

DONNÉES RELATIVES AUX ÉLÉMENTS EN TRACES LIÉS AU TRANSPORT SOLIDE D'UN FLEUVE DE ZONE INTERTROPICALE

C. MONNET

*Géologue ORSTOM
Laboratoire de Géologie et Sédimentologie
Université de Nice*

RÉSUMÉ

Les éléments en traces (au nombre de 18) liés au transport solide, sont étudiés depuis les provinces distributrices (bassins versants granitique de savane et schisteux sous forêt) jusqu'à la zone estuarienne. Les deux formes d'exportation, en solution et en relation avec les suspensions, ont été comparées.

Sur les bassins versants de faibles dimensions (superficie inférieure à 200 km²), la forme préférentielle du départ des éléments en traces est la suivante :

— bassin granitique, en savane : prédominance de l'exportation des éléments liés aux suspensions : titane, manganèse, chrome, vanadium. Seul le strontium migre davantage en solution.

— bassin schisteux, sous forêt : prédominance du départ des éléments en solution, sauf pour le titane.

Sur les bassins versants de grandes dimensions (superficie supérieure à 30 000 km²), nous notons une homogénéisation des valeurs des rapports établis entre les teneurs en éléments en traces des détritiques et des eaux vectrices. Le transport en solution prédomine sauf pour le titane et le manganèse.

ABSTRACT

Eighteen trace elements carried out by suspended load were studied from their origin (granitic savanna and schistous forest drainage basins) until the estuarine environment.

The two main kinds of transport in solution and with the suspended load were compared.

On the little drainage basins (less of 200 km²) the major way of export is as follows :

— *granitic savanna environment* : with suspension loads : Ti, Mn, Cr, V. Only Sr is carried out mainly in solution.

— *schistous forest environment* : in solution except for Ti.

On the great size drainage basins (more of 30 000 km²) the ratios between load fixed and soluble carried trace elements are in an average. Transport in solution predominates except for Ti and Mn.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Spurenelemente (im Ganzen 18), die an die feste Beförderung gebunden sind, wurden von den Wasserversorgungsräumen (granitisches Savannen- und schieferiges Unterwaldsammelgebiet) bis zur

Aestuarzone untersucht. Die beiden Formen von Abwanderungen, in Lösung und in Verbindung mit Schwebstoffen sind verglichen worden.

In den Sammelgebieten mit geringen Ausmassen (Oberfläche kleiner als 200 km²) ist die Vorzugsabgangsform der Spurenelemente folgende :

— granitisches Becken in fer Savane : Überwiegen der Abwanderung von Elementen, die an Schwebstoffe gebunden sind : Titan, Mangan, Chrom, Vanadium. Nur Strontium migriert mehr in Lösung ;

— schieferiges Becken unter Wald : Überwiegen des Abganges der gelösten Elemente, bis auf Titan.

In den Sammelgebieten von grossen Ausmassen (Flächenmasse grösser als 30 000 km²) stellen wir eine Homogenisierung der Verhältnisswerte zwischen Spurenelementgehalt der Trümmergesteine und der Beförderungswasser fest. Die Beförderung der gelösten Stoffe überwiegt bis auf Titan und Mangan.

РЕЗЮМЕ

Изучены микроэлементы (числом в 18) связанные с твердым стоком, начиная с районов распределения (водосборы — гранитный в саванне, и сланцевый под лесом) и кончая зоной эстуария. Было произведено сравнение обеих форм миграции: в виде раствора и в связи с взвешенным веществом.

На водосборах малого размера (площадь менее 200 км²), преимущественная форма выноса микроэлементов следующая:

— *гранитный бассейн в саванне: преобладание миграции элементов связанных с взвесью: титан, марганец, хром, ванадий. Один лишь стронций мигрирует в большем количестве в состоянии раствора;*

— *сланцевый бассейн под лесом: преобладание выноса растворенных элементов, за исключением титана.*

На водосборах крупного размера (площадь превышающая 30.000 км²), отмечается осреднение значений отношений между содержаниями микроэлементов в обломочном материале и в транспортирующих водах. Перенос в растворенной форме преобладает, за исключением титана и марганца.

INTRODUCTION

L'étude des éléments chimiques en traces (I) liés au transport solide est souvent négligée par rapport à celle des éléments exportés en solution. Il nous a semblé intéressant d'évaluer les parts respectives des deux formes d'exportation sur un bassin versant de zone intertropicale à substratum géologique diversifié.

Dans le cas du bassin du Bandama, nous avons choisi deux bassins versants de faible superficie dont le soubassement est représentatif des deux principaux types de roches fondamentales du bassin : granite et schiste. Au niveau de ces provinces distributrices, nous étudierons le départ des éléments en traces avec les détritiques en les rapportant aux valeurs des charges solides unitaires des eaux. La comparaison entre les teneurs en éléments en traces des suspensions et des eaux vectrices permettra de constater l'importance respective des érosions chimique et mécanique, sans préjuger les échanges pouvant exister entre les états solide et liquide.

Les modalités d'exportation des éléments en traces étant établies à l'échelle de petits bassins, nous observerons l'évolution de chaque élément, les variations des rapports des concentrations des éléments en traces dans les suspensions et en solution (d/s) dans les eaux du fleuve collecteur. Les échantillons

(1) Les éléments en traces, au nombre de 18, ont été analysés au laboratoire de Spectrographie des SSC de l'ORSTOM Bondy.

prélevés aux cinq stations d'étude principales réparties sur le cours du Bandama permettront de suivre les variations des cortèges géochimiques. L'étude portera non seulement sur les concentrations des éléments en traces des détritiques transportés en suspension, mais également sur leur distribution dans les matériaux charriés par les eaux fluviales.

PROVINCES DISTRIBUTRICES

Les aires d'étude sont les suivantes :

1. Bassin versant granitique, en savane : bassin du Loserigue.
 - ravineau (superficie : 0,01 km²)
 - marigot (superficie : 3,6 km²).
2. Bassin versant schisteux, sous forêt : bassin de l'Amitioro (superficie : 170 km²).

Bassin versant granitique

Généralités

Le bassin du Loserigue d'une superficie de 3,6 km² est situé en zone climatique tropicale de transition ; la végétation est de type savane herbacée. Le socle est constitué de granites et migmatites birriennes, altérés sur une épaisseur comprise entre 0 et 30 m. Les produits d'altération sont formés de kaolinite bien cristallisée, de gibbsite et de goethite ; la fraction amorphe est assez constante dans chaque profil pédologique.

Éléments en traces des suspensions des eaux du ravineau

Le cortège des éléments en traces (tabl. I) présente une constance remarquable durant l'année hydrologique, seuls le vanadium (85 à 130 ppm), le cobalt (8 à 17), le lithium (25 à 44), le baryum (83 à 170) et le strontium (8 à 26 ppm) varient sensiblement. Les teneurs en titane et en manganèse des sols (seuls éléments en traces dosés dans l'analyse totale) s'échelonnent entre 4 800 et 7 800 ppm et entre 630 et 2 530 ppm. Les valeurs de titane et de manganèse des suspensions issues de ces sols sont respectivement supérieures à 3 000 ppm et comprises entre 830 et 880 ppm.

TABLEAU I

Teneurs des éléments en traces des suspensions du bassin granitique du Loserigue (exprimées en ppm)

Station	Date 1965	Débit l/s	Ti	Mn	Zn	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Mo	Pb	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Bi	Sn
(1)	27/04	8,5	>3000	830	<100	83	83	8	50	41	50	<10	50	25	50	165	8	83	<10	<10
(2)		165	—	840	84	125	125	—	—	42	—	—	—	—	—	170	17	170	—	—
(1)	17/07	5	—	830	<100	—	—	—	—	41	—	—	—	25	50	—	—	83	—	—
(2)		100	—	430	—	130	130	<10	17	43	52	—	52	26	52	—	9	170	—	—
(1)	01/09	146	—	850	—	—	—	17	51	—	51	—	51	43	51	—	17	—	—	—
(2)		4150	2600	440	—	87	87	<10	17	—	52	—	52	26	52	87	4	130	—	—
(1)	16/09	69	>3000	850	—	85	130	9	51	—	51	—	51	43	51	170	26	—	—	9
(2)		3850	—	870	—	130	—	—	52	—	52	—	52	26	52	260	—	—	—	<10
(1)	07/10	9,7	—	880	—	88	—	17	53	44	53	—	53	44	53	170	—	—	—	88
(2)		135	2600	87	—	83	—	<10	9	43	51	—	51	26	51	87	9	87	—	<10

(1) Station RAVINEAU.

(2) Station MARIGOT.

Éléments en traces des suspensions des eaux du marigot

Les teneurs sont du même ordre de grandeur (tabl. I) que celles des suspensions du ravineau ; les seules variations saisonnières notables sont celles du manganèse (90 à 870 ppm), du vanadium (83 à 130), du nickel (9 à 52), du césium (87 à 260), du baryum (87 à 170) et du strontium (4 à 26 ppm). Les éléments comme le vanadium, le baryum et le strontium évoluent dans des limites identiques au ravineau et au marigot.

Rapports entre les éléments en traces exportés en suspension et en solution

Nous établissons des comparaisons entre les teneurs en éléments en traces migrant en suspension et en solution (tabl. II), en exprimant les concentrations des deux états en $\mu\text{g/l}$. L'estimation quantitative du départ des éléments en traces dans les substances en suspension étant liée à la grandeur de la charge solide unitaire exprimée en g/m^3 .

L'évolution saisonnière des rapports montre la prédominance de l'exportation des éléments en traces liés aux suspensions (tabl. II et fig. 1) sur l'ensemble du bassin. Seul le strontium migre davantage sous la forme dissoute. L'importance des processus de migration en relation avec l'état solide est due aux fortes valeurs de charge solide unitaire des eaux du bassin de savane.

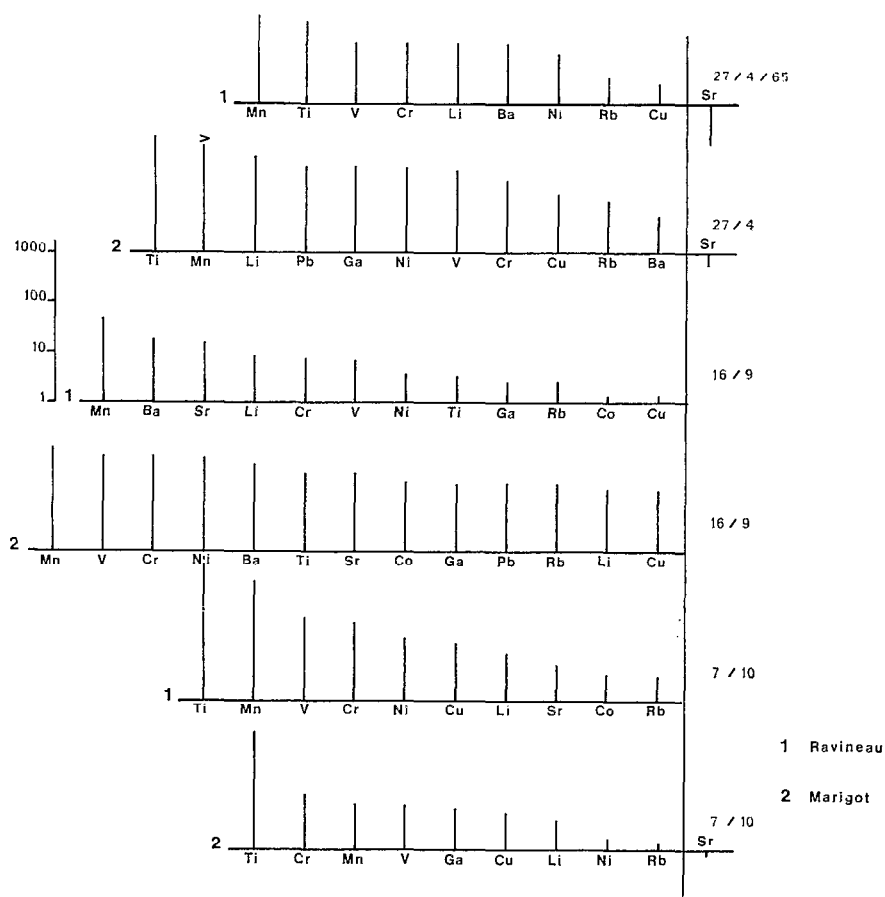


FIG. 1. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (Bassin du Loserigue).

TABLEAU II

Éléments en traces des suspensions et des eaux du bassin granitique du Loserigüe ($\mu\text{g/l}$)

Station	27/4/65		17/7/65		16/9/65		3/10/65	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Débit (l/s)	8,5	165	5	100	69	3 850	9,7	135
Charge solide unitaire (g/m^3)	201,1	1 575,4	185,9	387,0	153,0	2 722,5	559,3	568,4
Eau	15	28	9,6	14	150	220	2	5,4
Ti Suspension	>603	>4 726	>558	>1 161	>459	>8 167	>1 678	1 477,8
d/s	>40,2	>168,2	>58,1	>82,9	>3,1	>37,1	>839	273,7
Eau	3	6	3	4,2	3	22	2	5,4
Mn Suspension	166,9	1 323	154,3	166,4	130	2 368,4	492,2	49,4
d/s	55,6	220,5	51,4	39,6	43,3	107,6	246,1	9,1
Eau	1	4	< 0,3	2,8	2	4	1	5,4
V Suspension	16,7	196,9	23,2	50,3	13	353,9	49,2	47,2
d/s	16,7	49,2	—	18	6,5	88,5	49,2	8,7
Eau	1	7	1,2	2,1	3	4	2	5,4
Cr Suspension	16,7	196,9	23,2	50,3	19,9	353,9	72,7	73,9
d/s	16,7	28,1	19,3	24	6,6	88,5	36,3	13,7
Eau	< 0,3	> 0,3	< 1	< 1	1	1	3	3,6
Co Suspension	1,6	12,6	1,5	—	1,4	24,5	9,5	—
d/s	—	—	—	—	1,4	24,5	3,2	—
Eau	1	1,4	1,2	1,4	2	2	1,5	2,7
Ni Suspension	10	78,8	9,3	6,6	7,8	141,6	29,6	5,1
d/s	10	56,3	7,75	4,7	3,9	70,8	19,7	1,9
Eau	3	4	1,2	1,4	5	7	2	3,6
Cu Suspension	8,2	66,2	7,6	16,6	6,6	117,1	24,6	24,4
d/s	2,7	16,6	6,3	11,8	1,3	16,7	12,3	6,8
Eau	<1	1,4	<0,3	0,4	3	7	<1	3,6
Ga Suspension	10	78,8	9,3	20,1	7,8	141,6	29,6	29
d/s	—	56,3	—	50,2	2,6	20,2	—	8,05
Eau	<1	1,4	1,2	<1	<1	4	<1	<1
Pb Suspension	10	78,8	9,3	20,1	7,8	141,6	29,6	29
d/s	—	56,3	7,75	—	—	20,2	—	—
Eau	0,3	0,4	0,6	2,8	0,8	4,0	3,0	3,6
Li Suspension	5,0	39,4	4,6	10,1	6,6	70,8	24,6	14,8
d/s	16,7	98,5	7,7	3,6	8,25	17,7	8,2	4,1
Eau	3	7	6	7	3	7	10	18
Rb Suspension	10	78,8	9,3	20,1	7,8	141,6	29,6	29
d/s	3,3	11,3	1,55	2,9	2,6	20,2	3	1,6
Eau	11	42	6	14	0,3	2	3	5,4
Sr Suspension	1,6	26,8	3,2	3,5	4	70,8	14,5	5,1
d/s	0,15	0,64	0,53	0,25	13,3	35,4	4,8	0,9
Eau	1	42	3,6	14	1	7	<3	<3
Ba Suspension	16,7	267,8	15,4	65,8	19,9	353,9	72,7	49,4
d/s	16,7	6,4	4,3	4,7	19,9	50,5	—	—

(1) Station RAVINEAU.

(2) Station MARIGOT.

Dans le cas de valeurs identiques de la charge solide unitaire des eaux du ravineau et du marigot (crue du 3 octobre 1965), les rapports d/s sont nettement plus élevés sur le bassin unitaire, cette différence tient plus à la teneur en éléments en traces des eaux qu'à celle des suspensions.

Les rapports d/s les plus élevés dans les eaux du marigot, sont ceux du titane (40 à 280), du manganèse (10 à 220), du chrome (14 à 90) et du vanadium (10 à 90), quelle que soit la période de l'année. En saison humide, l'ensemble des valeurs des rapports est inférieur à celui de la saison sèche.

Bassin versant schisteux

Généralités

Le bassin de l'Amitiéro, d'une superficie de 170 km² est situé en zone climatique équatoriale de transition ; la végétation est de type forêt dense humide semi-décidue. Le socle est constitué de schistes et grauwackes peu métamorphisés, altérés sur une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres.

Éléments en traces des suspensions des eaux du marigot

Les amplitudes des variations annuelles les plus importantes sont celles du manganèse (de 65 à 2 000 ppm), du zinc (de 60 à 380), du titane (de 600 à 3 000) et du baryum (de 130 à 390 ppm). Il est à remarquer qu'au cours d'une crue (12 février 1965), les teneurs des éléments décroissent, par exemple, le manganèse de 880 à 65 ppm, le vanadium de 45 à 19, le titane de 3 000 à 960 et le baryum de 270 à 130 ppm.

Rapports entre les éléments en traces exportés en suspension et en solution

Le fait essentiel réside dans la prédominance des migrations sous forme soluble par rapport à celles s'effectuant en liaison avec les solides (tableau III et figure 2). Ces rapports sont inférieurs ou voisins de 1, sauf pour le titane, dont les valeurs s'échelonnent entre 2 et 120.

L'examen du tableau III et de la figure 2 fait apparaître au cours de l'année un décalage vers les valeurs inférieures à 1. Ceci est dû principalement, pour l'ensemble des éléments, à la décroissance des valeurs de charge solide unitaire plus qu'aux teneurs des eaux vectrices. Cependant, pour certains éléments, comme le vanadium, le lithium et les alcalino-terreux, le phénomène s'accroît par suite de leurs teneurs plus fortes en période de basses-eaux.

Comparaisons entre les bassins versants granitique et schisteux

Les concentrations des éléments en traces des suspensions des eaux du bassin granitique (tabl. IV) sont supérieures à celles des eaux du bassin schisteux, pour les éléments suivants :

- le titane : les valeurs sont supérieures à 3 000 ppm pour le Loserigue, elles sont comprises entre 600 et 3 000 ppm pour l'Amitiéro.
- le vanadium : les teneurs sont respectivement de 85 à 130 ppm et de 15 à 30 ppm.
- le chrome : de 95 à 130 ppm et de 35 à 80 ppm.
- le cuivre : les valeurs oscillent autour de 40 ppm pour le Loserigue, elles sont comprises entre 12 et 36 ppm à l'Amitiéro.
- le gallium : les concentrations sont deux fois plus élevées sur le bassin granitique : 50 et 25 ppm.
- le plomb : les teneurs sont assez constantes au Loserigue : 50 ppm, tandis qu'elles se situent entre 6 et 120 ppm à l'Amitiéro.

ÉLÉMENTS EN TRACES DANS UN FLEUVE DE ZONE INTERTROPICALE

TABLEAU III

Eléments en traces des suspensions et des eaux du bassin schisteux de l'Amitiora
($\mu\text{g/l}$)

Date	12/2/65	14/2	20/6	14/11	20/11	20/11	30/12/65
Débit (l/s)	5 460	54	12 900	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Charge solide unitaire (g/m^3)	206,5	103,2	153,5	71,5	31,9	31,4	20,6
Ti Eau	5,2	19,4	8	3,6	15	4,5	19
Ti Suspension	> 619	99,1	214,9	85,8	47,8	18,8	33
Ti d/s	> 119	5,1	26,9	23,8	3,2	4,2	1,7
Mn Eau	8,7	9,7	48	7,2	100	27	19
Mn Suspension	49,6	6,7	11,05	> 143	> 63,8	> 62,8	> 41,2
Mn d/s	5,7	0,7	0,23	> 19,9	> 0,64	> 2,3	> 2,2
V Eau	4,3	5,8	8	7,2	25	36	38
V Suspension	5,0	2,0	3,2	1,3	0,7	0,4	0,5
V d/s	1,2	0,34	0,40	0,18	0,03	0,011	0,013
Cr Eau	2,6	3,9	13	7,2	10	4,5	13
Cr Suspension	16,5	6,7	11,05	4,3	2,4	0,6	1,6
Cr d/s	6,3	1,7	0,85	0,60	0,24	0,13	0,12
Co Eau	< 0,3	< 0,6	1,6	< 3	< 5	< 5	< 5
Co Suspension	3,3	0,6	1,1	1,3	0,7	0,6	0,5
Co d/s	—	—	0,69	—	—	—	—
Ni Eau	8,7	9,7	8	7,2	10	4,5	19
Ni Suspension	3,3	1,3	2,1	1,3	0,7	0,4	0,3
Ni d/s	0,38	0,13	0,26	0,18	0,07	0,09	0,015
Cu Eau	13,9	11,6	8	4,8	10	9	6,5
Cu Suspension	5	2	3,2	2,6	0,5	0,4	0,5
Cu d/s	0,36	0,17	0,40	0,54	0,05	0,04	0,08
Ga Eau	< 0,3	< 0,6	1,6	< 3	< 5	< 5	< 5
Ga Suspension	5,0	2,0	5,5	1,3	0,7	0,6	0,5
Ga d/s	—	—	3,4	—	—	—	—
Pb Eau	1,7	1,9	8	0,7	2,5	1,4	2
Pb Suspension	1,65	0,6	2,1	8,6	0,25	0,4	0,5
Pb d/s	0,97	0,32	0,26	12,3	0,10	0,29	—
Li Eau	5,2	5,8	4,8	4,8	30	14	19
Li Suspension	8,3	3,1	5,4	2,1	1,1	0,2	1,6
Li d/s	1,6	0,53	1,1	0,44	0,037	0,014	0,084
Rb Eau	5,2	5,8	4,8	2,4	10	1,4	1,9
Rb Suspension	16,3	6,6	11,05	4,3	2,4	1,9	1,6
Rb d/s	3,1	1,1	2,3	1,8	0,24	1,4	0,84
Sr Eau	52	195	128	240	1 500	1 400	650
Sr Suspension	16,5	0,3	11,05	4,3	2,4	1,9	3,3
Sr d/s	0,32	0,0015	0,09	0,018	0,002	0,0013	0,005
Ba Eau	35	49	—	24	300	270	130
Ba Suspension	33	13,4	21,5	12,9	4,8	9,4	8,0
Ba d/s	0,94	0,27	—	0,54	0,016	0,035	0,062

Les concentrations sont du même ordre de grandeur, pour le cobalt (10-20 ppm), le molybdène (10 ppm), le lithium (30 ppm) et le rubidium (50-70 ppm). Elles sont inférieures pour le manganèse, surtout en période d'étiage, pour le zinc et les alcalino-terreux ; les teneurs en strontium s'échelonnent entre 60 et 160 ppm sur le bassin schisteux, celles du bassin granitique entre 10 et 25 ppm.

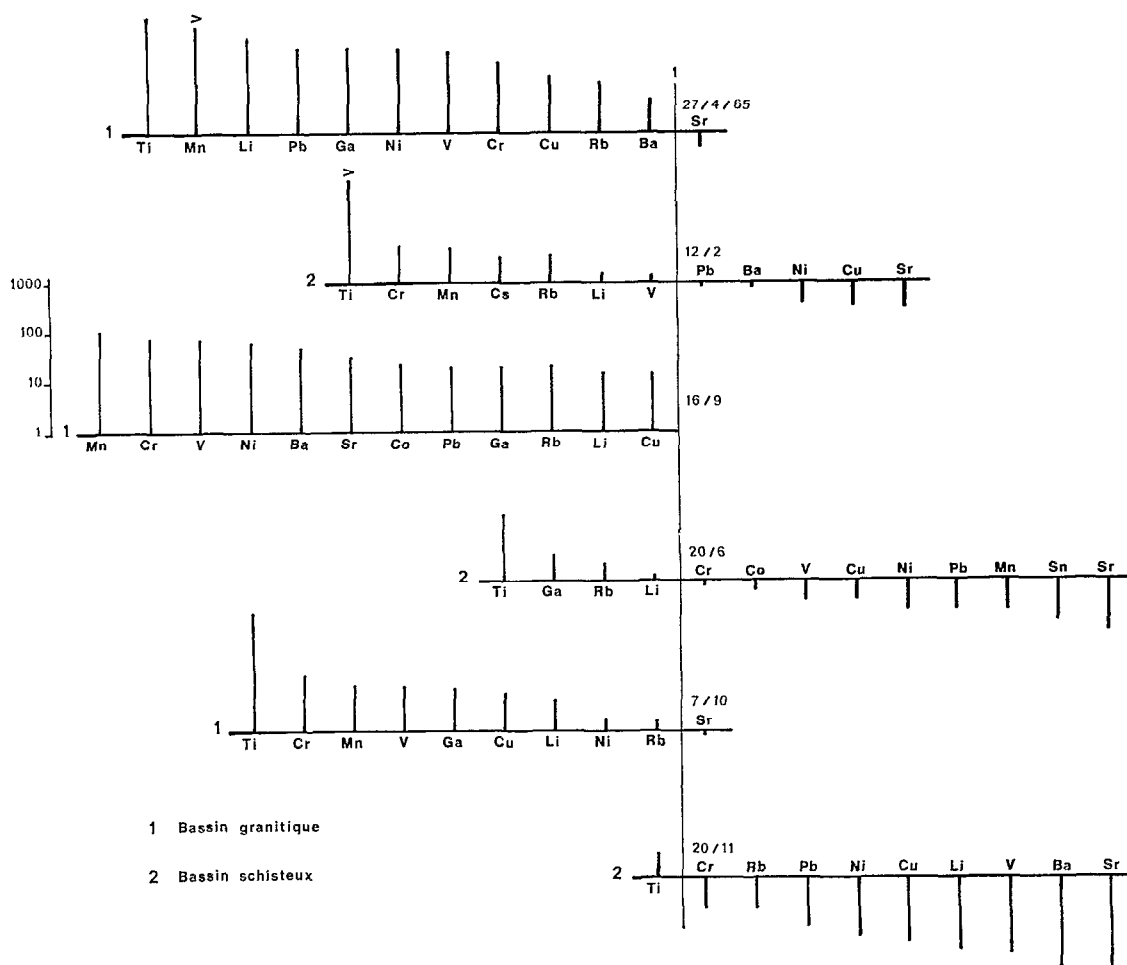


FIG. 2. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (Bassins versants).

Les éléments en traces s'exportent davantage avec les détritiques qu'en solution sur le bassin granitique de savane, tandis que sur le bassin schisteux de forêt, c'est le phénomène inverse qui se produit. Les causes en sont principalement, les teneurs plus élevées des éléments en traces des suspensions et les plus fortes valeurs des charges solides unitaires des eaux de savane. Les concentrations des éléments en traces des eaux interviennent surtout en période d'étiage, dans l'équilibre des deux formes d'exportation.

ÉLÉMENTS EN TRACES DANS UN FLEUVE DE ZONE INTERTROPICALE

TABLEAU IV

Teneurs des éléments en traces des suspensions des eaux des bassins granitique et schisteux
(en ppm)

Bassin	AMI	AMI	LOS	AMI	LOS	LOS	LOS	LOS	AMI	AMI	AMI	AMI
Date	12/2/65	14/2	27/4	20/6	17/7	1/9	16/9	7/10	14/11	20/11	20/11	30/12/65
Débit (l/s)	5 460	54	165	12 900	100	4 150	3 850	135	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Charge solide unitaire (g/m ³)	206,5	103,2	1 575,4	153,5	387	1 810,3	2 722,5	568,4	71,5	31,9	31,4	20,6
Ti	> 3 000	960	> 3 000	1 400	> 3 000	2 600	> 3 000	2 600	1 200	1 500	600	1 600
Mn	240	65	840	72	430	440	870	87	> 2 000	> 2 000	> 2 000	> 2 000
Zn	< 100	65	84	< 100	< 100	< 100	< 100	100	< 180	380	60	240
V	24	19	125	21	130	87	130	83	18	23	12	24
Cr	80	65	125	72	130	87	130	130	60	75	18	80
Co	16	6	8	7	< 10	< 10	9	< 10	18	23	18	24
Ni	16	13	50	14	17	17	52	9	18	23	12	16
Cu	24	19	42	21	43	43	43	43	36	15	12	24
Ga	24	19	50	36	52	52	52	51	18	23	18	24
Mo	< 10	13	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	6	< 10	6	< 10
Pb	8	6	50	14	52	52	52	51	120	8	12	24
Li	40	30	25	35	26	26	26	26	30	35	6	77
Rb	79	64	50	72	52	52	52	51	60	75	60	77
Cs	80	65	170	72	170	87	260	87	60	75	< 100	< 100
Sr	80	3	17	72	9	4	26	9	60	75	60	160
Ba	160	130	170	140	170	130	130	87	180	150	300	390
Bi	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Sn	< 10	< 10	< 10	7	< 10	< 10	< 10	< 10	6	< 10	< 10	< 10

ZONE DE TRANSPORT

Eléments en traces des détritiques transportés en suspension

Après l'étude des cortèges géochimiques des suspensions et des eaux des bassins versants représentatifs des deux grands ensembles géologiques du bassin du Bandama, nous examinerons les concentrations en éléments en traces des détritiques et des eaux fluviales.

Généralités

Les échantillons proviennent de six stations réparties sur le cours du fleuve Bandama (superficie du bassin : 97 500 km²) : d'amont en aval, Ferkessédougou (7 000 km²) ; Duibo (32 200 km²) ; Bafécao (60 200 km²) ; Tiassalé (94 250 km²) ; Ziénoa (33 150 km²), sur le cours du Nzi, principal affluent de rive gauche et Grand Lahou, situé dans l'estuaire du fleuve. Les prélèvements ont été effectués à diverses périodes de l'hydrogramme, notamment aux plus caractéristiques : étiage et crue du fleuve, durant les années 1965 et 1966.

Les minéraux argileux des suspensions sont essentiellement constitués de kaolinite, généralement associée à de l'illite en faibles quantités. L'illite apparaît plus nettement et de façon constante à partir de Duibo. La gibbsite est présente dans les échantillons de la partie septentrionale du bassin, tandis qu'un interstratifié se trouve en faibles quantités dans ceux de la partie méridionale. Une phase amorphe relativement importante existe en plus de la phase minérale.

Eléments en traces des suspensions et des eaux fluviales

L'analyse des teneurs des éléments en traces nous permet de constater les faits suivants (tabl. V et VI ; seuls les tableaux concernant l'année 1965 sont représentés).

Le titane, le manganèse et le zinc sont les éléments les plus abondants des suspensions ; les teneurs sont comprises entre 700 et 2 100 ppm (Ti), 80 et 1 900 ppm (Mn) et entre 150 et 1 400 ppm (Zn). Ces valeurs exprimées en $\mu\text{g/l}$, en les rapportant à la quantité de substances en suspension par unité de volume, permettent une comparaison avec les teneurs des eaux. Les concentrations en titane s'échelonnent entre 30 et 200 $\mu\text{g/l}$ et celles du manganèse entre 3 et 130 $\mu\text{g/l}$, pour des charges solides unitaires comprises entre 20 et 100 g/m^3 . Les eaux correspondantes, contiennent de 1,5 à 300 $\mu\text{g/l}$ de titane et 0,5 à 100 $\mu\text{g/l}$ de manganèse.

Les rapports d/s présentent des valeurs de 1 à 15 (Ti) et de 1 à 200 (Mn) ; l'exportation de ces deux éléments s'effectue donc principalement dans les substances en suspension. Ceci confirme pour le manganèse, les observations faites par KONOVALOV, IVANOVA et KOLESNIKOVA (1966) sur des eaux fluviales du territoire européen de l'URSS sans préjuger la nature géologique des bassins. Pour des valeurs de charge solide unitaire du même ordre, les teneurs en manganèse des suspensions sont de 25 à 200 $\mu\text{g/l}$ et celles des eaux correspondantes de 1 à 40 $\mu\text{g/l}$.

Le vanadium et le chrome ont des teneurs identiques dans les suspensions : de 40 à 120 ppm ; ce qui correspond à des concentrations de 0,7 à 4,7 $\mu\text{g/l}$ (V) et de 0,9 à 7,3 $\mu\text{g/l}$ (Cr) pour des charges solides unitaires de 20 à 100 g/m^3 . Les valeurs limites des rapports d/s s'échelonnent entre 0,2 et 6,2 (V) et 0,1 à 5,2 (Cr), les eaux correspondantes contenant de < 0,5 à 11 $\mu\text{g/l}$ (V) et 1 à 22 $\mu\text{g/l}$ (Cr).

TABLEAU V

*Teneurs des éléments en traces des suspensions du fleuve Bandama
(en ppm)*

Station	Période	Débit (m^3/s)	Charge solide unitaire (g/m^3)	Ti	Mn	Zn	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Pb	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Mo
	Etiage 3/65																		
Beoumi	—	21,7	40,6	800	80	240	48	48	8	24	42	24	40	12	42	< 100	3	< 100	16
Bafecao	—	28,7	41,9	1 400	210	270	56	70	7	42	42	21	35	42	70	< 100	3	< 100	14
Zienoa	—	9,1	49,6	720	108	215	43	43	7	21	43	21	21	7	43	< 100	3	< 100	14
Tiassale	—	33,5	48,8	710	710	140	71	70	< 10	14	35	42	42	21	42	< 100	3	< 100	14
Estuaire	—	—	5,8	1 400	710	1 400	71	140	7	35	210	35	140	71	71	71	21	710	< 10
	Crue 10/65																		
Duibo	—	911	39,8	1 425	1 425	357	65	71	14	43	71	21	35	43	71	< 100	3	< 100	7
Bafecao	—	1 388	32,8	1 400	1 900	370	67	74	19	45	74	22	56	45	74	< 100	13	< 100	7
Zienoa	—	278	96,2	2 100	320	160	48	48	24	24	48	24	24	10	48	< 100	5	< 100	< 10
Tiassale	—	1 740	61,7	1 500	760	230	76	115	15	23	38	46	46	23	46	76	3	76	8
Estuaire	—	—	34,0	1 600	79	79	79	79	8	40	40	40	24	79	79	79	24	79	< 10
	Décruie 12/65																		
Duibo	—	66,0	38,9	1 450	730	730	73	73	14	44	73	22	22	44	73	< 100	3	< 100	7
Bafecao	—	69,5	21,6	1 450	720	210	57	72	14	43	43	21	21	43	72	< 100	3	< 100	14
Zienoa	—	10,8	41,6	730	210	365	43	43	7	23	43	23	23	11	43	< 100	3	< 100	< 10
Tiassale	—	93,4	32,3	720	142	285	72	72	< 10	21	35	43	43	21	43	< 100	3	72	< 10

Les rapports d/s du vanadium ont des valeurs voisines de 1 ; la migration en solution prédomine, sauf dans la période de crue. Il en est de même pour le chrome, mais la différence entre les deux formes est plus nette.

Les teneurs en *cobalt* et *nickel* des suspensions sont comprises entre 7-25 ppm et 15-45 ppm ; elles sont comparables à celles citées par TUREKIAN et SCOTT (1967) pour les eaux fluviales du Colorado, du Mississipi et du Rhône. Les concentrations des suspensions exprimées en $\mu\text{g/l}$ sont de 0,1 à 2,3 pour le cobalt et de 0,6 à 3 pour le nickel ; les teneurs des eaux en cobalt sont en général inférieures aux limites d'analyses, celles du nickel s'échelonnent entre des valeurs inférieures à 0,5 et 9 $\mu\text{g/l}$. Les grandeurs données par KONOVALOV *et al* (1966) sont identiques pour le cobalt, de 0,2 à 1,6 $\mu\text{g/l}$, par contre, celles du nickel sont légèrement supérieures pour les suspensions (1 à 7 $\mu\text{g/l}$) et inférieures pour les eaux (1,6 à 2,8 $\mu\text{g/l}$).

Le nickel migre autant à l'état dissous que dans les substances en suspension ; les valeurs du rapport d/s évoluent entre 0,1 et 1,8. Le rapport cobalt/nickel des suspensions varie entre 0,17 et 1, la moyenne est de 0,37.

Les teneurs en *cuivre* des suspensions varient de 35 à 75 ppm soit des concentrations extrêmes allant de 0,8 à 4,6 $\mu\text{g/l}$ avec 80 % des valeurs comprises entre 1,0 et 2,5 $\mu\text{g/l}$. Quelle que soit la quantité de matériaux solides en suspension le taux de cuivre est constant. Les rapports d/s varient entre 0,05 et 1,50 pour des concentrations des eaux de 1,4 à 30 $\mu\text{g/l}$.

Les teneurs en *gallium* et *plomb* des suspensions sont comprises entre 20-45 ppm et 20-55 ppm ; soit des concentrations de 0,4 à 2,8 $\mu\text{g/l}$ pour le gallium et de 0,1 à 2,8 $\mu\text{g/l}$ pour le plomb, pour des charges solides unitaires de 20 à 100 g/m^3 . Les rapports d/s évoluent respectivement entre 0,07-0,71 (Ga) et 0,05-1,4 (Pb) pour des concentrations des eaux fluviales, s'échelonnant de valeurs inférieures à 1 jusqu'à 6 $\mu\text{g/l}$.

Le lithium et le rubidium des suspensions présentent des teneurs de 7 à 80 ppm et de 40 à 80 ppm ; ces gammes de valeurs sont nettement plus élevées que celles données par SREEKUMARAN, PILLAI et FOLSOM (1968) pour des rivières de l'Ouest américain, où les teneurs en lithium variaient entre 7 et 20 ppm et celles du rubidium, entre 7 et 40 ppm.

Les concentrations en $\mu\text{g/l}$ du lithium des suspensions du Bandama varient de 0,2 à 9, avec 60 % des valeurs comprises entre 0,2 et 2,0 ; celles du rubidium, entre 0,3 et 4,6. Les concentrations des eaux correspondantes évoluent respectivement entre 0,3 et 11 $\mu\text{g/l}$ et 1,6 à 22 $\mu\text{g/l}$.

Les valeurs des rapports d/s du lithium s'échelonnent entre 0,12 et 18,2, dont 75 % des valeurs sont inférieures à 1 ; celles du rubidium varient entre 0,03 et 1,3, dont 90 % des valeurs sont inférieures à 1. Par conséquent, les alcalins rares, lithium et rubidium, migrent principalement sous forme dissoute, ce qui semble contraire aux observations de MOROZOV (1969) qui admet que la plus grande partie des alcalins rares migrent passivement ; selon lui, 89 % du lithium et 96 % du rubidium sont apportés à l'océan à l'état lié.

Le césium des suspensions a des teneurs souvent inférieures à 100 ppm. Les rares dosages indiquent des valeurs comprises entre 70 et 80 ppm.

Le strontium et le baryum des suspensions ont des teneurs comprises entre 3-24 ppm et 72-79 ppm. Les concentrations en $\mu\text{g/l}$ varient entre 0,07 et 12,4 pour le strontium et 0,9 à 25, 3 $\mu\text{g/l}$ pour le baryum ; celles des eaux sont assez élevées : de 4 à 180 $\mu\text{g/l}$ pour le strontium et de 3 à 110 $\mu\text{g/l}$ pour le baryum.

Le strontium et le baryum migrent principalement sous forme dissoute, les valeurs des rapports d/s s'échelonnent respectivement entre 0,002 et 0,17 et de 0,07 à 0,67.

Le zirconium des suspensions présente des teneurs comprises entre 125 et 350 ppm sur l'ensemble du bassin.

Variations saisonnières

Les seules variations saisonnières notables des teneurs (en ppm) des éléments en traces sont celles du manganèse et du zinc ; les valeurs des autres éléments varient dans des limites assez restreintes. Les

ÉLÉMENTS EN TRACES DANS UN FLEUVE DE ZONE INTERTROPICALE

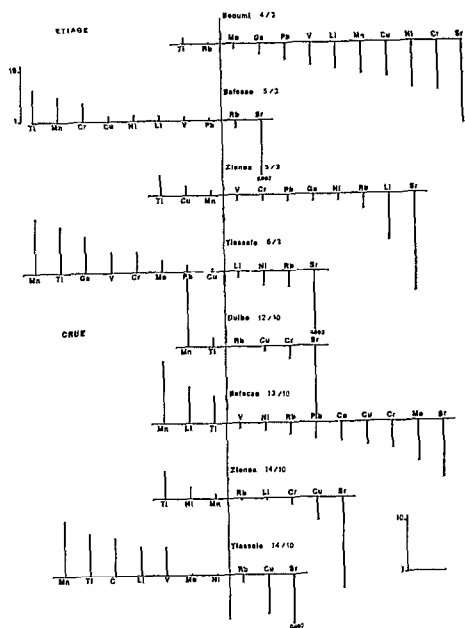


FIG 3. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (Bandama en étiage et en crue, 1965).

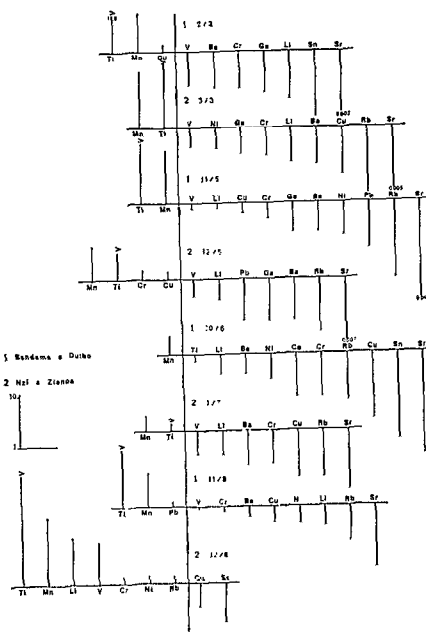


FIG. 4. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (Bandama à Duibo et Nzi à Ziénoa, 1966).

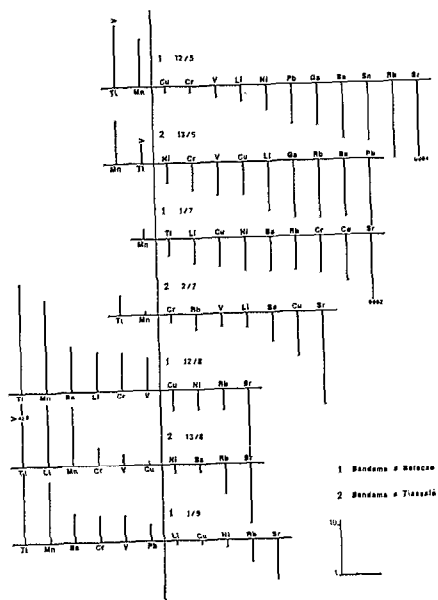


FIG. 5. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (Bandama à Bafécao et Tiassalé, 1966).

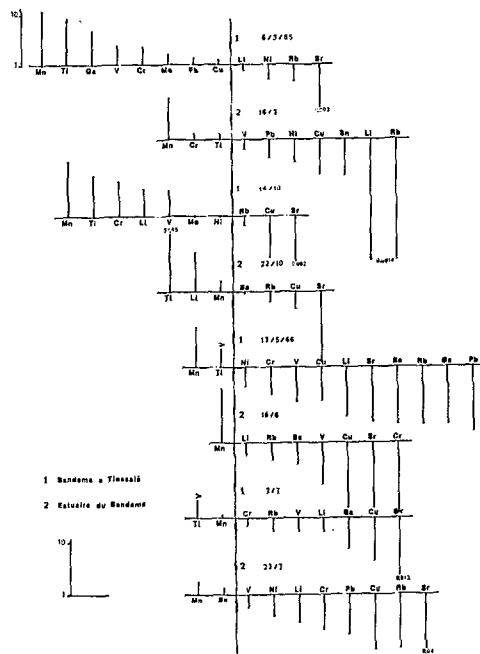


FIG. 6. — Rapports entre les éléments en traces des suspensions et des eaux (fleuve et estuaire).

concentrations exprimées en $\mu\text{g/l}$, étant fonction des charges solides unitaires, évoluent selon la période de l'hydrogramme ; les plus fortes valeurs sont observées en début de crue.

Quelle que soit la période de l'année, le titane et le manganèse se trouvent en quantités plus importantes dans les suspensions qu'en solution ; ce processus s'accroît en début de crue. Par contre, les alcalins, lithium et rubidium, et les alcalino-terreux, strontium et baryum, migrent davantage en solution que dans les suspensions.

Éléments en traces des détritiques transportés par charriage

Variations saisonnières

Les échantillons ont été prélevés aux moments caractéristiques de l'hydrogramme : étiage, crue et décrue. Les résultats exposés dans ce paragraphe proviennent des stations de Duibo et Bafécao en 1965.

A la station de Bafécao (fig. 7), la majeure partie des éléments ont des teneurs qui décroissent sensiblement de l'étiage à la crue. En décrue, elles augmentent (Pb - Sn - Zn) ou redeviennent identiques aux valeurs d'étiage (Li - Rb - Cr - Ni - Cu - V - Ga). Le manganèse décroît de l'étiage à la décrue : 1 700 ppm, 1 200 et 900 ppm. Le strontium et le baryum varient en sens inverse des autres éléments. Seules les concentrations du cobalt sont constantes. A la station de Duibo, située en amont de la précédente, le schéma des variations est identique ; sauf pour les teneurs en manganèse qui demeurent constantes et les teneurs en alcalino-terreux qui sont plus faibles en décrue qu'en étiage.

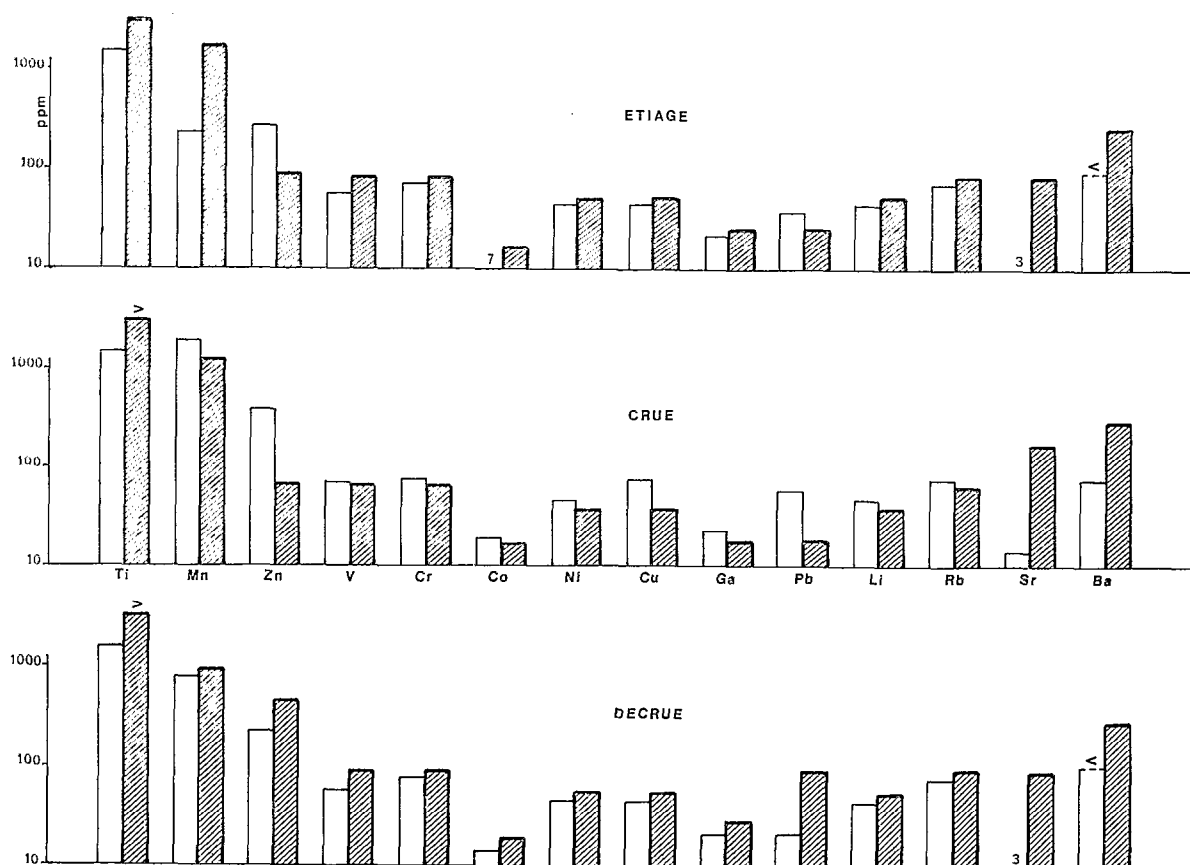


FIG. 7. — Éléments en traces des sédiments (suspension et charriage) du Bandama à Bafécao.

Distribution géographique (tableau VII, figures 8 et 9)

Durant l'année 1965, en étiage, les teneurs sont identiques aux stations de Duïbo et Bafécao, excepté pour le chrome (135 à 85 ppm) et le strontium (270 à 85 ppm). A la station de Tiassalé, où interviennent les apports détritiques du Nzi, affluent de rive gauche, le cortège des éléments en traces diffère, principalement pour le manganèse (900 au lieu de 1 700 - 1 800 ppm), le nickel (20 au lieu de 50), le plomb (50 au lieu de 25) les alcalins : lithium : 25 à 50, rubidium : 50 à 90, césium 170 à < 100. Entre la station fleuve de Tiassalé et la station de l'estuaire à Grand Lahou, nous notons une augmentation des concentrations du manganèse (870 à 1 600 ppm), du nickel (17 à 40), du lithium (26 à 80), du rubidium (51 à 80) et une diminution du chrome (130 à 80), du césium (170 à 80), du strontium (260 à 80) et du baryum (260 à 80).

Nous constatons sur le cours du Bandama, une constance des valeurs du zinc (80-90 ppm), du vanadium (80-90), du cobalt (16-18), du cuivre (40-50). Le titane, le molybdène, le bismuth et l'étain ont des teneurs supérieures ou inférieures aux limites d'analyses.

En décrue, entre les stations de Duïbo et Bafécao, seuls le manganèse (1 800 à 900), le chrome (135 à 90), et le strontium (135 à 90) décroissent ; par contre, le baryum (135 à 270) et l'étain (9 à 27) augmentent.

TABLEAU VII

Eléments en traces des suspensions et des sédiments de fond du fleuve et de l'estuaire (ppm)

Station	Eléments traces	Ti	Mn	Zn	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Mo	Pb	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Bi	Sn
		Etiage																	
Duïbo	1	1 500	750	380	67,5	75	15	45	45	23	<10	23	45	75	<100	2	<100	<10	<10
	2	>3 000	1 800	90	90	135	18	54	54	27	<10	27	54	90	<100	270	270	<10	<10
Bafécao	1	1 400	210	270	56	70	7	42	42	21	14	35	42	70	<100	3	<100	<10	<10
	2	>3 000	1 700	85	85	85	17	51	51	25	<10	25	51	85	<100	85	255	<10	<10
Tiassalé	1	710	710	140	71	70	<10	14	35,5	42	14	42	21	42	<100	3	<100	<10	<10
	2	>3 000	870	87	87	130	17	17	43	51	<10	51	26	51	170	260	260	<10	<10
Estuaire	1	1 400	710	1400	71	140	7	35	210	35	<10	140	71	71	71	21	710	<10	21
	2	>3 000	1 600	80	80	80	16	40	40	40	<10	40	80	80	80	80	80	<10	<10
Décrue																			
Duïbo.....	1	1 450	730	730	73	73	14	44	73	22	7	22	44	73	<100	3	<100	<10	<10
	2	>3 000	1 800	450	90	135	18	54	54	27	<10	90	54	90	<100	135	135	<10	9
Bafécao	1	1 450	720	210	57	72	14	43	43	21	14	21	43	72	<100	3	<100	<10	<10
	2	>3 000	900	450	90	90	18	54	54	27	<10	90	54	90	<100	90	270	<10	27

(1) Suspension

(2) Fond

Comparaisons avec les détritiques transportés en suspension

Dans le temps, aux stations de Bafécao (fig. 7) et Duïbo, les teneurs des suspensions, en étiage et en décrue, sont inférieures à celles des détritiques charriés, sauf pour le zinc. Cette différence est la plus

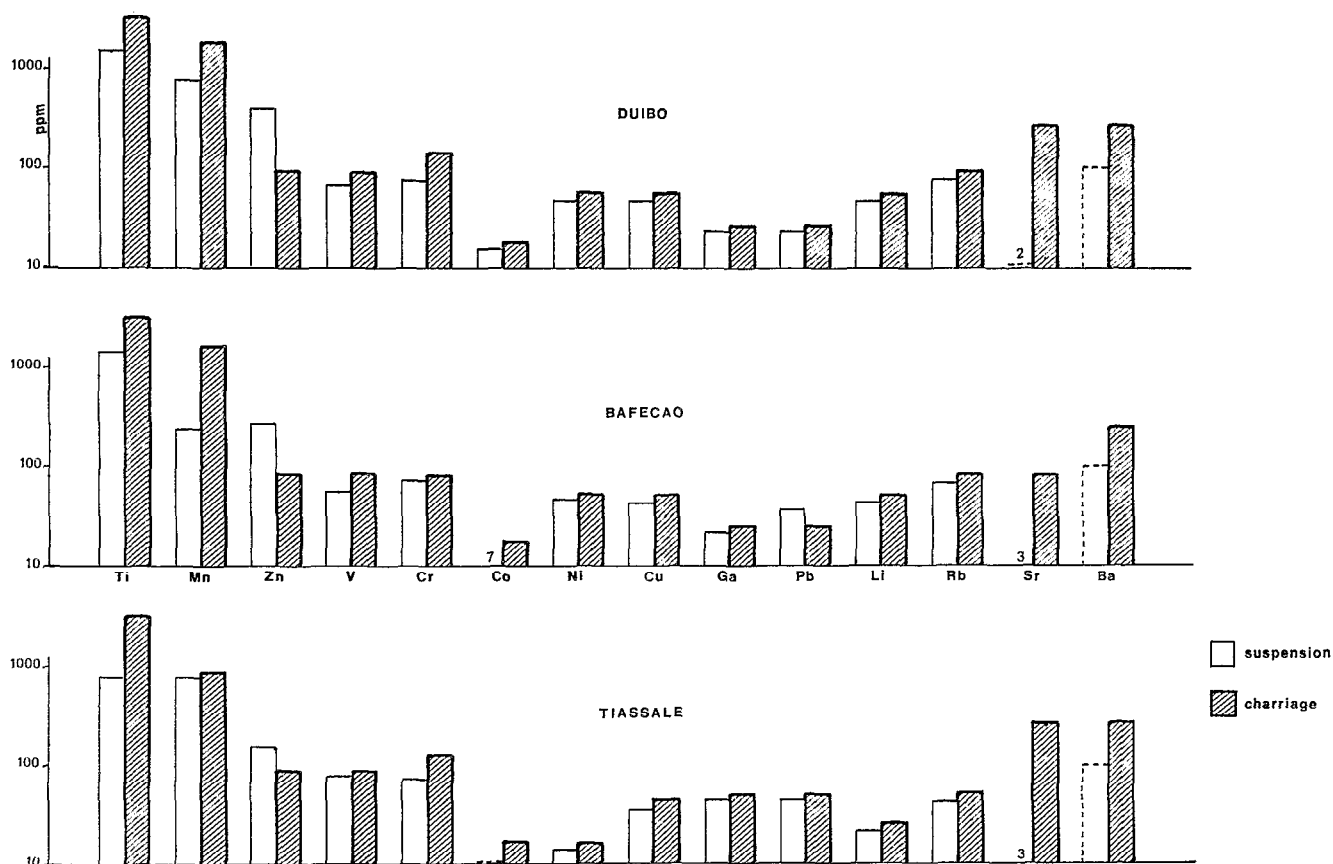


FIG. 8. — Eléments en traces des sédiments (suspension et charriage) du Bandama en étiage.

marquée pour les alcalino-terreux, strontium (par exemple 2 à 270 ppm, 3 à 90 ppm). En crue, le schéma est inverse, les concentrations dans les suspensions sont supérieures à celles des détritiques du fond, sauf pour les alcalino-terreux.

Dans l'espace, en étiage, les variations sont identiques pour les stations continentales : les teneurs des suspensions sont inférieures à celles des éléments charriés ; sauf pour le zinc. A la station située dans l'estuaire (fig. 9) nous observons une augmentation très nette des éléments suivants dans les suspensions : zinc, chrome, cuivre, plomb, strontium et baryum, par rapport à ceux des charriages.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'intérêt principal de l'étude est de donner un aperçu de la forme préférentielle sous laquelle les éléments en traces migrent à l'échelle de bassins versants de petites et grandes superficies. Nous ne pouvons que distinguer entre forme liée aux solides et forme soluble, sans préciser à quoi sont dues les variations des teneurs des éléments en traces : origines différentes, phénomènes d'adsorption ou de désorption. Ceci nous permettrait de mettre en évidence les divers types de transport des éléments en traces suivant le milieu physico-chimique traversé.

Au niveau des bassins de faibles superficies, les concentrations des éléments en traces sont naturellement influencées par la nature pédologique du milieu. Les valeurs des rapports d/s, fonction des teneurs

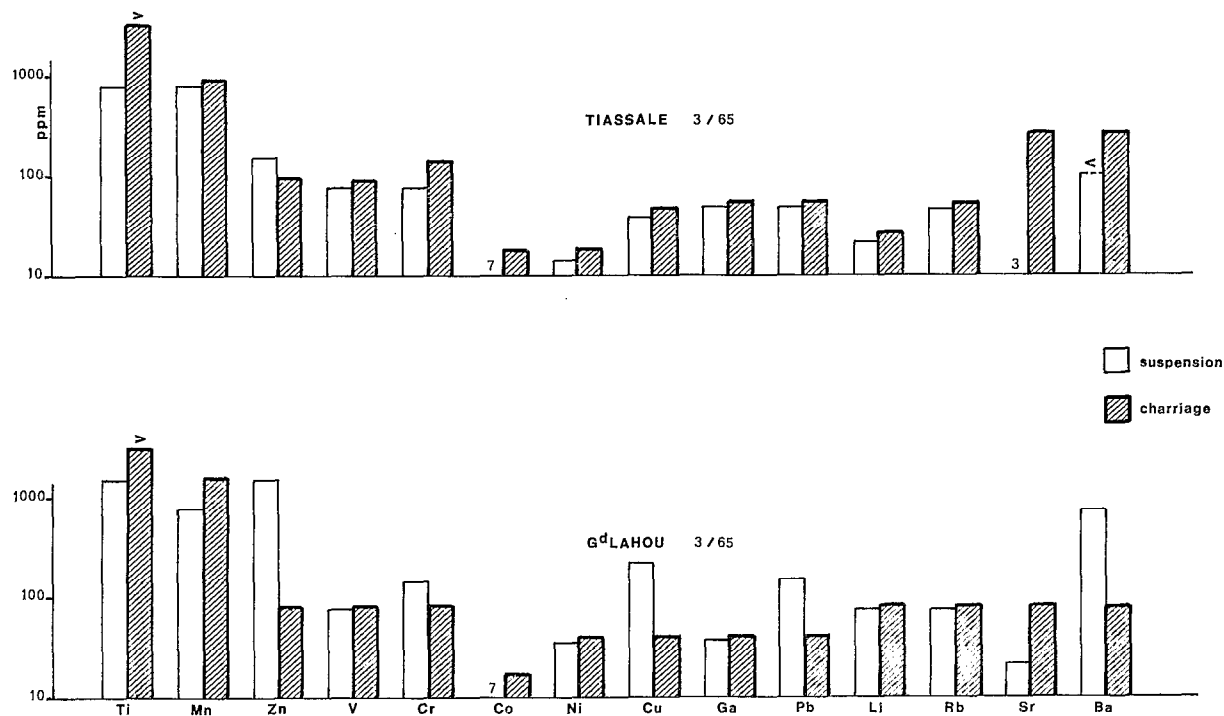


FIG. 9. — Eléments en traces des sédiments (suspension et charriage) fluviatiles et estuariens du Bandama en étiage.

des détritiques et des eaux vectrices, sont surtout déterminées par la quantité de matériel solide exporté sur chaque bassin. Ainsi, sur le bassin de savane, où le transport solide est plus important que sous forêt, la forme liée aux solides prédominera. Le titane (40 à 280), le manganèse (10 à 220), le chrome (14 à 90) et le vanadium (10 à 90), quelle que soit la période de l'année, présentent les rapports les plus élevés ; seul le strontium migre davantage en solution. Sur le bassin de forêt, le phénomène est inverse, les valeurs des rapports sont inférieures à 1 sauf pour le titane dont les valeurs s'échelonnent entre 2 et 120.

Au niveau des bassins de grandes superficies, où les suspensions proviennent de provinces distributrices diversifiées, nous constatons que les éléments en traces les plus abondants sont le titane, le manganèse et le zinc.

Si nous considérons les intervalles de confiance des teneurs en éléments en traces (la valeur médiane n'ayant pas de signification étant donné le nombre restreint d'échantillons), nous observons qu'ils sont du même ordre de grandeur pour le bassin du Bandama aux stations de Duiho et Bafécao, excepté pour le zinc. Les valeurs du bassin du Nzi présentent des limites inférieures équivalentes à celles des bassins cités précédemment, par contre, les limites supérieures diffèrent pour un certain nombre d'éléments. Elles sont inférieures pour le vanadium (45 au lieu de 65), le nickel (25 au lieu de 45), le cuivre (50 au lieu de 80), le rubidium (50 au lieu de 75), le césium (80 au lieu de 110) et elles sont supérieures pour le baryum (230 au lieu de 140-180). Les intervalles de confiance des teneurs des éléments en traces des suspensions du Bandama à Tiassalé situé à la confluence du Bandama et du Nzi, ont des limites plus proches de celles de la station de Bafécao. Cependant, certains éléments diffèrent des valeurs rencontrées sur les deux bassins situés en amont. Nous ne pouvons tirer de conclusions sur les phénomènes intervenant à la confluence des deux cours d'eau. Il est à remarquer que les apports détritiques du Nzi constituent à certaines époques de l'année, une part importante du transport solide à la station de Tiassalé.

TABLEAU VIII

Intervalle de confiance des teneurs des éléments en traces des suspensions des eaux du bassin du Bandama (exprimés en ppm)

		Ti	Mn	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Pb	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Zn
Loseringue	Intervalle de confiance	> 3 000	390 à 860	85 à 131	94 à 132	8 à 11	15 à 52	43 à 47	49 à 53	49 à 52	23 à 38	49 à 54	101 à 167	6 à 23	94 à 162	< 100
	Effectif		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Amitioro	Intervalle de confiance		50 à 1 420	15 à 28	35 à 82	7 à 21	12 à 17		16 à 26	6 à 17	14 à 39	55 à 77	69 à 104	30 à 77	106 à 260	70 à 162
	Effectif		13	13	13	13	13		13	13	13	13	13	13	13	13
Duiibo	Intervalle de confiance		480 à 1 430	39 à 72	52 à 75	9 à 14	31 à 44	30 à 78	17 à 23	15 à 29	25 à 47	19 à 73	82 à 108	1 à 10	72 à 180	342 à 750
	Effectif		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Bafécao	Intervalle de confiance		400 à 1 600	35 à 63	40 à 77	8 à 14	25 à 48	32 à 80	19 à 25	12 à 36	28 à 45	20 à 75	70 à 107	2 à 12	80 à 140	265 à 480
	Effectif		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Ziénoa	Intervalle de confiance		200 à 1 400	38 à 46	43 à 87	7 à 19	22 à 27	28 à 47	14 à 23	10 à 22	10 à 42	25 à 48	65 à 83	2 à 12	88 à 234	180 à 480
	Effectif		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Tiassalé	Intervalle de confiance		260 à 1 480	38 à 75	51 à 76	8 à 11	17 à 43	30 à 40	19 à 44	10 à 43	18 à 108	12 à 43	65 à 98	1,5 à 22	72 à 134	162 à 558
	Effectif		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

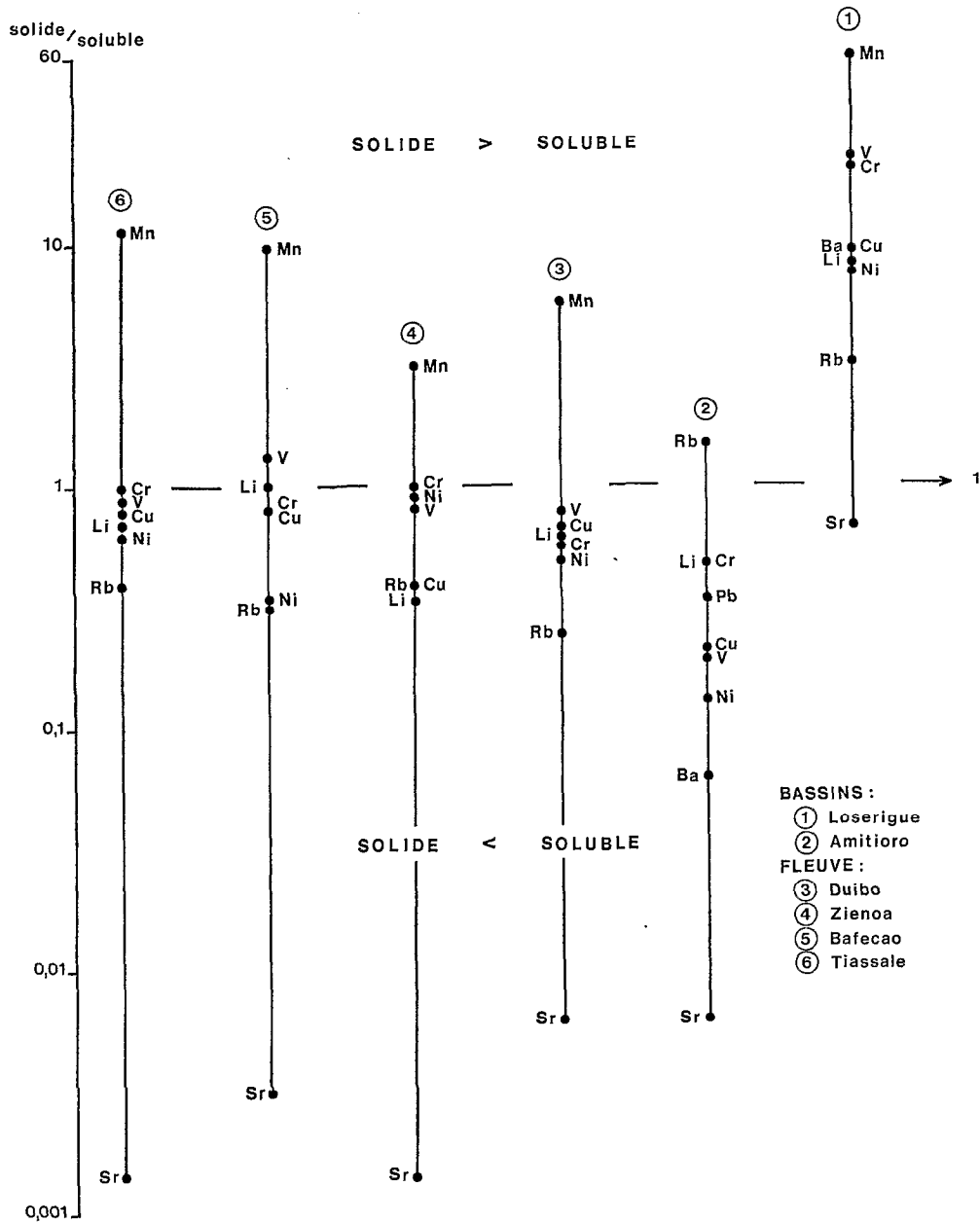


FIG. 10. — Valeurs des médianes (à titre indicatif) des rapports d/s des éléments en traces sur l'ensemble du bassin du Bandama.

Les valeurs des rapports d/s des éléments en traces indiquent une prédominance du transport en solution pour l'ensemble du fleuve (fig. 10).

Seuls le titane et le manganèse migrent principalement en suspension. Les valeurs extrêmes sont les suivantes :

Eléments	Valeurs extrêmes d/s	Médiane (à titre indicatif)
Titane	1 - 15	
Manganèse	1 - 200	7,0
Vanadium	0,2 - 6,2	0,90
Chrome	0,1 - 5,2	0,90
Cobalt		
Molybdène	0,1 - 1,8	0,70
Cuivre	0,05 - 1,50	0,70
Gallium	0,07 - 0,71	
Plomb	0,05 - 1,4	
Lithium	0,12 - 18,2	0,65
	(75 % < 1)	
Rubidium	0,03 - 1,3	0,38
	(90 % < 1)	
Strontium	0,002 - 0,17	0,007
Baryum	0,07 - 0,67	0,22

Les valeurs observées sur le bassin du Nzi diffèrent de celles de Duibo et Bafécao.

Il serait intéressant d'apporter des développements ultérieurs à cette étude. Ils seraient basés sur un échantillonnage plus serré et sur une détermination minéralogique plus complète des détritiques dans des eaux d'origines diverses. Ils permettraient d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes d'échanges et par suite des modes de transport des éléments en traces en suivant leur évolution dans les différents milieux.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- ANGINO (E.E.), O'BRIEN (W.J.), 1968. — Effects of suspended material on water quality. AIHS. Assemblée générale de Berne 78, pp. 120-128.
- ATAMAN (G.), 1964. — Oligoéléments dans les argiles. *Rev. IFP.*, 19, pp. 958-969.
- DEFOSSEZ (M.), MANGIN (J.Ph.), PINTA (M.), VAN DEN DRIESSCHE (R.), 1967. — Répartition de quelques éléments traces dans les eaux de surface en zone intertropicale (Côte d'Ivoire). *Bull. Serv. carte Géol. Als. Lorr.*, 20, 4, pp. 257-276.
- DE GROOT (A.J.), 1964. — Mud transport studies using manganese as an accompanying element under temperate and tropical climatic conditions (Western Europe, Amazon area and Chao-Phya river area in Thailand). Actes du colloque de Dacca, pp. 65-71.
- EICHHOLZ (G.G.), CRAFT (T.F.), GALLI (A.N.), 1966. — Trace element fractionation by suspended matter in water. *Geoch. et Cosmoch. Acta.*, 31, pp. 737-745.
- KONOVALOV (G.S.), IVANOVA (A.A.), KOLESNIKOVA (T.Kh.), 1966. — Eléments rares et dispersés dans l'eau et dans les substances en suspension des rivières du territoire européen de l'URSS (en russe). *Gidrokhim. Mater. SSSR*, 42, pp. 94-111.

- MONNET (C.), 1970. — Transport solide en suspension par un fleuve de Côte d'Ivoire : le Bandama. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, *multigr.*, 161 p. 85 graph.
- MOROZOV (N.P.), 1969. — Géochimie des éléments alcalins dans le débit des rivières. (en russe). *Géokhimiya*, SSSR, 6, pp. 729-739.
- POTTER (E.P.), SHIMP (N.F.), WIHERS (J.), 1963. — Trace elements in marine and freshwater argillaceous sediments. *Geoch. et Cosmoch. Acta.*, 27, 6, pp. 669-694
- SREEKUMARAN (C.), PILLAI (K.C.), FOLSOM (T.R.), 1968. — The concentrations of lithium, potassium, rubidium and cesium in some western american rivers and marine sediments. *Geoch. et Cosmoch. Acta.*, 32, pp. 1229-1234.
- VAKULIN (A.A.), MOKIYENKO (V.F.), 1966. — Microelement content in the sands of the lower Volga. *Soviet Soil Sci.*, 4, pp. 428-436.