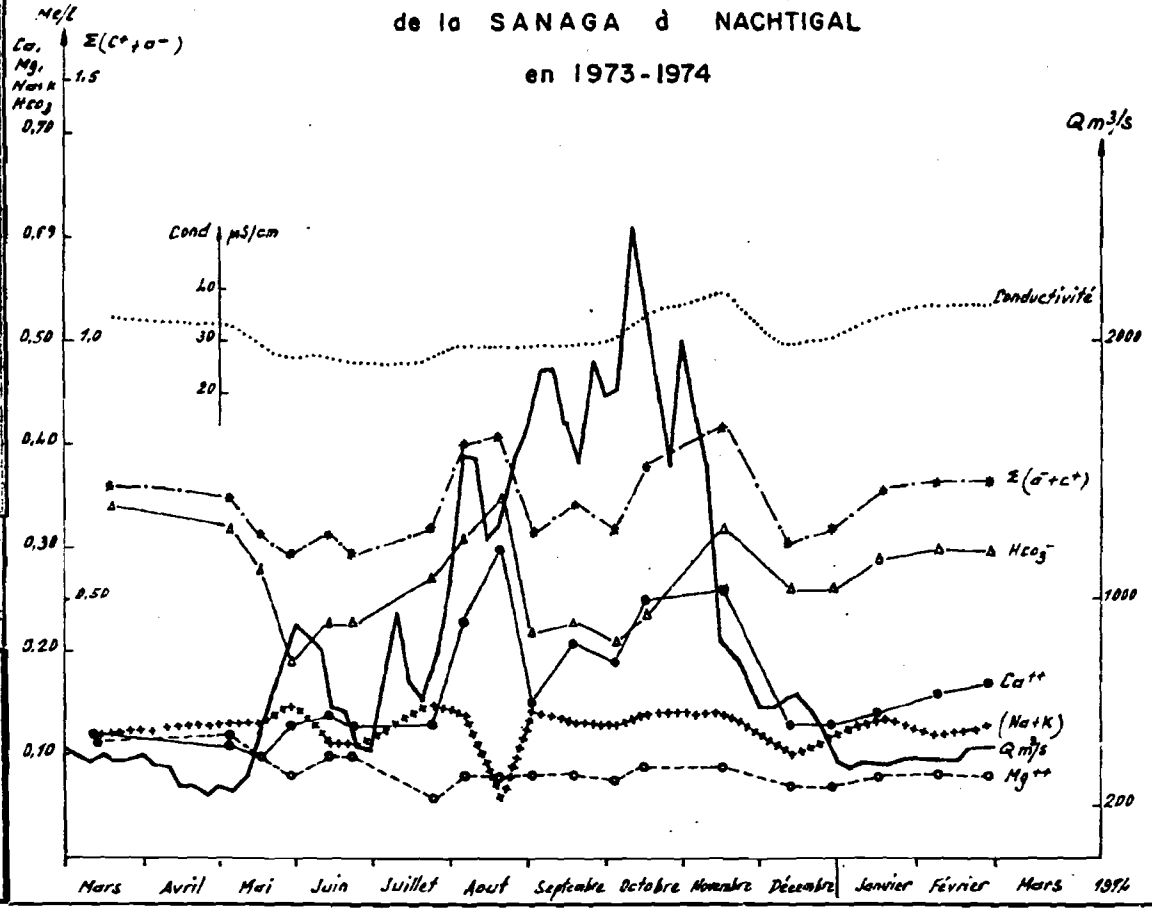
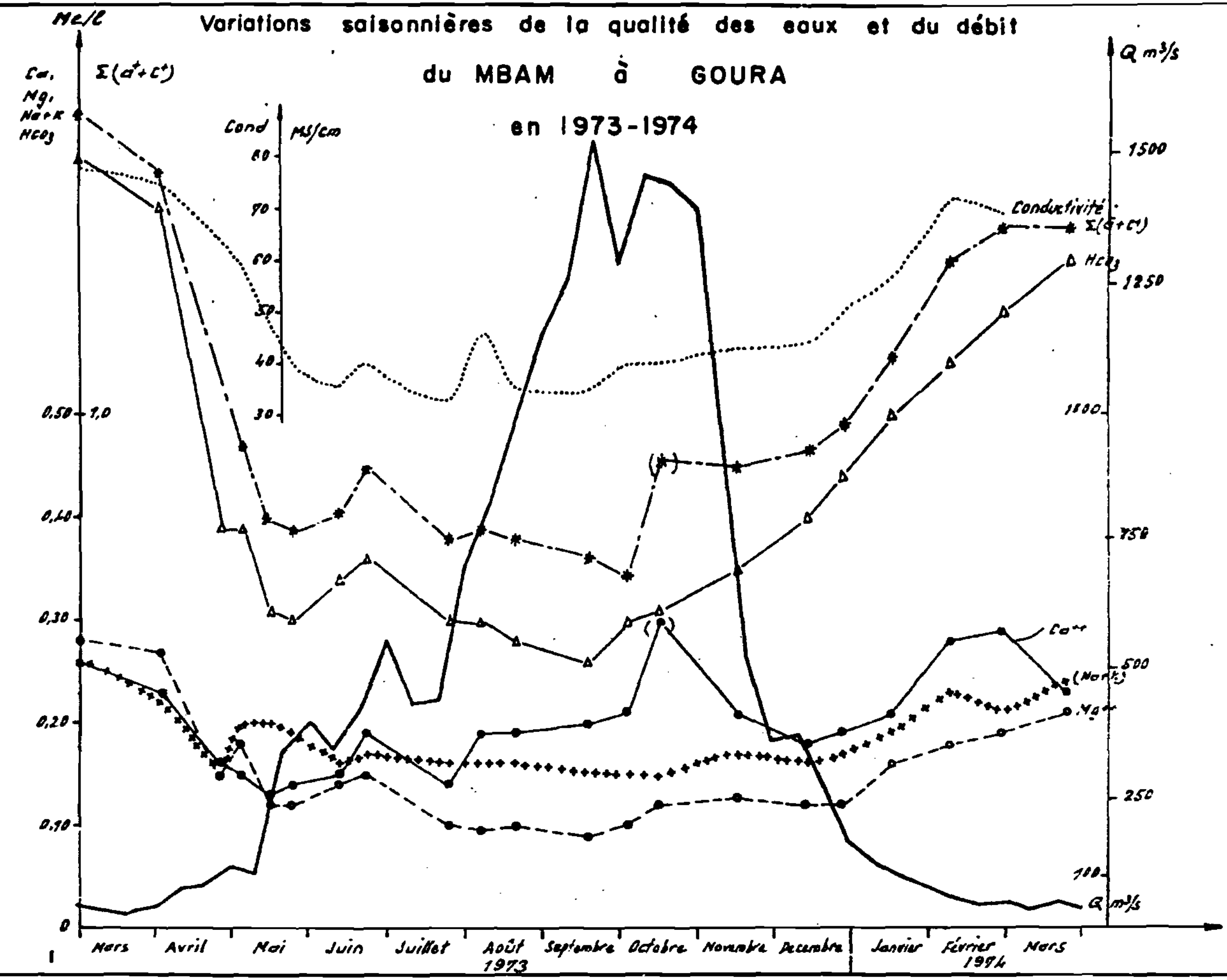


Fig. 9



Variations saisonnières de la qualité des eaux et du débit
du MBAM à GOURA
en 1973-1974
Me/l
Ca, Mg, Na+K, HCO3
Σ(a⁻+c⁺)
Cond µS/cm
Q m³/s
Conductivité
HCO3
Ca++
(Na+K)
Mg++
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Août
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Février
Mars
1973
1974

Fig.10

78/1-10

Pour le NYONG, nous avons déjà dit que les diverses concentrations étaient faibles ; leurs variations sont marquées par de faibles amplitudes. Le régime hydrologique du NYONG, avec ses deux périodes de hautes eaux, et les deux saisons sèches, entraine l'observation de deux maximum et deux minimum des concentrations. Les maximums sont observés en février-mars, puis en août, les minimums le sont en juin et en octobre pendant les deux périodes de hautes eaux. Les variations sont le plus marquées pour la somme des anions, cations, Ca^{++} et $HCO3^-$.

Pour la SANAGA, on assiste globalement $((a^+ + c^+))$, et en particulier pour HCO3 et Ca, aux variations suivantes :

- baisse des concentrations d'avril à juin qui peut être rattachée, pour une part au ruissellement des premières pluies, mais aussi aux lâchures les plus importantes de la retenue de Mbakaou dont les eaux sont moins minéralisées, que celles de l'écoulement de base naturel fourni par le tarissement des nappes.

- remontée des concentrations de juin à août. On sait que cette période se caractérise par une augmentation des débits de base par réalimentation des nappes à la suite de forts pourcentages d'infiltration des précipitations. Cette infiltration pourrait entrainer par "effet de chasse", la restitution dans le réseau hydrologique des eaux de la partie confinée des nappes plus minéralisées. Une autre explication complémentaire peut être appréhendée dans la mise en solution d'une partie des transports solides en suspension dont les concentrations sont maximales à cette époque.

- une nouvellle baisse en août-septembre due probablement à la part de plus en plus prépondérante des eaux de ruissellement sur celles de l'écoulement de base ;

- une nouvelle hausse précédant la décrue effective observée à NACHTIGAL liée au début du tarissement des nappes, en octobre-novembre, sur la partie septentrionale du bassin ; la fermeture des vannes du barrage de Mbakaou en privant la SANAGA d'apports plus minéralisés explique que l'on retrouve un niveau, de concentration plus bas, début décembre.

- ce niveau de concentrations va augmenter régulièrement au cours de la saison sèche. Le phénomène naturel des variations de la concentration ionique dans les eaux de la SANAGA est nettement pertubé par la retenue de Mbakaou ; Cependant, l'influence des origines des eaux de la rivière apparait nettement et les variations de concentrations sont liées au dosage des eaux de ruissellement et de l'écoulement de base.

TABLEAU X : CARACTERISTIQUE DE LA COMPOSITION IONIQUE DES EAUX DU NYONG A MBALMAYO

N°	FORMULES CARACTERISTIQUES	TH (°f)	$\frac{r\ SO4}{r\ Cl}$	$\frac{r\ HCO3}{r\ SO4}$	$\frac{r\ Mg}{r\ Ca}$	$\frac{r\ Na+K}{r\ Mg}$	i.e.b.
1	r SO4 > r HCO3 > r Cl avec r Ca > r Mg > r Na+K	0,88	8,5	0,7	0,9	0,8	-7,0
2	r Cl > r HCO3 > r SO4 avec r Ca > r Na+K > r Mg	0,68	0,7	13,5	0,5	1,7	-5,6
3	r HCO3 > r Cl > r SO4 " r Ca > r Na+K > r Mg	0;90	0,5	8,5	0,5	1,0	-3,5
4	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Ca > r Mg > r Na+K	0,80	2,0	4,0	0.8	0,7	-5,0
5	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Ca > r Na+K > r Mg	1,15	1,0	10,0	0,4	1,0	-7,0
6	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Mg > r Na+K > r Ca	0,70	1,0	5,0	3,7	0,6	-7,0
7	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Mg > r Na+K > r Ca	0,60	1,0	-	-	-	-
8	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Ca > r Na+K > r Mg	0,60	1,5	3,0	0,5	1,75	-3,5
9	r HCO3 > r SO4 > r Cl " r Na+K > r Ca > r Mg	0,70	4,0	2,0	0,4	2	-8,0

TH : Titre hydrotimétrique total (Ca+Mg) en degrés français - r : concentration en me/l.

i.e.b. : $\frac{r\ Cl - r\ (Na+K)}{r\ Cl}$

TABLEAU XI : CARACTERISTIQUES DE LA COMPOSITION IONIQUE DES EAUX DE LA SAVIGA A NACTIGAL

N°	FACIES CARACTERISTIQUES			TH (°f)	r SO4 / r Cl	r HCO3 / r SO4	r Mg / r Ca	r Na+K / r Cl	i.e.b.
1	r HCO3 > r SO4 > r Cl	avec	r Na+K > r Ca > r Mg	8,15	2,0	17,0	0,9	1,2	-13,0
2	r HCO3 > r SO4 > Cl	"	r Na+K > r Mg > r Ca	8,15	1,0	32,0	1,1	1,1	-13,0
3	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,0	1,0	28,0	1,0	1,3	-13,0
4	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,05	0,3	19,0	0,5	1,75	- 8,5
5	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,20	1,0	23,0	0,7	1,1	-11,0
6	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,15	1,0	22,0	0,7	1,1	-11,0
7	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Na+K > r Ca > r Mg	0,95	0,5	27,0	0,5	2,50	- 7,5
8	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,55	1,3	20,7	0,3	1,75	- 9,3
9	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,90	2,0	17,5	0,3	1,5	-13,0
10	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,15	1,3	11,0	0,5	1,75	- 9,3
11	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,45	1,3	11,5	0,4	1,5	- 8,7
12	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,32	1,3	10,5	0,4	1,7	- 8,2
13	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,70	1,0	12,0	0,4	1,5	- 7,0
14	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,75	2,0	16,0	0,3	1,5	-14,0
15	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	8,00	0,7	13,0	0,7	1,4	- 3,3
16	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,00	1,0	8,7	0,5	1,70	- 4,0
17	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,10	1,3	7,3	0,5	1,75	-4,5
18	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,20	0,4	15,0	0,5	1,5	- 2,4
19	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,25	1,5	10,0	0,5	1,5	- 6,5
20	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	0,75	0,1	11,0	0,7	1,5	- 0,3

TABLEAU XII : CARACTERISTIQUES DE LA COMPOSITION IONIQUE DES EAUX DJ[illegible] A GOUBA

N°	FORMULES CARACTERISTIQUES			T° (°f)	r SO4 / r Cl	r HCO3 / r SO4	r Mg / r Ca	r Na+K / r Mg	i.e. [illegible]
1	r HCO3 > r SO4 > r Cl	avec	r Mg > r Ca > r Na+K	2,7	1,0	37,5	1,1	[illegible]	-25,0
2	r HCO3 > r SO4 > r Mg	"	r Mg > r Ca > r Na+K	2,5	4,0	17,5	1,2	[illegible]	-22,0
3	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Mg > r Na+K	1,55	3,0	13,0	[illegible]	1,[illegible]	-15,0
4	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Na+K > r Mg > r Ca	1,65	1,0	33,0	1,2	1,1	-20,0
5	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,25	0,4	31,0	0,[illegible]	1,7	- 7,4
6	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,30	0,5	30,0	0,9	1,6	[illegible],5
7	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,45	1,0	34,0	0,[illegible]	1,1	-15,0
8	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,70	1,0	35,0	0,[illegible]	1,1	17,0
9	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Na+K > r Ca > r Mg	1,20	0,3	30,0	0,7	1,1	- 4,2
10	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,42	2,5	12,0	0,5	1,7	-15,0
11	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,45	2,0	14,0	0,5	1,7	-16,0
12	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,45	2,0	13,0	0,5	1,6	-15,0
13	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,55	1,5	20,0	0,5	1,7	-15,0
14	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	2,10	2,0	15,5	0,4	1,5	-15,0
15	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,70	2,5	14,0	0,6	1,3	-17,0
16	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,50	0,40	20,0	0,7	1,3	- 3,2
17	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,50	0,40	29,3	0,7	1,3	5,6
18	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,85	1,3	20,0	0,8	1,2	- 9,5
19	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	2,30	0,6	27,5	0,6	1,3	- 6,5
20	r HCO3 > r Cl > r SO4	"	r Ca > r Na+K > r Mg	2,40	0,7	20,0	0,7	1,1	- 4,6
21	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Na+K > r Ca > r Mg	2,20	2,0	32,5	0,9	1,1	-24,0
22	r HCO3 > r SO4 > r Cl	"	r Ca > r Na+K > r Mg	1,10	2,0	11,0	0,6	1,5	-12,0

Pour le 'BA', les concentrations sont nettement plus fortes et les amplitudes des variations plus élevées. Grosso-modo, celles-ci se traduisent par une baisse, stabilisée au cours de la saison des pluies, et une hausse pendant la période de tarissement, variations qui illustrent bien, en raison inverse, celles de l'hydrogramme annuel du 'BA'.

Avec le début de la saison des pluies, les concentrations baissent, ceci jusqu'en mai ; on observe en juin, une remontée des concentrations : s'agit-il comme nous l'avons supposé pour la SANAGA d'un "effet de chasse" sur la partie confinée, plus minéralisée des nappes. - ou bien de la mise en solution d'éléments transportés en suspension par la rivière, à une période où l'érosion est la plus active ? Si cette augmentation des concentrations s'observe bien sur la SANAGA et le 'BA', il faut convenir qu'elle est plus modérée et brève dans le temps pour le 'BA'.

De juillet à septembre, les concentrations diminuent, avec l'augmentation des débits de ruissellement. Les teneurs en Ca restent relativement élevées, pendant cette période où s'observe le processus de ferrallitisation.

De Septembre à la fin de la saison sèche, les teneurs augmentent régulièrement, notamment pour les bicarbonates, d'abord de par la part de plus en plus importante des débits de base, ensuite de par la restitution d'eaux souterraines restées de plus en plus longtemps au contact du matériau aquifère.

Dans la figure 11, les concentrations (somme des anions et cations) ont été portées en fonction des débits, (en coordonnées logarithmiques). Pour le 'BA', la relation apparait graphiquement linéaire. La dispersion des points montre une relation très imparfaite, pour la SANAGA, imprécise, mais plus valable, pour le NYONG.

5.2. *Silice et Fer*

Les variations observées sur l'année 73-74 de la silice et du fer sont données dans les fig. 12 pour le NYONG, la SANAGA et le 'BA'. L'échelle des concentrations en mg/l est dix fois plus grande pour le fer que pour la silice.

Que ce soit pour la silice ou le fer, les variations observées sur le NYONG n'ont pas été suivies avec une densité de mesures suffisantes pour être interprétées de façon significative. On retrouve deux sommets montrant peut-être que les nappes ont atteint pendant les deux saisons des pluies, les niveaux plus ferrugineux du matériau aquifère.

Pour le 'BA' et la SANAGA par contre, les variations observées présentent d'autant plus d'intérêt qu'elles sont parallèles sur les deux bassins.

Concentrations et débits

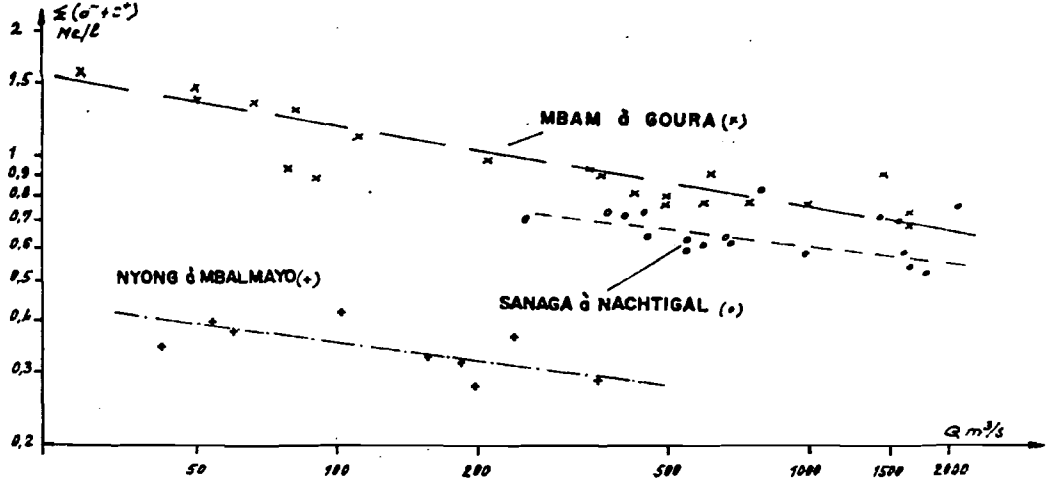


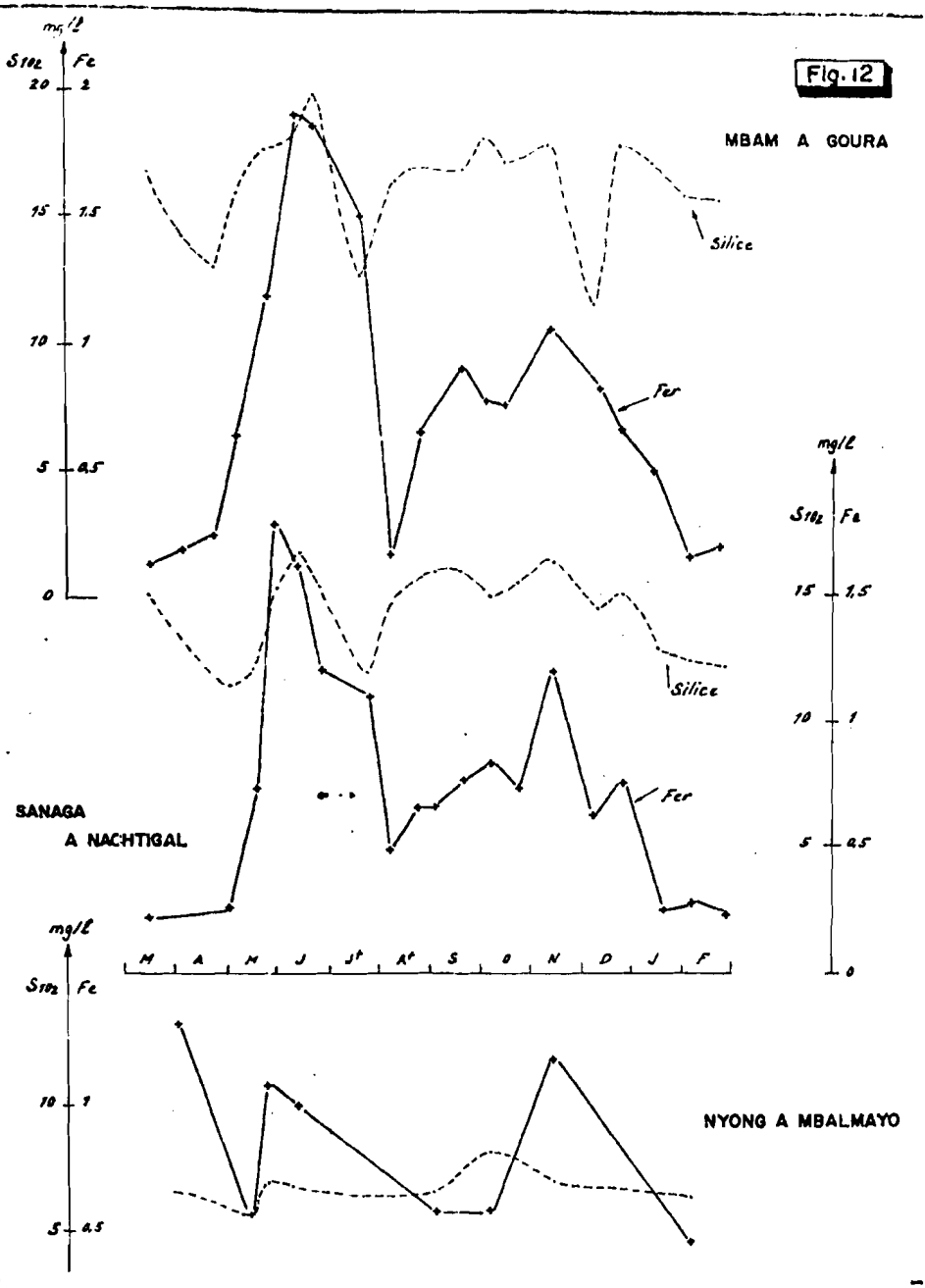
Fig. 11

date

dés.

78/1 - 13

Fig. 12



VARIATIONS DES CONCENTRATIONS EN SILICE ET EN FER
DES EAUX DU NYONG DE LA SANAGA ET DU MBAM
AU COURS DE L'ANNEE 1973-74

	date	des.	78/1-4

Les variations paraissent nettement significatives pour le fer pour lequel, on observe deux maximums. Le premier maximum s'observe en juin ; on passe en quelques semaines de 0,2-0,3 mg/l à 1,5 - 2 mg/l de fer. Ces concentrations chutent rapidement en août (moins de 0,5 mg/l) pour remonter à la fin du mois d'août, et atteindre le deuxième maximum en novembre. Les teneurs les plus basses sont observées en saison sèche (0,2 - 0,1 mg/l)/

Le deuxième maximum correspond très probablement à la remontée des nappes jusqu'aux niveaux d'induration, ou les plus ferrugineux, qui résultent d'un processus secondaire de la ferrallitisation, comme cela a déjà été signalé plus haut. Le premier maximum ne résulte pas, quant à lui, du même phénomène : les nappes n'ont pas encore récupéré leurs hauts niveaux hydrostatiques. Il semble correspondre à la phase d'érosion la plus active de l'année, déjà évoquée pour les ions. Le nettoyage de la surface des sols, par des averses souvent violentes et généralisées, après un démarrage de la saison des pluies spatialement hétérogène, amène les plus fortes concentrations de matériaux en suspension, dont une partie est soluble. En surface, la densité des matériaux ferrugineux est plus grande (latérite, cuirasse), et il parait donc logique d'attribuer à l'érosion un rôle majeur dans la mise en solution du fer sur cette période de l'année.

Pour la silice, on retrouve sensiblement les mêmes variations avec cependant quelques variantes. En période de basses eaux, les concentrations restent élevées ; elles diminuent en début de saison de pluies par dilution arithmétique dans des débits plus élevés, puis augmentent nettement par la mise en solution des suspensions emportées par l'érosion, pour rechuter après le nettoyage des surfaces du sol.
Lessivage et percolation pendant les mois les plus arrosés d'août, septembre, octobre provoquent jusqu'en novembre, le développement majeur du processus de ferrallitisation et entrainent dans les eaux de fortes concentrations de silice qui vont légèrement baisser pendant la saison sèche.

6. ESTIMATION DES TRANSPORTS DISSOUS.

Dans ce qui a précédé, nous avons considéré les concentrations de divers constituants minéraux des eaux. Ces données définissent la qualité des eaux et intéressent les éventuels utilisateurs. Elles ont permis également, que ce soit d'une région à l'autre, ou sur le plan des variations saisonnières, de proposer une interprétation des processus physiques intervenant dans la minéralisation des eaux. Ainsi, le transit des eaux de pluies, plus ou moins long dans les nappes souterraines, dans les sols, rapide à la surface, amène des potentialités de mise en solution différentes qui se traduisent globalement par de plus fortes concentrations en périodes de basses eaux. Mais l'amplitude des variations de concentration est beaucoup plus faible que celle des débits observés dans les cours d'eau, et sur le plan des masses dissoutes, le problème apparait de manière différente et intéresse l'hydrologue. En effet, à l'érosion mécanique (charriage, suspension) s'ajoute l'érosion chimique dont la minéralisation des eaux rend compte ; l'estimation du bilan annuel des transports dissous complète celle des transports en suspension qui a été faite dans des études antérieures et permet une appréciation globale des apports à l'océan. Cette appréciation contribue à la connaissance des phénomènes actuels et à la compréhension de la genèse des roches sédimentaires.

Les diverses concentrations exprimées en milliéquivalents par litres ont été traduites en milligrammes par litre ion par ion et additionnées. A cette valeur qui figure dans une première colonne, dans les tableaux XIII et XIV est ajoutée la concentration en silice et fer donnant la concentration totale de matière dissoute dans l'eau portée dans une deuxième colonne. Cette valeur constitue une approche par défaut de la concentration totale réelle compte-tenu du caractère incomplet des analyses effectuées. (Cette approche semble cependant assez précise si l'on en juge par quelques analyses plus complètes effectuées, sur la SANAGA et le NYONG.)

Ces valeurs se rattachent bien entendu aux débits de la rivière, observés au moment de chaque mesure, et permettent de calculer le débit de matière dissoutes qui a été reporté dans les colonnes suivantes pour la somme des anions, cations, puis pour les matières dissoutes totales. Ces débits sont exprimés en kgs par seconde.

Les figures 13 et 14 montrent les variations des débits de matière dissoute au cours de l'année 73 - 74, pour les rivières NYONG, SANAGA, et MBAM. Par planimétrage, on obtient le poids annuel des matières dissoutes ayant transité à la station de mesures.

TABLEAU XIII : CONCENTRATIONS ET DEBITS DE MATIERES DISSOUTES

N° d'analyse	Concentration Anion-cation mg/l	concent. totale avec silice et fer mg/l	Débits liquide m3/s	Débits de matières dissoutes Anion-cation kg/s	total kg/s
NYONG à MBALMAYO :					
1	13,08	21,32	54	0,706	1,151
2	14,06	20,54	60	0,844	1,232
3	11,51	19,81	241	2,774	4,774
4	10,31	18,33	184	1,897	3,373
5	12,91	20,31	103	1,330	2,091
6	7,74	16,74	199	1,540	3,331
7	9,37	18,27	365	3,603	6,669
8	11,65	19	157	1,829	3,054
9	11,80	19,49	42	0,496	0,819
SANAGA à NACHTIGAL :					
1	29,14	44,35	398	11,6	17,7
2	27,77	39,41	246	6,83	9,69
3	25,07	37,9	536	13,4	20,3
4	21,11	38,09	951	20,1	36,2
5	22,04	40,26	670	14,8	27,0
6	22,0	38,50	536	11,8	20,6
7	25,25	38,36	654	16,5	25,1
8	30,0	45,28	1 558	46,7	70,5
9	33,20	48,35	1 415	47,1	68,4
10	22,73	39,39	1 784	40,55	70,3
11	24,31	41,09	1 580	38,4	64,9
12	22,63	38,47	1 616	36,6	62,2
13	26,25	42,57	2 024	53,1	86,2
14	30,99	48,58	782	24,2	38,0
15	24,14	39,36	590	14,2	23,2
16	25,24	41,20	450	11,4	18,5
17	28,30	41,55	370	10,5	15,4
18	28,60	41,47	370	10,6	15,3
19	28,60	41,24	444	12,7	18,3
20	25,94	41,99	2 600	67,2	109,2

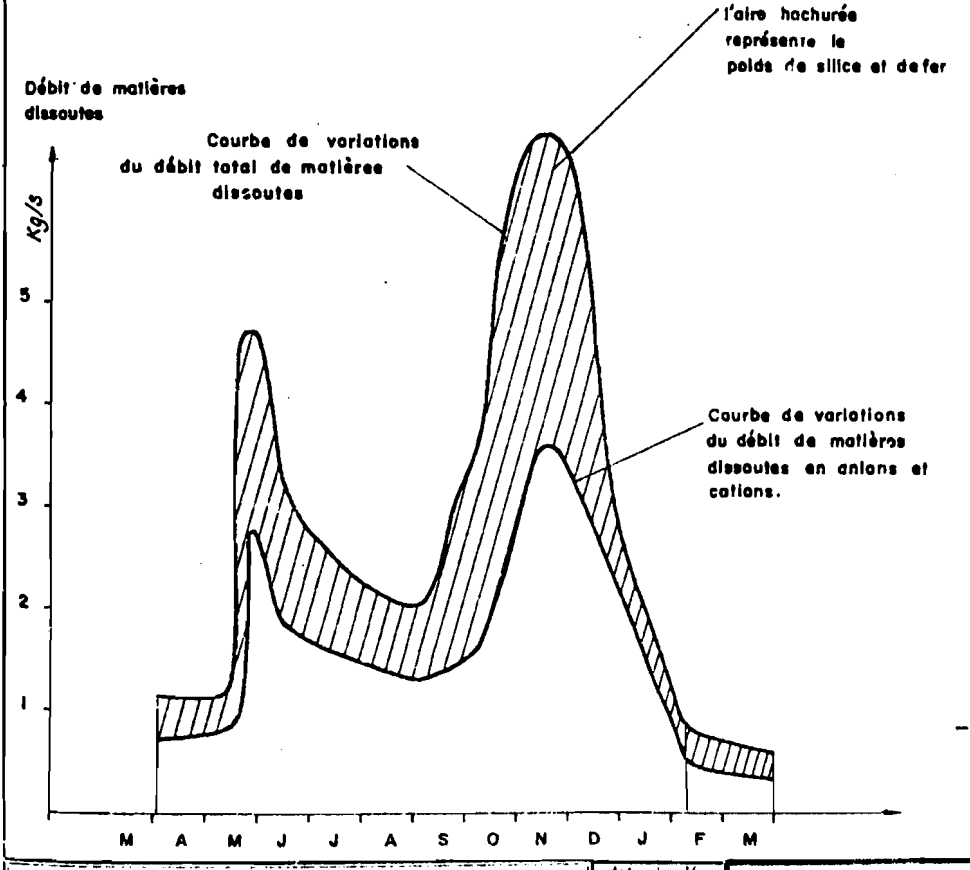
TABLEAU XIV : (SUITE)

N° d'analyse	Concent. Anion-cation mg/l	Concent. totale avec silice et fer mg/l	Débit liquide M3/s	Débits matières dissoutes Anion-Cation kg/s	Débits matières dissoutes Total kg/s
MBAM A COURA :					
1	62,73	79,65	28	1,76	2,23
2	59,16	74,64	50	2,96	3,68
3	35,09	48,34	90	3,16	4,35
4	35,68	52,31	78	2,78	4,08
5	30,10	49,20	493	14,8	24,3
6	29,06	-	596	17,3	-
7	30,86	50,88	418	12,9	21,3
8	33,31	55,19	362	12,1	20,0
9	29,07	43,29	493	14,3	21,3
10	29,12	45,90	736	21,4	33,8
11	27,72	45,38	979	27,1	44,4
12	26,39	44,29	1 633	43,1	72,3
13	28,87	48,05	1 633	47,1	78,5
14	31,75	49,73	1 428	45,3	71,0
15	33,2	52,30	615	20,4	32,2
16	36,66	49,30	344	12,6	17,0
17	38,66	57,33	208	8,04	11,9
18	43,86	61,77	110	4,82	6,79
19	49,76	65,93	82	4,08	5,41
20	53,51	69,52	50	2,68	3,48
21	54,89	-	67	3,68	-
22	21,90	41,74	1 933	42,3	80,7

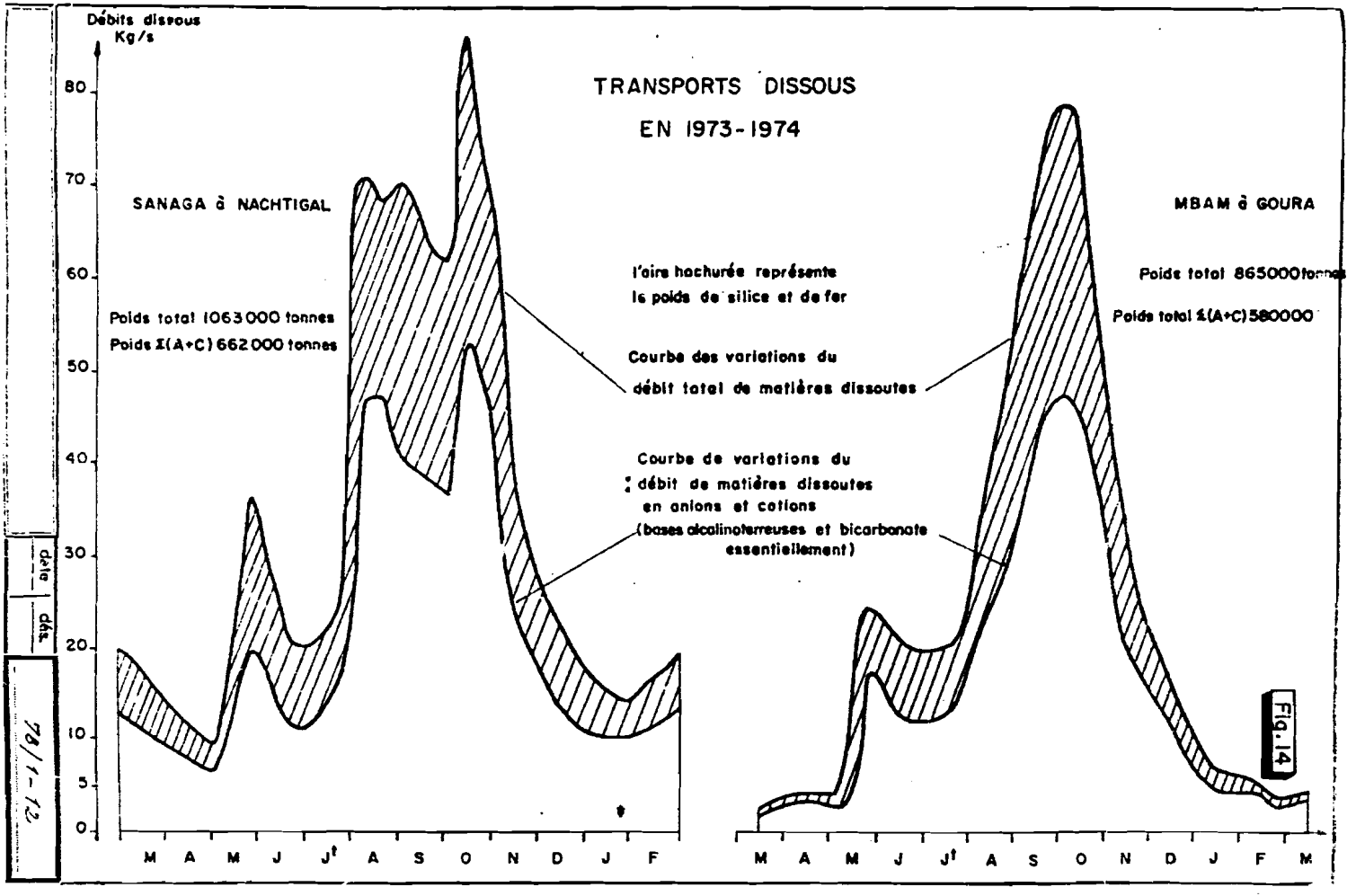
Fig.13

TRANSPORTS DISSOUS
DU NYONG à MBALMAYO

Poids total 88500 tonnes
Poids Σ (A+C)49000 tonnes



	date	dés.	78/1 - 11


TRANSPORTS DISSOUS
EN 1973-1974
Débits dissous
Kg/s
80
70
60
50
40
30
20
10
5
0
SANAGA à NACHTIGAL
Poids total 1063000 tonnes
Poids Σ(A+C) 662000 tonnes
l'aire hachurée représente
le poids de silice et de fer
Courbe des variations du
débit total de matières dissoutes
Courbe de variations du
débit de matières dissoutes
en anions et cations
(bases alcalinoterreuses et bicarbonate
essentiellement)
MBAM à GOURA
Poids total 865000 tonnes
Poids total Σ(A+C) 580000
M A M J J A S O N D J F
M A M J J A S O N D J F M
Fig. 14
78/1-12

Les résultats sont les suivants :

Pour le NYONG à !'BALMAYO :

Poids annuel total de matières dissoutes : 88 500 tonnes ;

Poids annuel (anions-cations) : 49 000 tonnes ;

Poids de silice et fer : 39 000 tonnes,

en pourcentage, 55 % pour la somme des anions et cations et 45 % pour la silice et le fer.

Pour la SANAGA à NACHTIGAL :

Poids annuel total de matières dissoutes : 1 063 000 tonnes ;

Poids annuel (anions-cations) 662 000 tonnes ;

Poids de silice et fer : 401 000 tonnes,

soit en pourcentage 62 % pour la somme des anions-cations et 38 % pour la silice et le fer.

Pour le MBAM à OMBA :

Poids annuels total de matières dissoutes : 865 000 tonnes

Poids annuel (anions- cations) : 580 000 tonnes ;

Poids de silice et fer : 285 000 tonnes.

soit en pourcentage, 67 % pour la somme des anions-cations et 33 % pour la silice et le fer.

Compte-tenu des volumes écoulés en 73-74, nous obtenons les concentrations moyennes annuelles suivantes :

	Module m3/s	Volume écoulé 10^9 m3	Concent. moyenne ann. totale mg/l	Cn(anion-cation) mg/l	Si O2 et Fer
NYONG :	160	5,016	17,54	9,71	7,83
SANAGA :	861	27,217	39,0	24,3	14,7
MBAM :	528	16,651	51,9	34,8	17,1

A propos des concentrations en silice et fer, rappelons ici que le fer intervient pour moins de 10 % du total. Ces valeurs représentent donc essentiellement la silice.

Le paramètre le plus intéressant à étudier comme élément de comparaison est la dégradation chimique spécifique qui est calculée en ramenant le poids annuel de matières dissoutes à l'unité de surface et s'exprime en tonnes par kilomètre carré et par an (T/Km2/an). Les valeurs de la dégradation chimique spécifique sont données ci-après : (D. ch. sp.).

	Superficie du bassin km2	D. ch. sp. Totale T/km2/an	D. ch. sp. anion cation T/km2/an	D. ch. sp. silice-fer T/km2/an
NYONG	13 555	6,53	3,61	2,92
SANAGA	76 000	11,0	5,72	5,28
MBAM	42 300	20,45	13,71	6,74

Outre la "hiérarchie" entre les bassins rappelée pour mémoire, il est intéressant de constater que la dégradation chimique spécifique des anions et cations augmente plus rapidement du NYONG au MBAM que celle de la silice et du fer. Cela tient vraisemblablement à la solubilité plus grande des cations alcalins et alcalino-terreux, par rapport à la silice, existant en stocks plus importants dans les sols de l'Ouest plus jeunes, que ceux du NYONG où la ferrallisation est très ancienne.

Ce sont d'ailleurs ces sols de l'Ouest qui font l'originalité du bassin de MBAM par rapport à celui de la SANAGA. Ils interviennent, pour un faible pourcentage dans la superficie du bassin du MBAM, mais pour une grande part dans le bilan de la dégradation chimique de ce bassin, et aussi pour d'autres raisons (densité des cultures), dans la forte érosion mécanique qui a été observée sur le MBAM par rapport à la SANAGA.

Puisque nous parlons d'érosion mécanique, il est intéressant de rattacher les mesures de la dégradation chimique aux résultats des études sur les transports en suspension. Ainsi pour le MBAM en 73-74, la dégradation spécifique pour les transports en suspension était de 50 T/km2/an pour 20,4 tonnes/km2/an de matières dissoutes. Soit, 70,4 T/km2/an au total, dont 26 % relatifs à l'érosion chimique. L'année de faible hydraulicité, ne rend pas compte de la dégradation moyenne estimée à 85 T/km2/an de transports en suspension. Il est probable qu'en année moyenne sur le MBAM, la dégradation chimique sera plus importante, mais il est difficile de préciser dans quelles proportions.

Les transports solides en suspension mesurés jusqu'en 1970 sur la SANAGA ont fait apparaître une dégradation spécifique inter-annuelle de 28 T/km2/an. Pour ce bassin, l'érosion chimique 11 T/km2/an serait proportionnellement plus importante et interviendrait pour 33 % de l'érosion globale (33 T/km2/an).

Dans le cas du NYONG, aucune mesure des transports en suspension n'a été faite; il semble cependant que la dégradation spécifique des sols pourrait porter sur environ 10 T/km2/an, ce qui laisserait à l'érosion chimique une part encore plus grande dans le bilan total de l'érosion.

Il faut souligner ici les deux types de facteurs conditionnels dont dépendent l'érosion mécanique d'une part, l'érosion chimique d'autre part.

Pour l'érosion mécanique, relief, couverture végétale et cultures apparaissent comme des facteurs déterminants.

Pour l'érosion chimique, le facteur déterminant tient dans la nature des sols et dans le cas du Sud-CAMEROUN, au degré plus ou moins avancé de ferrallisation.

Ainsi, il serait dangereux d'imputer les faibles minéralisations des eaux du NYONG à la couverture forestière ; si la dégradation chimique du MFI ou du DJA est probablement voisine de celle du NYONG, cela tient avant tout à des faciès pédologiques voisins. Pour la Cross-River ou le Lungo, sous couverture forestière, la dégradation chimique sera certainement plus importante du fait de sols plus jeunes observés sur une partie des bassins.

Pour terminer ce chapitre, nous rappelons dans le tableau XV, les caractéristiques du régime hydrologique et des transports en suspension et dissous mesurées sur le NYONG, la SANAGA et le [illegible].

TABLEAU XV

	UNITE	NYONG à MBALMAYO		SANAGA à NACHTIGAL		MBAM à GOURA	
		Moyenne 73.74		Moyenne 73.74		Moyenne 73.74	
Superficie B.V	Km2	13 555		76 000		42 000	
Pluviométrie	mm	1 606	1 709	1 612	-	1 763	-
Module	m3/s	154	160	1 150	860	762	530
Coef. d'écoulement	%	22,2	21,8	29,5	-	32,4	-
Volume écoulé	$10^9 m^3$	4,840	5,046	36,140	27,247	24,160	16,651
Erosion mécanique (suspension)							
Poids annuel de matières transportés.	$10^3 T$			2 100	-	3 500	2 492
Concentration moyenne.	g/m^3			58	-	160	150
Dégradation spécifique.	T/Km2/an	(10)		28	-	85	59
Erosion chimique.							
Poids annuel	$10^3 T$	-	88,5	-	1 063	-	865
Concentration moyenne	g/m3	-	17,54	-	39,0	-	51,9
Dégradation spécifique.	T/Km2/an	-	6,53	-	14,0	-	20,45
Erosion globale.	T/Km2/an	(16 - 17)		(42)		(110 - 120)	79,5

7. *CONCLUSIONS*

L'intérêt de cette étude est d'avoir d'une part permis de dégager une vue d'ensemble sur la qualité des eaux des rivières du CAMEROUN Méridional et de proposer d'autre part, une interprétation significative des variations observées. Nous n'en avons pas dissimulé le caractère incomplet et imparfait, et en guise de conclusion, nous proposerons quelques orientations pour la reprise et l'extension d'un éventuel programme de recherches dans ce domaine.

L'aspect "qualité des eaux" sensu-stricto présente un intérêt certain pour les utilisateurs (industriels, responsables des adduction d'eau). Il implique des analyses chimiques plus complètes avec notamment mesure de l'oxygène libre, des phosphates, nitrate, nitrite et recherche des pollutions agricoles et agro-industrielles (pesticides). Des recherches biochimiques peuvent être envisagées (cycle du soufre) pour déterminer les activités microbiennes susceptibles d'entraîner des corrosions dans les ouvrages hydrauliques.

Dans ce type d'étude, la cadence des prélèvements peut se limiter à quelques mesures, basses-eaux, hautes eaux et périodes consécutives aux traitements des cultures industrielles. Cet aspect des recherches constitue surtout un "inventaire de la qualité des eaux", et sort du cadre des travaux de l'hydrologue. Il peut être envisagé ponctuellement à la demande des utilisateurs. Par contre, l'aspect "variations spatiales, saisonnières et interannuelles de la minéralisation des eaux" intéresse directement l'hydrologue, car cet aspect est directement lié au régime hydrologique des cours d'eau, et aux caractéristiques de leurs bassins versants.

L'importance de la nature des sols sur la minéralisation des eaux implique que soit recueillie auprès des pédologues une information globale pour chaque bassin versant (description des profils en termes de chimie des sols). Cette information couvre pratiquement l'ensemble du CAMEROUN.

Dans l'éventualité d'un tel programme de recherches, son extension géographique devrait englober l'ensemble du Pays.

Nous avons retenu les stations hydrométriques suivantes :

Cross-River à MAMFE, Mungo à MUNDAME, Meme ABAI, Wouri à YABASSI. Pour l'Ouest, metchié aux chutes, Mifi à BAMOUNGOUM, Mbam à MANTOUM, Mbam à GOURA (régularisé), Lom à BETARE-OYA, Vina-Sud au LAHORE, Sanaga à NACHTIGAL (régularisée), Sanaga à EDEA (régularisée) . Pour le bassin de la Sanaga : Nyong à MBALMAYO, Nyong à DEHANE, Lobé à KRIBI, Ntem à NGOAZIK, Dja à SOMALOMO + BOUMBA à BIWALA pour le Sud et l'Est ; Bénoué au Buffle-noir, Bénoué à GAROUA, Mayo Kébi à COSSI pour le Nord.

Sur le plan pratique, les prélèvements devraient être effectués tous les quinze jours (24 observations par an) et comprendre chaque fois la prise de 3 échantillons. Conjointement à ces mesures, il serait intéressant de procéder à des prélèvements pour mesure des transports solides en suspension.

L'étude devrait porter sur un minimum de deux années. Les analyses devraient comporter le dosage d'éléments complémentaires, et en particulier de l'Aluminum dont les variations doivent être voisines de celles du fer.

Ce programme implique l'accès à un laboratoire d'analyses pouvant assurer le traitement de 1 500 échantillons par an.

C'est dans cette optique que des recherches pourraient, à notre sens, préciser l'aspect quantitatif et confirmer l'interprétation qualitative des observations effectuées ici sur la minéralisation des eaux du CAMEROUN.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme : Annuaire hydrologique du CAMEROUN - années 73-74.

Béchaux (J) : "Memento technique de l'eau". Degremont PARIS 1972.

COLOMBANI (J) : "Premiers résultats des mesures de qualité des eaux au TOGO et au DAHOMEY."
, cahier ORSTOM série hydrologique Vol IV n°2 1967.

DUBREUIL (P), GUISCAFRE (J), NOUVELOT (JF), OLIVRY (JC) " Le Bassin de la Rivière SANAGA".
Monographies hydrologiques ORSTOM, PARIS 1975.

MOLINIER (M) "Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de COTE-D'IVOIRE".
Cahier ORSTOM, série hydrologique vol XII n°1 1976

NAAH (E) Etude du comportement du Mile Six River
ONAREST -IRTISS 1977.

NOUVELOT (JF) Mesure et étude des transports solides en suspension au CAMEROUN - ORSTOM YAOUNDE 1969.

OLIVRY (JC), HOORELBECKE (R), ANDIGA (J)
"Quelques mesures complémentaires de transports solides en suspension au CAMEROUN".
ORSTOM YAOUNDE 1975.

OLIVRY (J.C) "Régimes hydrologiques en Pays Bamiléké. Etude du bassin versant de la Mifi Sud" Tome I et II.
ORSTOM YAOUNDE 1974.

OLIVRY (JC) Régime hydrologique du fleuve Mouri et estimation des apports reçus par l'estuaire et la mangrove au Mouri.
ORSTOM 1974.

RODIER (J) L'Analyse de l'eau 1975 Dunod.