

Quest

**RÉPARTITION DE QUELQUES ÉLÉMENTS TRACES
DANS LES EAUX DE SURFACE EN ZONE INTERTROPICALE
(CÔTE-D'IVOIRE)**

Michel DEFOSSEZ, Jean Ph. MANGIN, Maurice PINTA, Raymond VAN DEN DRIESSCHE

Laboratoire de Géologie de l'ORSTOM — S.S.C. — Bondy ()
Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Nice
Laboratoire de Spectrographie de l'ORSTOM — S.S.C. — Bondy
Laboratoire de Biométrie de l'ORSTOM — S.S.C. — Bondy*

RÉSUMÉ. — L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer a entrepris une vaste étude du couple érosion-sédimentation en Côte-d'Ivoire dont un des objectifs est l'évolution géochimique de la charge soluble des eaux naturelles de surface.

Environ 900 prélèvements d'eaux ont été analysés par des méthodes chimiques et spectrographiques en vue de la détermination des éléments majeurs et traces.

Cette étude préliminaire fait état des résultats concernant uniquement les éléments traces suivants : Ni, Cr, Co, Ti, Sn, Pb, Zn, Mo, Ba, Sr, Li, Rb, leurs corrélations entre eux et éventuellement avec toutes autres données chimiques et physico-chimiques. Elle aboutit, pour ces éléments, à une tentative de caractérisation géochimique, qualitative et quantitative, de chaque milieu.

Les conclusions principales sont les suivantes :

- dans les eaux continentales, indépendance des éléments traces vis-à-vis des éléments majeurs, anions et cations, à l'exception du strontium;
- nette dépendance entre la mer et Li, Rb, Sr, Mo et Zn, tandis que Ni, Cr et Ti semblent liés à l'apport continental.

INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches géologiques de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, l'un de nous (J. Ph. MANGIN) étudie depuis 1963, avec une équipe de chercheurs de cet organisme, notamment C. MONNET et Ph. MATHIEU, les différents aspects

(*) Travail effectué avec le Concours de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

21 OCT. 1968

O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence
n° / 2426

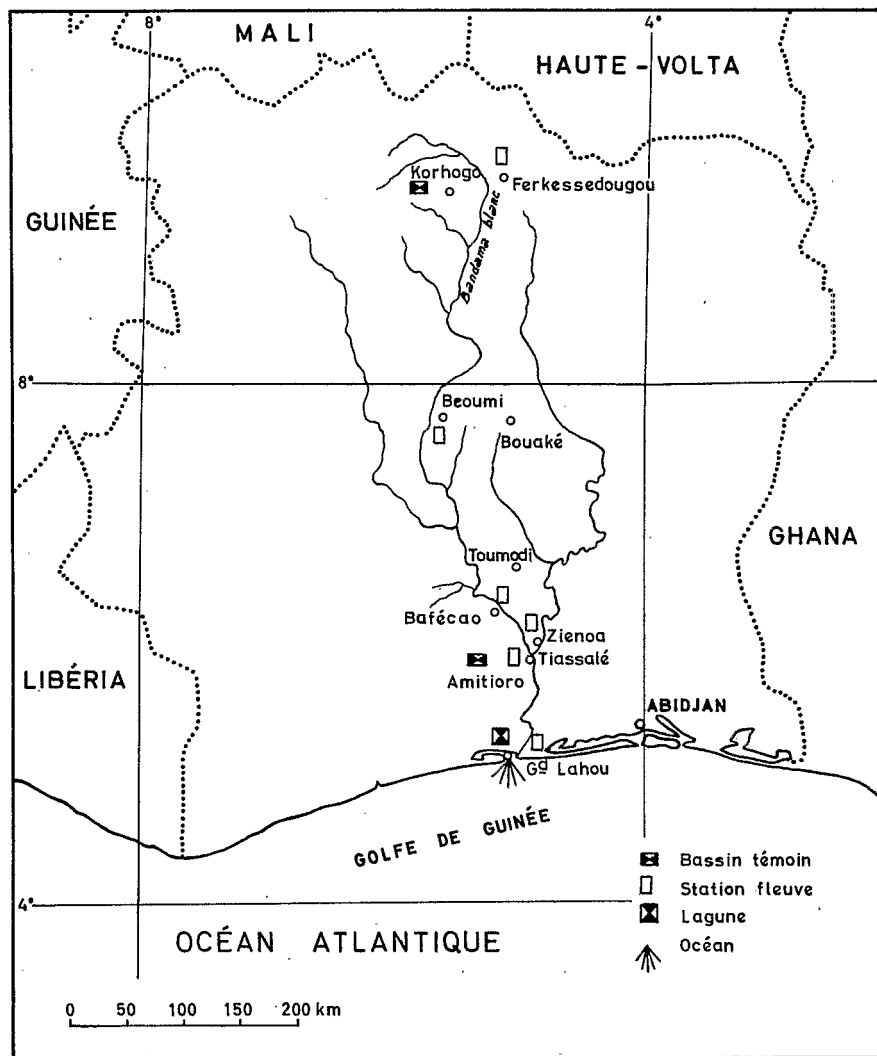


FIG. 1. — Carte de situation de Côte-d'Ivoire.

du couple érosion-sédimentation en Côte-d'Ivoire. Cette opération a essentiellement pour but de mesurer, aussi précisément que possible, les variations d'ordre mécanique et chimique dues au contrôle d'un climat chaud et humide alternant, sur l'érosion des terrains (sols et roches en place) et sur la sédimentation en milieux fluvial, lagunaire et marin. Dans ce but a été choisi un fleuve, le Bandama, qui traverse la Côte-d'Ivoire du Nord au Sud, en drainant successivement une savane sur granite, puis une forêt sur schistes d'âge antécambrien. Une lagune recueille temporairement les eaux du fleuve qui, par son intermédiaire, gagnent enfin le littoral de basse Côte-d'Ivoire, bordant le Golfe de Guinée.

Deux stations « continent », situées dans chacune des grandes unités phytogéologiques (Korhogo en savane et Amitorio sous forêt) enregistrent les précipitations et les ruissel-

lements en un « bassin témoin », appartenant au système du Bandama. Celui-ci est surveillé par plusieurs stations « fleuves » et la lagune comporte deux stations fixes et une dizaine de points également fixes. Enfin le débouché du Bandama à la sortie de la lagune construit un delta submergé qui est étudié sur cinq radiales allant jusqu'aux fonds de 20 m (fig. 1). L'ensemble des mesures se fait en deux temps, une période « statique » correspondant à la période sèche et une période « dynamique » pendant la saison des pluies.

L'étude présentée ici concerne uniquement les deux premières années de l'opération, de mai 1963 à mai 1965, et porte sur les charges en solution et en suspension, et sur les sédiments de fond de lagune. Seuls sont traités l'évolution et le comportement, entre eux et par rapport aux autres données physico-chimiques, de certains éléments traces : lithium, rubidium, baryum, strontium, nickel, chrome, cobalt, étain, titane, plomb, molybdène, zinc.

I. — MÉTHODES D'ANALYSE

Les méthodes utilisées pour la détermination des éléments majeurs sont classiques : méthodes titrimétriques ou colorimétriques pour les chlorures, les sulfates, les phosphates, la silice; spectrométrie d'émission de flamme pour le sodium, le potassium et le calcium; spectrophotométrie d'absorption atomique pour le magnésium.

La détermination des éléments traces est faite en général par méthodes spectrographiques d'émission dans l'arc. Plusieurs techniques sont utilisées en fonction de la teneur minérale des eaux; les analyses intéressant la présente étude ont porté sur des eaux de pluie (renfermant moins de 10 mg de sels minéraux par litre), des eaux de ruissellement et de rivière (25 à 100 mg), des eaux de lagune et d'océan (contenant jusqu'à 35 g/l). Nous donnons ci-dessous les principales techniques appliquées à l'analyse des eaux et des sédiments.

1. Dosage des éléments traces dans les eaux faiblement minéralisées : lithium, rubidium, baryum, strontium, manganèse, vanadium, nickel, cobalt, chrome, étain, titane, plomb, molybdène, zinc.

Ces éléments sont à des teneurs comprises entre quelques μg et quelques centaines de μg par litre.

Le résidu sec est spectrographié dans un arc électrique; les raies caractéristiques de chaque élément sont mesurées sur plaque photographique et comparées aux raies correspondantes d'une série d'échantillons synthétiques étalons.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

Une prise d'essai de 500 ml d'eau infiltrée est évaporée à sec; la matière organique est détruite à l'eau oxygénée; le résidu est pesé et récupéré en vue d'analyse spectrale.

Toutefois pour les eaux trop peu minéralisées, c'est-à-dire contenant moins de 100 mg/l, il convient d'ajouter un sel minéral devant servir de support au résidu pour que celui-ci soit finalement en quantité convenable. Pratiquement on ajoute à 500 ml d'eau 1 ml d'une solution de sulfate de potassium à 50 mg/ml.

Les échantillons d'étalonnage sont constitués par une gamme des éléments à l'état de trace (Mn, Pb, Mo, Sn, V, Zn, Ni, Co, Ti, Cr, Sr, Ba, Li, Rb) à des concentrations croissantes

dans une base de sulfate de potassium, silice, magnésie, carbonate de sodium et carbonate de calcium. Chaque élément se trouve dans la gamme aux concentrations suivantes (en ppm) :

3,16 — 10 — 31,6 — 100 — 316 — 1 000.

Dans ces conditions ces étalons encadrent généralement les concentrations des éléments traces dans les résidus secs préparés plus haut.

a) *Technique spectrographique*

On utilise une méthode d'étalonnage externe : les raies des éléments dosés sont comparées aux raies des échantillons étalons spectrographiés sur la même plaque.

Toutefois, pour déceler toute irrégularité pouvant se produire dans l'enregistrement spectral, un élément « étalon interne » (palladium), est ajouté à l'échantillon spectrographié; il est en quantité constante dans tous les échantillons et l'uniformité dans le noircissement des raies de cet élément prouve la validité du spectre.

Le produit à spectrographier est donc préparé en mélangeant 20 mg de résidu sec de l'échantillon (ou de l'étalon) avec 20 mg de graphite contenant 500 ppm d'oxyde de palladium jouant le rôle d'étalon interne. Ce mélange est placé à l'intérieur d'une électrode en graphite servant d'anode dans un arc électrique.

Les conditions spectrales sont les suivantes :

- arc continu de 12 ampères entre électrodes de graphite;
- spectrographe « LITROW » (HILGER) à optique de quartz pour la région 2 000-4 000 Å, spectrographe « HUET » A₂ pour le visible (4 000-8 000 Å);
- plaques photographiques :
 - plaque Ilford Thin Film Half Tone (ultraviolet)
 - plaque Ilford Long Range Spectrum sur spectrographe « HUET » (visible et proche infrarouge).

Longueurs d'onde utiles :

Mn	2 801,06 Å	Ni	3 414,76 Å
Pb	2 833,07 Å	Co	3 453,50 Å
Cr	2 843,25 Å	Ti	3 653,50 Å
Mo	3 170,34 Å	Sr	4 607,53 Å
Sn	3 175,02 Å	Ba	4 934,08 Å
V	3 185,39 Å	Li	6 707,84 Å
Cu	3 273,96 Å	Rb	7 800,22 Å
Zn	3 345,02 Å	(Pd	3 404,6) Å

b) *Examen des plaques photographiques*

Les raies sont repérées et mesurées au densitomètre. Les concentrations des éléments traces dans l'extrait sec sont déterminées d'après la courbe des densités des raies des échantillons étalons sur la plaque, en fonction de la concentration de chaque élément.

c) Dosage dans les eaux, domaine d'application

Si l'on considère une prise d'essai de 500 ml donnant un extrait sec de 100 mg (y compris l'addition de sulfate de potassium), il y a enrichissement des éléments du milieu initial (eau), au milieu final (résidu sec) : 500 g à 0,1 g, soit un facteur de 5 000. La détection dans les eaux résulte donc de la détection spectrale divisée par 5 000. On aboutit ainsi aux limites de détection suivantes (en $\mu\text{g/l}$) :

Mn 0,3 — Pb 1 — Mo 0,3 — Sn 0,3 — V 1 — Ca 0,3 — Zn 10 — Ni 1 — Co 1 — Ti 3
— Cr 1 — Sr 1 — Ba 5 — Li 0,3 — Rb 2.

Il est à noter que les valeurs sont approximatives et dépendent du facteur d'enrichissement de l'extrait sec. Remarquons que ces valeurs sont généralement inférieures aux concentrations trouvées.

En ce qui concerne la précision de la méthode, on doit qualifier celle-ci de « semi-quantitative » : en effet l'objectif recherché à propos des méthodes d'analyse est, dans le cas présent, la limite de détection qui bien souvent est au détriment de la précision; l'erreur de telles analyses est inférieure ou égale à $\pm 30\%$; l'interprétation ci-dessous des résultats tient compte de cette erreur possible.

REMARQUE

Cette méthode est appliquée aux eaux à teneur en sels minéraux inférieure à 50 mg/l; dans ce cas il est commode d'ajouter 50 mg de sulfate de potassium. Si le résidu est supérieur à 100 mg/l (plus précisément s'il est entre 100 mg et 1 g/l) la méthode est encore appliquée, mais la limite de détection est plus élevée.

2. Dosage des éléments traces dans les eaux fortement minéralisées

Il s'agit des eaux contenant plus de 1 gramme de sels minéraux par litre : eaux de lagune, océan...

Prenons le cas d'une eau contenant 10 g de sels minéraux par litre : l'extrait sec aboutit à un coefficient d'enrichissement de 100, alors que dans la méthode précédente l'enrichissement était de 5 000. Dans certains cas (Li, Sr, Ba, Rb, B), le dosage est possible, mais le plus souvent (Mn, Pb, Mo, Sn, V, Cu, Zn, Fe, Ni, Ti, Cr) les éléments ne sont pas détectables spectrographiquement dans l'extrait sec; nous avons donc adopté deux méthodes comportant ou non une séparation des traces.

a) Dosage des éléments : manganèse, plomb, molybdène, étain, vanadium, cuivre, zinc, fer, nickel, chrome...

Ces éléments sont séparés des sels alcalins et alcalino-terreux constituant le milieu de base (Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Ca^{++} , SO_4^{--} , Cl^-) par précipitation sous forme de complexes organiques.

L'association des réactifs suivants, hydroxy-8 quinoléine, acide tannique, thionalide, dans des conditions données de tampon et de pH, permet une précipitation quantitative des

métaux énumérés ci-dessus, en laissant les métaux alcalins et alcalino-terreux en solution. Cependant, pour faciliter la récupération du précipité, on ajoute un sel métallique (aluminium) donnant un complexe insoluble avec l'hydroxyquinoléine.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- à une prise d'essai de 600 ml on ajoute successivement
- 5 ml de solution à 10 mg Al_2O_3 /ml
- 10 ml de solution de hydroxy-8 quinoléine à 5 % dans l'acide acétique 2 N
- 30 ml de solution d'acétate d'ammonium 2 N
- 2 ml d'acide tannique à 10 % dans l'acétate d'ammonium 2 N (solution fraîche)
- 2 ml de thionalide à 1 % dans l'acide acétique pur (solution fraîche).
- Le pH est ajusté à 5,1 avec de l'ammoniaque.
- La solution est agitée, puis filtrée après 15 heures; le filtre est lavé, séché et calciné à 450 °C.

Le résidu contient essentiellement 50 mg d'alumine et les traces de métaux de l'eau initiale avec un peu d'oxyde de calcium et magnésium. Ainsi, partant de 500 ml d'eau on aboutit à un résidu d'environ 50 mg : le coefficient d'enrichissement est donc de 10 000.

Si la détection spectrale d'un élément est de 2 ppm, la détection correspondante dans l'eau est de 0,2 g/l.

Spectrographiquement les éléments à doser se trouvent dans une base d'alumine contenant 2 à 3 % d'oxyde de magnésium et 1 à 2 % d'oxyde de calcium. Les échanges étalons sont préparés sur le même principe que dans la méthode précédente; la technique opératoire est également semblable.

Quelques éléments traces échappent à l'analyse : les métaux alcalins et alcalino-terreux (Li, Rb, Ba, Sr), l'aluminium, le bore et le silicium.

b) Dosage des éléments : lithium, rubidium, baryum

L'analyse est faite sur l'extrait sec selon une méthode semblable à celle décrite plus haut. La prise d'essai est de 10 à 100 ml, pour avoir un résidu de 100 à 500 mg.

La base de ce résidu est constituée de sels de sodium, calcium, magnésium et potassium; on en tient compte pour la préparation des échantillons étalons et la base aura une composition analogue à la suivante : NaCl 4,5 g, CaO 0,1 g, MgO 0,4 g, K_2SO_4 0,2 g; la gamme titrera en Ba, Li, Rb, de 3,16 à 1 000 ppm comme ci-dessus.

L'élément choisi comme étalon interne est le césium; il est incorporé au graphite à la concentration de 1 000 ppm. Une fraction de 20 mg de résidu, mélangée à 20 mg de graphite ci-dessus, est placée dans l'électrode.

Les spectres sont photographiés

a) entre 2 450 et 3 800 Å sur spectrographe « LITROW » en quartz (plaque Ilford chromatic).

b) entre 4 000 et 9 000 Å sur spectrographe « HUET » A_2 (plaque Long Range Spectrum). Les conditions spectrographiques sont semblables à la première méthode décrite.

Les raies utilisées sont les suivantes : Li 6 707,84 Å — Ba 4 934,03 Å — Rb 7 800,22 Å.

REMARQUE

a) *Lithium et rubidium* : les conditions de dosage conviennent aux teneurs dans les eaux d'océan et de lagune.

b) *Baryum* : la détection spectrographique de cet élément dans le milieu étudié est de 20 ppm, ce qui correspond sensiblement à 600 µg/l d'eau de mer. La plupart des valeurs de Ba dans les eaux d'océan et dans les eaux de lagunes chargées sont malheureusement inférieures à cette valeur et échappent donc à l'analyse spectrographique. Nous n'avons pu mettre au point de méthode plus sensible.

Le laboratoire de recherches géochimiques Louis Barrabé de la Faculté des Sciences de Paris a bien voulu étudier une méthode spectrographique de dosage du baryum dans les eaux de mer après précipitation du rhodizonate de baryum. Les résultats donnent une teneur moyenne en baryum de 10 µg/l.

3. Méthodes diverses

Dans quelques cas de dosages, on a dû faire appel à d'autres techniques : le fer est déterminé par spectrophotométrie d'absorption du complexe au sulfocyanure, l'aluminium par spectrophotométrie d'absorption du complexe Al-ériochrome cyanine; ces méthodes sont classiques. Le strontium est déterminé dans ces eaux fortement minéralisées (lagune et océan) par spectrophotométrie d'absorption atomique.

II. — MÉTHODES STATISTIQUES

Les données analytiques sont réparties en groupes, par station de prélèvement. Les matrices intra-groupe « points de prélèvement par variables » sont toutefois incomplètes. En outre, les variables sont toutes dissymétriques et une transformation logarithmique décimale leur est appliquée avant calcul des coefficients de corrélation totale intra-groupe de Pearson. Les couples de variables étant représentés au sein du même groupe par des effectifs différents, c'est le programme BMD 03 D de l'Université de Californie (DIXON, 1965, p. 60) qui est utilisé pour ce calcul. L'impression de l'effectif N sous chaque coefficient de corrélation permet de déterminer ensuite, par lecture d'abaque, les limites de confiance des corrélations (BEYER, 1966, p. 301) et de fixer les valeurs critiques au-dessous desquelles les corrélations sont considérées comme significatives (BEYER, *op. cit.*, p. 299) : 0,89 pour N = 10; 0,73 pour N = 20; 0,55 pour N = 40; 0,43 pour N = 80 et 0,30 pour N = 160. Des corrélations de rangs ne pouvaient être calculées en l'absence de programme pour traiter des matrices incomplètes de données. Toutefois, par variable et station, des médianes g_1 ,

de rang $\frac{N+1}{2}$, et des intervalles de confiance des médianes, de rang $\frac{N+1}{2} - \sqrt{N}$ et $\frac{N+1}{2} + \sqrt{N}$, sont obtenues (BEYER, *op. cit.*, p. 266) par des moyens conventionnels.

Une analyse multivariante des concentrations en éléments traces est tentée. Elle prend la forme de $\binom{17}{2}$ distances delta de HIERNAUX (1965) mesurées entre les stations de prélèvements p_1, p_2, \dots, p_{17} représentées, chacune, par les médianes g_i de $n = 9$ variables et des étendues a_i (différences entre les concentrations maximales et minimales d'un même élément) valables pour la Côte-d'Ivoire

$$\Delta_{p^1 p^2} = 10000 \sum_1^n \{ [g_i^{p^1} - g_i^{p^2}]^2 / a_i \} / n$$

Toujours dans le domaine des méthodes indépendantes de la distribution parente, il est fait appel, pour certaines analyses univariantes, au test de Kolmogorov-Smirnov (BEYER, *op. cit.*, p. 323) de la différence entre deux régions à N_1 et N_2 prélèvements. Après établissement de fonctions de répartition cumulées d'abscisse commune et d'ordonnée en 10^{-2} , la différence $|F_{N_1}(X) - F_{N_2}(X)|$ maximale est comparée à la différence critique

$$136 \sqrt{\frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2}}$$

III. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

1. Etude des éléments en solution

a) Précipitations

Les précipitations sont donc recueillies aux bassins de Korhogo, en savane, et de Amitioro, en forêt. A cette dernière station, chaque pluie a fait l'objet de prélèvements simultanés sous forêt et en clairière afin d'apprécier l'influence de la végétation. Les averses font en principe l'objet de 3 prélèvements correspondant approximativement au début, milieu et fin de l'hyéogramme.

Les teneurs, entre les stations de Korhogo et Amitioro en clairière, sont comparables en éléments traces, à l'exception du baryum nettement plus abondant à Korhogo (cf. tableau 1). L'influence de la végétation à Amitioro se traduit par un enrichissement net des valeurs de Li, Rb et Sr, qui apparaît clairement d'après le test de Kolmogorov-Smirnov. Le lithium et le strontium présentent d'ailleurs une corrélation totale significative entre eux et avec le potassium dont la teneur croît fortement sous forêt.

b) Bassins témoins

Les bassins témoins de Korhogo et Amitioro comprennent chacun un ravineau (créé artificiellement) débouchant dans une petite rivière étudiée séparément du point de vue géochimique. Comme pour les pluies, les crues qui en résultent font l'objet de 3 prélèvements en début, milieu et fin de l'hyéogramme.

TABLEAU 1
Précipitations

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Sn	Ti	Pb	Mo	Zn
Korhogo	médiane	0,7	0,4	10	9	1	1,1	< 0,3	< 0,3	3	< 1	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,3 à 1,1	< 0,3 à 1	8,6 à 11,4	6 à 10	1 à 1,5	1 à 2,3			2 à 4			
	effectif	62	62	62	61	61	61	62	62	55	61	62	62
Amitioro sans végétation	médiane	0,3	0,3	2,9	7	1	1,2	< 0,3	< 0,3	1	< 1	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,3 à 0,4	< 0,3 à 0,5	2 à 4	3 à 10	0,6 à 1	1 à 2			1 à 2			
	effectif	107	106	106	112	112	112	112	112	112	111	112	112
Amitioro avec végétation	médiane	1	3	3,8	12	1,1	1,2	< 0,3	< 0,3	1	< 1	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,9 à 1,2	2 à 3,3	3,1 à 6,9	11 à 19	1 à 1,2	1 à 2,3			1 à 2			
	effectif	96	95	96	96	96	95	96	96	96	96	96	96

Concentration en $\mu\text{g/l}$

En savane, les eaux du ravineau, qui n'ont ruisselé que sur une centaine de mètres, présentent déjà un enrichissement général des oligo-éléments par rapport à la teneur des eaux de pluie, à l'exception du baryum dont la valeur médiane est pratiquement identique dans les deux cas. Les eaux de rivière s'enrichissent par rapport à celles du ravineau et cette augmentation semble provenir, en fin de crue, des eaux hypodermiques particulièrement chargées.

Sous forêt, si les eaux du ravineau présentent également des teneurs nettement plus fortes que celles des précipitations, en revanche, on ne distingue que des variations insignifiantes entre eaux de ravineau et eaux de rivière. On constate même une diminution significative du rubidium (test de Kolmogorov-Smirnov), ce qui pourrait faire admettre que cet élément provient surtout de la végétation et se dilue en rivière.

Une comparaison entre les eaux de rivière de Korhogo (savane) et Amitioro (forêt) illustre bien ce fait car, exception faite du strontium plus abondant dans la province schisteuse, les eaux de savane sont généralement plus chargées. Ceci proviendrait peut-être de ce que, sous forêt, le drainage est moins efficace, en partie à cause de la litière végétale faisant obstacle à une infiltration immédiate. Par ailleurs il est probable que les sols sur schiste sont moins riches en éléments traces que les sols sur granite. Cette évolution différente des eaux de savane et de forêt (cf. tableau n° 2), a d'ailleurs été confirmée par les distances delta mesurées sur l'ensemble des médianes intra-station de Li, Ti, Cr, Ni, Rb, Sr, Sn, Ba et Pb. La distance entre l'eau du ravineau et de la rivière est faible ($\Delta = 83$) à Amitioro, grande ($\Delta = 1\ 550$) à Korhogo. L'ensemble des eaux du bassin versant sous forêt se différencie plus de l'eau de rivière en savane ($\Delta = 1\ 151$) que de l'eau du ravineau en savane ($\Delta = 531$).

Les corrélations totales les plus significatives (0,52 à 0,66 pour 99 échantillons) existent entre les éléments Mn, V, Ni, Cr et Li, pris deux à deux et concernent seulement

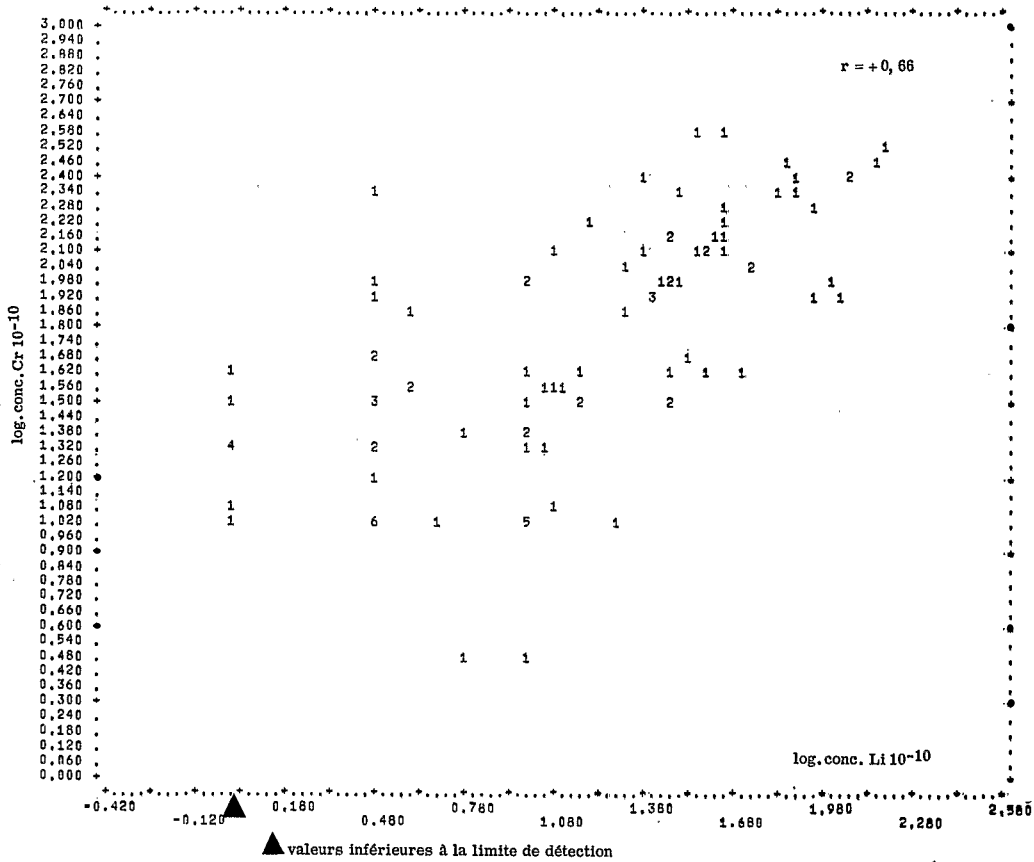


FIG. 2. — Corrélation entre lithium et chrome dans le bassin témoin KORHOGO.

la savane aussi bien en ravineau qu'en rivière. A titre d'exemple est donnée en figure n° 2 la représentation graphique de la corrélation totale entre chrome et lithium pour l'ensemble des échantillons de Korhogo.

Les seules corrélations significatives communes aux 2 bassins témoins lient le titane au manganèse d'une part et au vanadium d'autre part.

Un dernier fait à constater est l'absence quasi-totale de corrélations valables entre traces et majeurs, aussi bien anions (Cl , PO_4 , SO_4 , SiO_2) que cations (K , Na , Ca , Mg).

c) Fleuve

Le Bandama a été analysé en plusieurs transversales échelonnées du Nord au Sud : Ferkessedougou, Beoumi, Bafecao, Zienoa, Tiassalé et Nzida (fig. 1).

Les données des deux années ont été traitées globalement, faute d'effectifs suffisants dans certaines stations pour distinguer les périodes de crue des périodes d'étiage. Cependant à Bafecao où l'effectif est le plus important, une étude comparative entre teneurs

TABLEAU 2
Bassins témoins

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Sn	Ti	Pb	Mo	Zn
Korhogo ravineau	médiane	1	3	9,4	16	2	3,3	< 0,3	0,3	37	1	0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,6 à 1,2	2 à 3,1	6,0 à 11,0	12 à 18	1,2 à 3	2,3 à 5,7		< 0,3 à 0,5	12 à 76	< 1 à 1,3	0,3 à 0,3	
	effectif	69	69	69	69	69	68	69	69	51	69	69	69
Korhogo petit bassin	médiane	3,4	3,8	24	25	3,6	12	0,4	2,2	39	3,1	0,4	< 10
	intervalle de confiance	3 à 4,4	< 0,3 à 8,8	18 à 31	15 à 33	2,6 à 4,4	7 à 15	0,3 à 0,5	1 à 3	28 à 93	1,8 à 5,7	0,3 à 0,6	
	effectif	36	36	36	36	36	35	36	36	20	36	36	36
Amitioro ravineau	médiane	2,9	3,1	19	41	4,5	2,7	< 0,3	0,4	6	1,7	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	2,5 à 3,9	2,8 à 4,1	16,2 à 23	37 à 45	4,2 à 5,4	1,5 à 3,2		< 0,3 à 0,5	4 à 12	1,3 à 2,9		
	effectif	58	58	58	61	61	60	61	61	61	61	61	61
Amitioro petit bassin	médiane	2,3	1,4	14,3	43	4	2,8	< 0,3	< 0,3	13	1,3	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	1,4 à 3,6	0,7 à 2,7	8 à 17,4	37 à 73	2,8 à 4,5	2,6 à 4,4			6 à 29	0,7 à 1,5		
	effectif	21	21	21	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Concentration en $\mu\text{g/l}$

et débits a été tentée; malheureusement, quel que soit l'élément trace, aucune relation ne s'est dégagée et on ne peut affirmer jusqu'ici que les fortes teneurs correspondent aux faibles débits ou inversement. Il n'est donc pas possible encore d'interpréter les variations qui peuvent être également fonction de la nature du substratum.

Les médianes globales (tableau n° 3) correspondant à l'ensemble du fleuve sont généralement plus faibles, quoique de même ordre de grandeur, que celles citées pour les grandes rivières d'Amérique du Nord (DURUM et HAFETY, 1963; KRONER et KOPP, 1965) à l'exception du rubidium et du titane plus abondants.

Les corrélations totales les plus significatives qui se retrouvent dans la plupart des stations concernent 4 groupes d'éléments : V, Mn, Ni, Li, Cr, — Ti, Mn, Fe, — Rb, Sr, — Ba, Sr.

Pour l'effectif total du fleuve, qui varie de 227 à 243 prélèvements suivant l'élément, la valeur de ces corrélations se situe entre 0,50 et 0,71. Les représentations graphiques des corrélations titane-manganèse et chrome-nickel sont données à titre d'exemple (fig. 3 et 4).

Les éléments de ces 4 groupes correspondent à 2 familles géochimiques, le groupe du fer et les lithophiles, d'après la classification géochimique de JAEGER (1957). Cependant les corrélations totales du lithium avec certains éléments du groupe du fer, signalées déjà

TABLEAU 3
Fleuve

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Sn	Ti	Pb	Mo	Zn
Ferkesse-dougou	médiane	0,4	2,1	25	65,5	1,2	2,5	< 0,3	13,2	3,5	< 1	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	< 0,3 à 0,4	1,4 à 2,6	13 à 34	18 à 72	0,4 à 3,4	1,4 à 5		< 0,3 à 19,5	2 à 26			
	effectif	12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12
Beoumi	médiane	0,5	4,4	26	30	1,3	2,2	< 0,3	1,7	13	< 1	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,4 à 1,5	3,9 à 7	15 à 28	26 à 50	0,4 à 3	1,4 à 4,5		< 0,3 à 14	3 à 26			
	effectif	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Bafeccao	médiane	2	4,6	27	42	2,4	4,2	< 0,3	2,2	17	1,6	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	1,4 à 3,4	4 à 11	23,4 à 30	29 à 47	1,6 à 3,8	2,8 à 7,8		1,5 à 10	14 à 30	1,5 à 1,9		
	effectif	96	96	96	96	95	96	96	96	87	95	93	93
Zienoa	médiane	3	5	26	45	1,7	3,2	< 0,3	< 0,3	45	2,5	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	1,8 à 4,5	3 à 5,5	18 à 50	30 à 80	1,5 à 3	3 à 5,2			35 à 53	1,5 à 3		
	effectif	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Tiassale	médiane	0,5	2,7	30	39,5	1,2	1,4	< 0,3	< 0,3	14,5	1,4	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	0,4 à 1,4	1,8 à 4,2	18 à 36	29 à 45	0,5 à 1,4	1,2 à 2,8			10 à 18	< 1 à 1,5		
	effectif	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Nzida	médiane	2,4	7	30	140	4,2	4,8	0,5	0,5	61	2,1	0,4	< 10
	intervalle de confiance	1,8 à 3	5,4 à 7,5	28 à 37	53 à 150	2,8 à 5,1	3,6 à 45	0,4 à 0,5	0,4 à 8,5	42 à 160	1,8 à 4,7	< 0,3 à 0,7	
	effectif	29	29	29	29	29	29	29	29	29	28	29	29
Ensemble du fleuve	médiane	1,6	4,5	28	45	1,8	3,3	< 0,3	1,4	25,5	1,6	< 0,3	< 10
	intervalle de confiance	1,5 à 1,9	4,2 à 5	26 à 29	40 à 48	1,6 à 2,5	3 à 4,2		0,7 à 1,6	17 à 33	1,5 à 1,8		
	effectif	243	243	243	243	242	243	243	243	234	241	240	240

Concentration en µg/l

au bassin de Korhogo, ne peuvent s'expliquer que par les valeurs voisines des rayons ioniques.

Comme pour les bassins témoins, il faut noter l'absence de corrélations significatives répétées entre éléments traces et éléments majeurs, à l'exception du strontium lié au magnésium et au calcium.

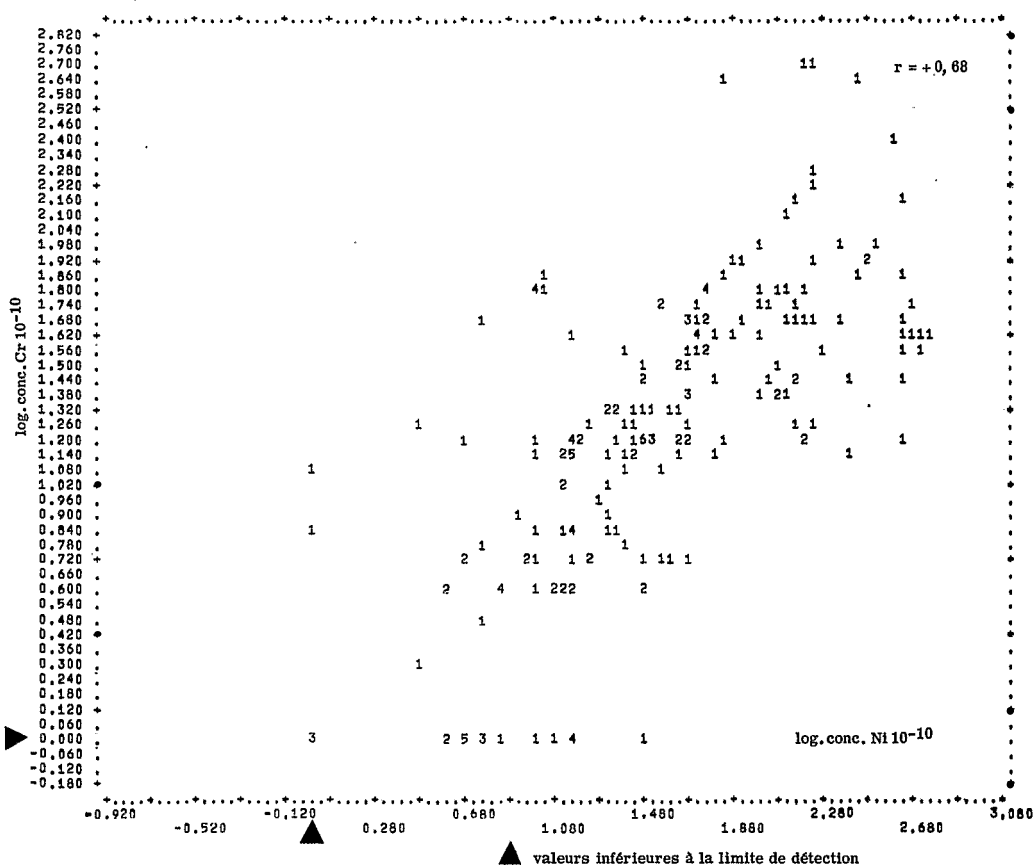


FIG. 3. — Corrélation entre nickel et chrome dans le fleuve Bandama.

d) Lagune

Les prélèvements faits dans la lagune de Grand Lahou ont été groupés en 2 ensembles, débouché du fleuve et lagune centrale, afin d'obtenir des effectifs suffisants pour le traitement statistique. Cette disposition a permis également de distinguer les périodes d'étiage, de décembre à juillet (moyenne de résistivité par ensemble, 74 et 59 ohm/cm), et de crue, d'août à novembre (moyenne de résistivité par ensemble 16 520 et 14 320 ohm/cm) où, successivement, l'océan et le fleuve ont une influence prépondérante. A titre de comparaison, la moyenne globale de résistivité pour le fleuve et la bordure océanique au débouché de la lagune est respectivement de 17 590 et 35 ohm/cm.

En période de crue, au débouché du Bandama, les teneurs sont assez semblables à celles du fleuve, à l'exception du titane dont la valeur atteste une concentration. En lagune centrale se manifeste également un enrichissement en lithium et rubidium.

En période d'étiage, pour un potentiel d'oxydo-réduction de 0,07 V et un pH moyen de 8, on constate les variations suivantes en concentration (tableau n° 4) : augmentation nette de Li, Sr, Mo et Zn, diminution significative de Ni, Cr et Ti; Co, Sn et Pb semblent

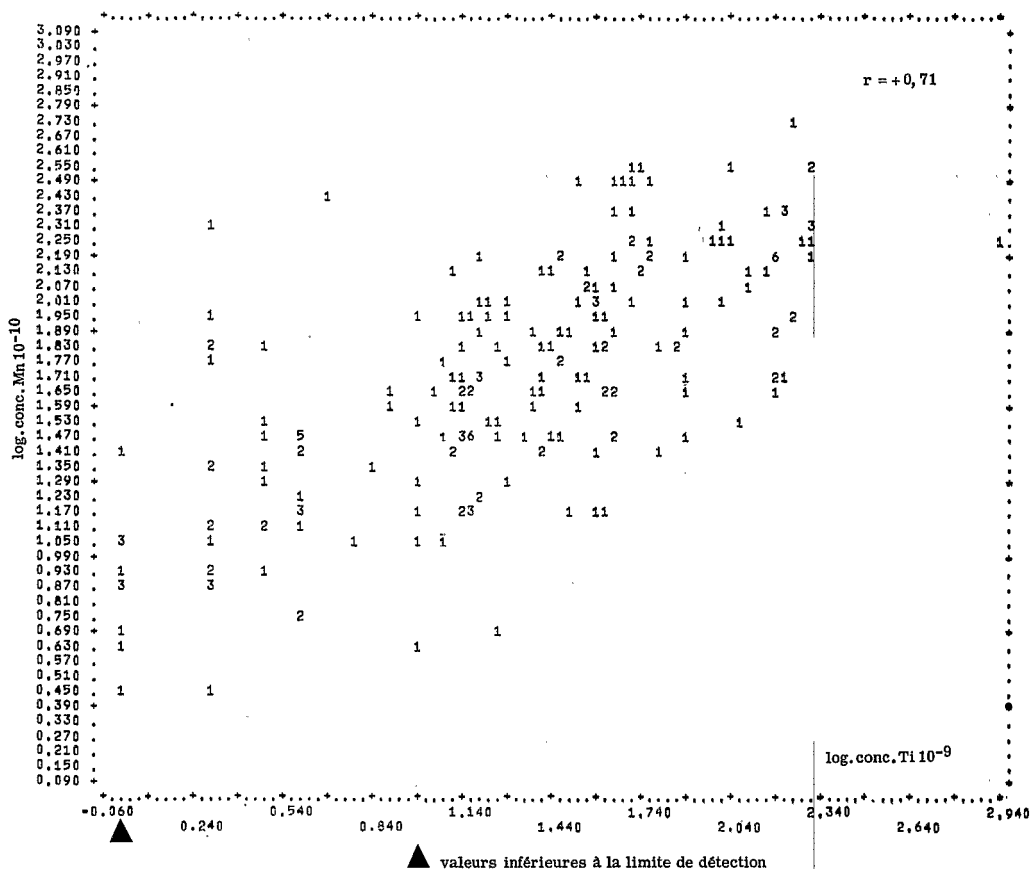


Fig. 4. — Corrélation entre titane et manganèse dans le fleuve Bandama.

assez constants. Les teneurs en rubidium et baryum n'ont pu être déterminées car la limite de détection, en relation avec la charge de l'eau, était le plus souvent supérieure à la concentration.

Les corrélations totales les plus significatives concernent, en cette période d'étiage, la résistivité d'une part, le molybdène, le lithium (cf. fig. 5) et le strontium d'autre part; respectivement $-0,94$, $-0,91$ et $-0,95$ pour un effectif de 40 prélèvements en lagune centrale. On notera que ces corrélations inverses sont supérieures, en valeur absolue, à celle du bore vis-à-vis de la résistivité ($-0,82$) pour un effectif identique; cet élément est pourtant généralement considéré comme spécifiquement marin.

e) Océan

Les prélèvements en océan sont limités à la frange côtière face au goulet par où communiquent lagune et océan. Deux époques d'échantillonnage, mai et septembre (cf. tabl. n° 5) correspondent aux périodes d'étiage et de crue du Bandama. A priori on peut considérer que les teneurs du mois de mai sont les plus représentatives du milieu marin. Il est

TABLEAU 4

Lagune

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Sn	Ti	Pb	Mo	Zn
Débouché fleuve en lagune août- novembre	médiane	1,6	4,3	31	42	3,7	3	< 0,5	0,8	185	1	< 1	< 10
	intervalle de confiance	1,4	3	26	28	1,6	2		< 0,3	30	0,8		
	effectif	à 4,8	à 8,5	à 40	à 57	à 9	à 4		à 12	à 500	à 23		
Débouché fleuve en lagune décembre- juillet	médiane	50			2300	1,5	1	< 0,5	0,5	50	1	4	31
	intervalle de confiance	20			< 100	1,5	0,6		0,3	30	0,6	1,8	20
	effectif	à 175			à 5000	à 2	à 1,7		à 0,5	à 130	à 1,8	à 5,8	à 36
Lagune centrale août- novembre	médiane	4,1	13	33	41	4,1	4,2	< 0,5	< 0,8	130	0,8	< 1	< 10
	intervalle de confiance	4	11	29	39	3,9	3,9			42	0,7		
	effectif	à 5,6	à 13	à 38	à 44	à 6,5	à 4,5			à 140	à 1,4		
Lagune centrale décembre- juillet	médiane	87			3600	2,1	0,9	< 0,5	0,5	18	1,1	3	21
	intervalle de confiance	40			630	1,8	0,6		0,5	14	0,6	1,5	16
	effectif	à 180			à 5000	à 2,5	à 1		à 0,6	à 50	à 2	à 5	à 32
	médiane	46			18	79	79	79	79	78	79	79	46

Concentration en µg/l

TABLEAU 5

Océan

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Sn	Ti	Pb	Mo	Zn
Océan mai	médiane	255	< 150			2	1	< 0,5	< 0,5	65	1	6	50
	intervalle de confiance	245		entre 8 et 15		0,7	0,6			55	0,6	5	32
	effectif	à 275				à 2	à 2			à 130	à 2	à 6,5	à 60
Océan septembre	médiane	300	190		6850	0,5	0,5	< 0,1	0,5	15	2	4	10
	intervalle de confiance	190	190	entre 8 et 15	6300	0,5	0,5		0,2	12	2	1,5	< 10
	effectif	à 330	à 320		à 7600	à 0,8	à 0,5		à 0,7	à 24	à 3	à 9	à 10
	médiane	13	13	3	21	13	13	13	13	13	13	13	13

Concentration en µg/l

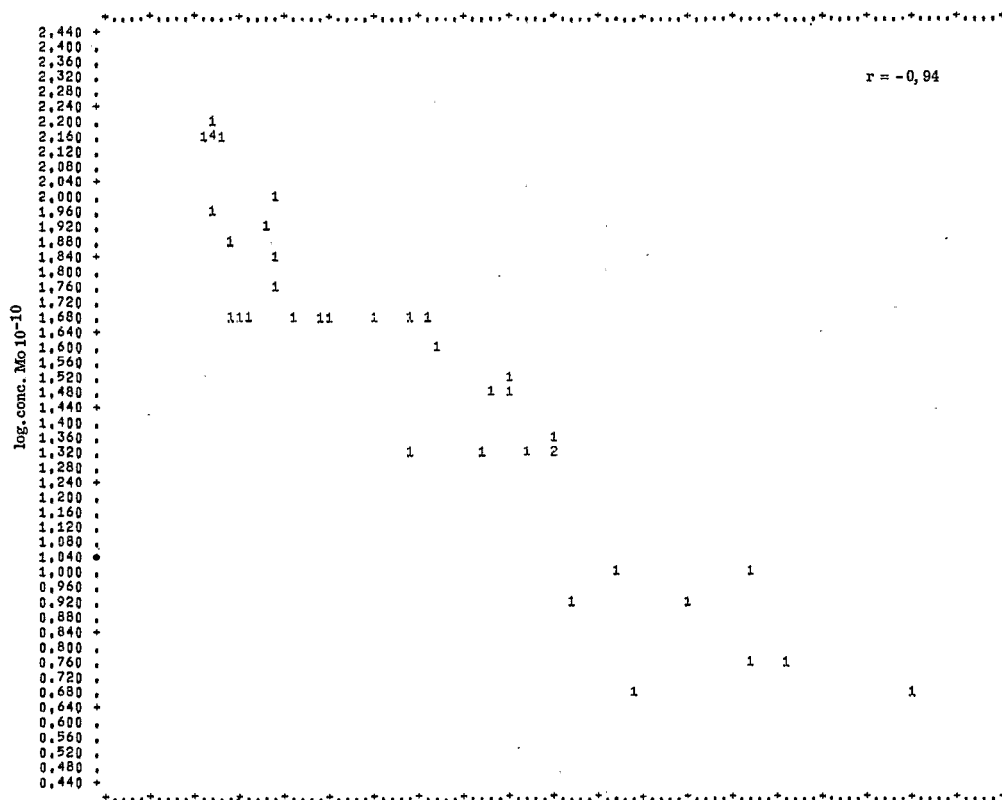


FIG. 5. — Corrélations entre résistivité et molybdène, lithium, dans la lagune Grand Lahou de décembre à juillet.

intéressant de les comparer aux valeurs obtenues par différents auteurs ces dernières années :

La concentration du lithium est supérieure aux moyennes de surface obtenues par ANGINO et BILLINGS (1966) : 180 à 210 $\mu\text{g/l}$.

La concentration du rubidium, $< 150 \mu\text{g/l}$, n'a pu être déterminée avec précision, car inférieure à la limite de détection; BOLTER, TUREKIAN et SCHUTZ (1964) indiquent pour l'Atlantique sud, en surface, une teneur de 126 $\mu\text{g/l}$.

Pour le baryum, TUREKIAN et JOHNSON (1966) obtiennent une moyenne de 13 $\mu\text{g/l}$ en surface du détroit de Long Island tandis que pour le strontium, ANGINO, BILLINGS et ANDERSON (1966) constatent en Atlantique nord et dans les Caraïbes des concentrations variant de 7 200 à 8 700 $\mu\text{g/l}$.

Le nickel et le cobalt ont des teneurs comparables à celles obtenues en surface par SCHUTZ et TUREKIAN (1965) dans les eaux des Caraïbes tandis que le chrome a une teneur inférieure à la teneur moyenne, 2,2 $\mu\text{g/l}$, donnée par les mêmes auteurs en 1963.

Pour l'étain, GOLDBERG (1965) donne une concentration moyenne de 0,8 $\mu\text{g/l}$ légèrement supérieure à celle trouvée tandis qu'il cite pour le titane une teneur très inférieure, 1 $\mu\text{g/l}$.

DURUM et HAFFTY (1963) indiquent une teneur supérieure pour le plomb, 3 à 4 $\mu\text{g/l}$, semblable pour le molybdène, 5 à 10 $\mu\text{g/l}$. Pour ce dernier élément, BROOKS (1965) donne des valeurs nettement inférieures pour les eaux côtières de Nouvelle Zélande, tandis que CHAN et RILEY (1966) obtiennent 10,3 $\mu\text{g/l}$ en mer d'Irlande.

La teneur en zinc est généralement supérieure aux estimations, à l'exception de celles de BROOKS (1965) qui trouve des valeurs comparables dans les eaux côtières de Nouvelle Zélande, 29 à 50 $\mu\text{g/l}$.

En définitive, il apparaît qu'à l'exception de la concentration du titane, très nettement supérieure aux chiffres cités dans la littérature, d'ailleurs peu abondante, pour cet élément, les concentrations que nous indiquons sont d'un même ordre de grandeur.

En période de crue, au mois de septembre, quand le fleuve pénètre directement dans l'océan, des variations significatives par rapport à la période d'étiage sont constatées et confirmées par le test de Kolmogorov-Smirnov : augmentation du rubidium et diminution de Zn, Ni, Cr et Ti. Cependant le comportement des trois derniers éléments semble anormal. En effet, nous observons en lagune, pour la même époque, en période de crue, les teneurs les plus élevées. On pourrait conclure à une dilution mais dans ce cas les teneurs en eau de mer devraient être sinon supérieures, du moins égales à celles obtenues en étiage. Comme ce n'est pas le cas on peut donc supposer un départ pour expliquer ces teneurs particulièrement faibles.

2. Les sédiments

Les sédiments en suspension prélevés à différentes époques proviennent d'une part des bassins témoins, d'autre part du fleuve. Ce sont surtout des produits amorphes non

TABLEAU 6
Sédiments

		Li	Rb	Ba	Sr	Ni	Cr	Co	Pb	Zn
Bassins témoins	médiane	30	51	140	16	18	72	8	11	< 100
	intervalle de confiance	26 à 39	30 à 54	115 à 150	6 à 26	15 à 50	60 à 87	7 à 9	7 à 24	
	effectif	33	33	33	33	35	35	35	35	35
Fleuve	médiane	22	42	79,5	5,5	22	43	7	21,5	218
	intervalle de confiance	19 à 27	16 à 46	73 à 155	3 à 7	20 à 24	34 à 70	6 à 9	16,5 à 24	160 à 260
	effectif	54	54	24	54	53	54	54	54	54
Lagune	médiane	80	78,5	175	28	37,5	78,5	8	24	80,5
	intervalle de confiance	79 à 85	41 à 80	85 à 250	23 à 80	25 à 40	33 à 80	7 à 17	7 à 24	79 à 85
	effectif	26	26	26	26	25	26	26	26	26

Concentration en mg/l

identifiables et des produits argileux à kaolinite dominante avec un peu d'illite. Les éléments ont été comparés dans les deux familles, à l'exception de Mo et Sn dont la teneur est inférieure à la limite de détection et de Ti dont la teneur dépasse cette limite. L'examen des médianes (cf. tabl. n° 6) montre qu'à l'exception de Zn, Pb et Ni, les éléments ont une teneur inférieure dans les sédiments transportés par le fleuve. Cependant les tests de Kolmogorov-Smirnov ne sont significatifs que pour le zinc d'une part, le chrome et le rubidium d'autre part. Ceci tendrait à prouver que le zinc est surtout lié à la partie fine, tandis que le chrome et le rubidium seraient davantage en relation avec la fraction grossière, en supposant que seule la partie fine se maintient en suspension dans le fleuve.

Les sédiments de fond de lagune contiennent des produits amorphes, des argiles, de la kaolinite avec un peu d'illite et de montmorillonite et du quartz en quantité plus importante que dans la charge solide du Bandama. A l'exception du zinc, l'examen des médianes montre, pour tous les éléments, un enrichissement. Cependant seuls sont significatifs, d'après les tests de Kolmogorov-Smirnov, les enrichissements en Li, Rb, Sr et Cr. La teneur en zinc, par contre, diminue nettement, ce qui laisserait supposer pour cet élément une remise en solution. Le cobalt, dont la concentration est pratiquement identique depuis les bassins témoins jusqu'aux dépôts en lagune, présente un comportement singulier.

CONCLUSION

Le but de ce travail était de préciser, autant que faire se peut, le comportement de certains éléments traces au cours des diverses situations constituant la séquence complète du couple érosion-sédimentation et l'évolution de leurs concentrations. L'accent a surtout été mis sur les éléments en solution et l'étude des sédiments n'avait d'autre objectif que d'apporter certaines données complémentaires indispensables à une meilleure compréhension des phénomènes. En fait, les résultats exposés ici sont encore fragmentaires; il s'agit le plus souvent d'un constat : l'explication demandera encore une longue étude dans laquelle interviendra l'analyse biologique.

L'étude des pluies a démontré l'apport caractéristique de la forêt en Li, Rb et Sr. Par contre la nature du substratum, associée peut-être à un meilleur drainage, enrichit davantage en éléments solubles les eaux de savane sur granite que les eaux de forêt sur schiste.

L'étude de la charge soluble du fleuve montre, comme pour les bassins témoins, l'indépendance des éléments traces, à l'exception du strontium, vis-à-vis des éléments majeurs, anions et cations, et semble-t-il, le rôle du rayon ionique dans les corrélations totales qui lient les éléments de familles géochimiques différentes : V, Mn, Ni, Cr d'une part, Li d'autre part.

Les résultats obtenus en lagune et océan font apparaître une nette dépendance entre la mer et Li, Rb, Sr, Mo, et Zn, tandis que Ni, Cr et Ti semblent liés à l'apport continental. Par contre, Co, Sn et Pb semblent assez indifférents au changement de milieu. Cependant, l'étude comparée des sédiments transportés par le fleuve et déposés en lagune, montre un enrichissement des fonds de lagune pour tous les éléments traces à l'exception du zinc dont la teneur diminue de façon significative.

Abstract

The Overseas Scientific and Technical Research Board (O.R.S.T.O.M.) has undertaken a large study of the couple erosion-sedimentation in Ivory Coast. One purpose is to find out the geochemical evolution of the soluble load in superficial natural water.

About 900 water samples have been analyzed by chemical and spectrographical methods for the determination of major and trace elements.

This preliminary study gives results concerning only the following trace elements : Ni, Cr, Co, Ti, Sn, Pb, Zn, Mo, Ba, Sr, Li, Rb, their mutual correlation and eventually the correlation with any other chemical or physico-chemical data. For these elements, is tentatively established a qualitative and quantitative geochemical characterisation of each milieu.

The main conclusions are as follow :

— in continental water, independance of trace elements versus major elements (anions and cathions), with the exception of strontium,

— clear dependance between sea and Li, Rb, Sr, Mo, and Zn, while Ni, Cr and Ti are apparently related to continental sedimentation.

Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Erosion und Sedimentation wurde an der Côte-d'Ivoire durch das Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer untersucht, um die geochemische Entwicklung des gelösten Materials in den Oberflächengewässern festzustellen. Etwa 900 Wasserproben wurden chemisch und spektrographisch untersucht, um die Haupt- und Spurenelemente zu bestimmen. Diese Arbeit betrifft nur die Ergebnisse über folgende Spurenelemente : Ni, Cr, Ti, Sn, Pb, Zn, Mo, Ba, Sr, Li, Rb, über ihre gegenseitige Abhängigkeit und ihre eventuelle Abhängigkeit von anderen chemischen oder physikalisch-chemischen Faktoren. Dies führt zum Versuch einer qualitativen und quantitativen geochemischen Deutung der einzelnen Milieus.

Es wurde hauptsächlich festgestellt, dass in den kontinentalen Gewässern die Spurenelemente unabhängig von den Hauptelementen sind, sowohl die Anionen wie die Kationen, mit Ausnahme des Strontiums. Es besteht eine starke Abhängigkeit zwischen Meerwasser und Li, Rb, Sr, Mo und Zn; dagegen scheinen Ni, Cr und Ti and kontinentale Zufuhr gebunden zu sein.

РЕЗЮМЕ

Распределение некоторых редких элементов в поверхностных водах межтропической зоны.

Организация Научных и Технических Исследований за Морем предприняла в Кот д'Ивуаре обширное изучение пары эрозия - отложение. Один из предметов этого изучения была геохимическая эволюция растворенных тел в поверхностных естественных водах. Были анализированы химическими и спектрографическими способами около 900 проб воды, это позволило определить главные и редкие элементы.

Это первоначальное изучение дает состояние результатов, которые, только, относятся к следующим редким элементам : Ni, Cr, Co, Ti, Sn, Pb, Zn, Mo, Ba, Sr, Li, Rb и их соотношения, а также их связь со всеми другими химическими и физикохимическими данными. Для этих элементов это соотношение показывает существование попытки геохимической, качественной и количественной характеристики каждой среды.

Главные заключения являются следующими :

- в континентальных водах, независимость редких элементов по отношению к главным элементам, анионов и катионов, за исключением стронция ;

- прямая зависимость между морем и Li, Rb, Sr, Mo, и Zn, тогда как Ni, Cr и Ti наверно связаны с континентальным приносом.

BIBLIOGRAPHIE

- ANGINO E. E. et BILLINGS G. K. (1966). — Lithium content of sea water by atomic absorption spectrometry. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 30, 2, p. 153-158.
- ANGINO E. E., BILLINGS G. K. et ANDERSEN N. (1966). — Observed variations in the strontium concentration of sea water. *Chem. Geol. Netherl.*, 1, 2, p. 145-153.
- BEYER W. H. (1966). — Editor. Handbook of tables for probability and statistics. Cleveland, Chemical Rubber, 502 p.
- BOLTER E., TUREKIAN K. K. et SCHUTZ D. F. (1964). — The distribution of rubidium, cesium and barium in the oceans. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 28, 9, p. 1459-1466.
- BROOKS R. R. (1965). — Trace elements in New Zealand coastal waters. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 29, 12, p. 1369-1370.
- CHAN K. M. et RILEY J. P. (1966). — The determination of molybdenum in natural waters, silicates and biological materials. *Anal. Chim. Acta, Pays-Bas*, 36, 2, p. 220-229.
- DIXON W. J. (1965). — Editor. BMD Biomedical computer programs. Los Angeles, Health Sciences Computing Facility, Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, University of California, revised edition, 620 p.
- DURUM W. H. et HAFFTY J. (1963). — Implications of the minor element content of some major streams of the world. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 33, 1, p. 1-11.
- GOLDBERG E. E. (1965). — Minor elements in sea water. *Chem. Ocean.*, 1, p. 163-196.
- HIERNAUX J. (1965). — Une nouvelle mesure de distance anthropométrique entre populations, utilisant simultanément des fréquences géniques, des pourcentages de traits descriptifs et des moyennes métriques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 260, p. 1748-1750.
- JAEGER J. L. (1957). — La géochimie. Que sais-je ?, P.U.F., Paris.
- KRONER R. C. et KOPP J. F. (1965). — Trace elements in six water systems of the United States. *J. Amer. Wet. Works Ass.*, p. 150-156.
- MANGIN J. Ph. (1963). — Etude de phénomènes actuels d'érosion, de transport et de sédimentation conduisant à des dépôts alternants. *C.R. Soc. Géol. France*, 5, p. 153-155.
- MANGIN J. Ph., LECOLLE J., MATHIEU Ph., MONNET C., PINTA M. et SIRCOULON J. (1966). — Géochimie des eaux naturelles; les transports en solution par un fleuve de Côte-d'Ivoire. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 266, p. 2204-2206.
- PINTA M. (1962). — Recherche et dosage des éléments traces. Dunod, Paris, 726 p.
- SCHUTZ D. F. et TUREKIAN K. K. (1965). — The investigation of the geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water using activation analysis. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 29, 4, p. 259-313.
- TUREKIAN K. K. et JOHNSON D. G. (1966). — The barium distribution in sea water. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, 30, 11, p. 1153-1174.