

Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de Côte d'Ivoire

M. MOLINIER

Chargé de Recherches, Centre ORSTOM de Brazzaville

RÉSUMÉ

L'étude de la qualité des eaux de trois petits fleuves de Côte d'Ivoire en zone forestière équatoriale dont les bassins versants ont des caractéristiques géologiques et pédologiques très voisines, montre que l'on peut trouver des différences assez sensibles, d'un bassin à l'autre, dans les teneurs des eaux de surface en éléments dissous. Dans cette région, les terrains drainés étant, dans l'ensemble, issus de mêmes roches, la variation des concentrations d'un élément donné au cours d'une année est assez semblable pour chacun des bassins. Les différences observées dans les quantités apportées par chacun des fleuves proviennent essentiellement du régime des cours d'eau et du mode de formation des crues. Les apports en éléments dissous ainsi qu'en éléments en suspension sont en étroite corrélation avec le débit.

ABSTRACT

The study of water quality of three small rivers in Ivory Coast in an equatorial-rain-forested area the catchments of which have very similar geological and pedological characteristics, shows that rather perceptible differences can be found, from one catchment to another one, in dissolved sediments contents of surface-waters. In that country, the drained soils are generally issued from the same rocks, the variation of a particular sediment concentration all through a year is rather similar for each one of the catchments. The differences noticed in the quantities carried by each one of the rivers depends essentially on the regimen of streams and on the way floods are formed. The contents of dissolved sediments as well as suspended substances correlate narrowly with discharge.

1. INTRODUCTION

L'étude des propriétés physico-chimiques et des transports en suspension de trois petits fleuves côtiers de Côte d'Ivoire en vue de l'utilisation industrielle de leurs eaux a permis d'effectuer un nombre assez important de mesures et de prélèvements de 1971 à 1973. A l'origine, le but de ce travail était de déterminer la quantité de certains éléments en solution susceptible de nuire à l'exploitation industrielle recherchée. L'interprétation des résultats obtenus devait donc être assez sommaire et ne prétendait qu'indiquer les périodes au cours desquelles il était nécessaire d'éliminer les composants excédentaires afin de protéger les installations et accroître la qualité de la production.

A la fin de cette étude, il a semblé opportun de poursuivre certaines mesures et de les étendre à un grand fleuve ivoirien, le Sassandra. L'utilisation de cette grande quantité de données devait permettre d'interpréter les résultats acquis en fonction des facteurs du milieu. Les prélèvements se sont donc poursuivis jusqu'en mars 1974, avec une périodicité accrue (jusqu'à 9 séries de prélèvements mensuels au lieu d'une seule) sur un des petits fleuves côtiers et sur le Sassandra.

La plupart du travail de terrain a été assuré par Monsieur J. TOILLIEZ, Hydrologue du Centre ORSTOM de Côte d'Ivoire et les analyses chimiques par Monsieur GOUZY, Chef du Laboratoire de Chimie de ce même centre.

2. LOCALISATION DE L'ÉTUDE

2.1. SITUATION

A l'origine l'étude ne concernait que trois petits fleuves côtiers (San Pedro, Nero et Brimay) situés dans la zone forestière du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Cette étude a été étendue à partir de mai 1973 aux eaux du Sassandra à la station de Gaoulou, à 15 km de l'embouchure, qui draine un bassin versant de 66 000 km² (cf. fig. 1).

Les principales caractéristiques des trois petits bassins côtiers sont reportées dans le tableau 2.1.

TABLEAU 2.1

	San Pedro	Nero	Brimay
Superficie (km ²)	3 310	985	1 070
Périmètre (km)	285	188	142
Indice de compacité	1,40	1,69	1,22
Longueur du cours (km)	112	80	65
Indice de pente (m/km)	1,7	2,1	1,7

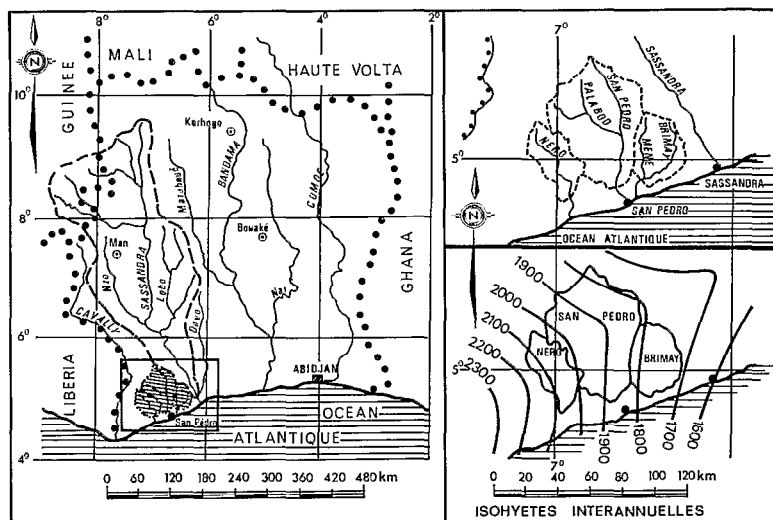


Fig. 1

2.2. CLIMAT

Le régime climatique de la région de San Pedro est du type équatorial de transition avec deux saisons des pluies séparées par deux saisons sèches de durée inégale, l'une en août et l'autre plus marquée de novembre à mars.

Le volume des précipitations annuelles est assez important et croît de l'est à l'ouest. La hauteur pluviométrique moyenne annuelle passe de 1 700 mm à l'est du bassin de la Brimay à 2 200 mm à l'ouest du bassin de la Nero (cf. fig. 1 et 3).

2.3. VÉGÉTATION

La forêt dense et humide du secteur ombrophile occupe la majorité des trois bassins. On rencontre aussi dans les bas-fonds mal drainés à hydromorphie permanente des zones de forêts marécageuses où l'accumulation de matière organique peut former une véritable tourbe (sols humides à gley). De plus, certaines zones forestières sont maintenant soumises à l'agriculture ce qui favorise l'érosion. C'est le cas sur les bassins du San Pedro et de la Brimay.

2.4 PÉDOLOGIE

L'ensemble de la région est constitué par des sols ferrallitiques fortement ou moyennement désaturés. Cependant on peut distinguer divers types de sols suivant les différents processus évolutifs déterminés par l'effet des conditions locales, modelé et roche mère (cf. fig. 2) :

— Les sols remaniés modaux issus de schistes (nord-est du bassin du San Pedro et 35% environ de celui de la Brimay) ou de granites (partie sud du San Pedro et 60% du bassin de la Brimay). Ces sols sont caractérisés par un horizon gravillonnaire recouvert d'un horizon humifère peu épais, de texture sablo-argileuse ou argilo-sableuse. Le pourcentage d'argile et limon, et la proportion des sables fins par rapport aux sables grossiers sont plus élevés dans les sols issus de schistes que dans les sols issus de granites.

— Les sols remaniés modaux avec faciès de recouvrement caractérisés par un horizon gravillonnaire et graveleux dont la matrice est argileuse, et un horizon dépourvu d'éléments grossiers à texture fine argilo-sableuse à argileuse qui recouvre l'horizon précédent. Ces sols, sur granites, constituent la partie Sud du bassin de la Nero et 7% de celui du San Pedro.

— Les sols remaniés faiblement rajeunis qui constituent la partie nord des bassins du San Pedro et de la Nero. Ils sont caractérisés par la proximité de l'horizon d'altération et sont issus de granites plus ou moins enrichis. Les horizons supérieurs sont de texture argilo-sableuse à argileuse dès la surface. Les propriétés physico-chimiques de ce type de sol, fortement désaturé, sont voisines de celles des sols remaniés modaux, car la proximité du matériau originel n'enrichit pas toujours les horizons supérieurs.

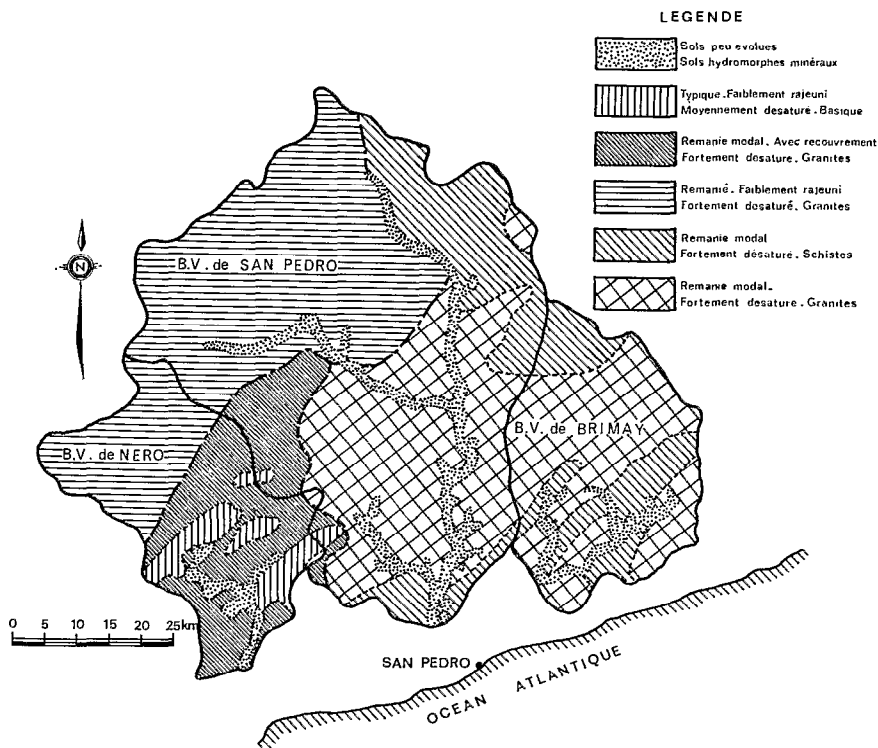


Fig. 2. — Carte pédologique

— Avec les sols remaniés modaux avec faciès de recouvrement, on trouve aussi des sols ferrallitiques typiques rajeunis, moyennement désaturés, issus de roches basiques. Ils sont localisés presque uniquement sur le bassin de la Nero. Les horizons supérieurs sont caractérisés par une texture argileuse. Ces sols contiennent peu d'éléments grossiers.

— Enfin, les derniers types de sols rencontrés dans cette région sont les sols hydromorphes peu humifères des bas fonds (sur ces trois bassins) et les sols hydromorphes organiques (Brimay surtout) des marécages inondables.

2.5. RELIEF

Le relief des trois bassins est, en général, peu accentué. Le point culminant (437 m) est situé sur la ligne de partage des eaux des bassins du San Pedro et de la Nero. La presque totalité des bassins est à une altitude inférieure à 120 mètres. La pente générale du San Pedro et de la Brimay est sensiblement la même alors que celle de la Nero est plus accentuée (cf. tableau 2.1).

2.6. CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES

Le régime hydrologique de chacun des fleuves suit fidèlement la répartition pluviométrique propre à chaque bassin. L'ensemble de la région étant soumis au régime équatorial de transition caractérisé par deux saisons des pluies avec maximum en juin, séparées par une petite saison sèche, la période de plus hautes eaux se situera donc en juin et la période d'étiage au cours de la grande saison sèche, en janvier ou février.

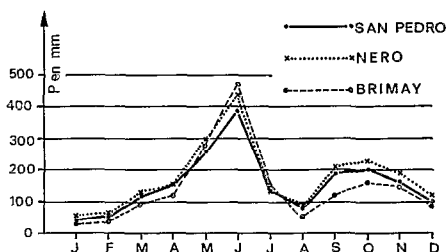


Fig. 3. — Pluviométrie moyenne mensuelle

Les caractéristiques hydrologiques sont assez semblables. Ainsi le volume total annuel écoulé par unité de surface suit, dans l'ensemble, la même loi de variation, mais décroît d'ouest en est avec la pluviométrie. Le déficit d'écoulement est, par contre, beaucoup plus constant ; les variations mensuelles d'un bassin à l'autre étant moins sensibles. En année moyenne le déficit total est pratiquement le même pour chacun des bassins ; en fait, d'après les observations, il serait légèrement décroissant d'ouest en est.

Le tableau 2.2 donne quelques caractéristiques hydrologiques pour une année moyenne.

TABLEAU 2.2

	Nero	San Pedro	Brimay
Pluviométrie annuelle (mm)	2 100	1 890	1 760
Volume total écoulé (10^6 m ³)	660	1 620	417
Lame écoulée (mm)	670	490	390
Déficit d'écoulement (mm)	1 430	1 400	1 370
Coefficient d'écoulement (%)	32	26	22

Cependant, la pluviométrie n'est pas le seul facteur conditionnel du régime des cours d'eau. D'autres facteurs secondaires interviennent pour modifier les conditions de l'écoulement. Ils représentent les caractéristiques physiques des bassins (topographie, nature des sols rencontrés, couverture végétale, forme des bassins, etc.). Ainsi le bassin de la Nero est plus favorable au ruissellement en raison de son relief plus accentué. Les réserves aquifères y sont plus importantes ce qui entraîne un étiage beaucoup plus soutenu. Sur la Brimay et le San Pedro, la décroissance de débit en l'absence de pluie est sensiblement la même, alors que sur la Nero elle est une fois et demi moins rapide.

Le coefficient α de la courbe de tarissement $Q = Q_0 e^{-\alpha t}$ est de 0,036 pour le San Pedro et la Brimay, mais seulement de 0,024 pour la Nero.

2.7. LE SASSANDRA

A la station de mesures de Gaoulou, le Sassandra draine un bassin versant de 66 000 km². De par son étendue les facteurs physiques et climatiques sont donc beaucoup plus variés que sur les trois bassins précédents.

Du nord au sud, on passe du climat tropical de transition à une seule saison des pluies au climat équatorial de transition à deux saisons des pluies ; la hauteur moyenne annuelle des précipitations variant de 1 350 mm à 1 800 mm.

Le module interannuel du Sassandra à Gaoulou est de 530 m³/s soit une lame écoulée de 253 mm et un déficit d'écoulement d'environ 1 400 mm.

Le socle est constitué en majorité de rochers granitiques avec une assez faible proportion de roches métamorphiques schisteuses. Les sols sont aussi des sols ferrallitiques, fortement désaturés à l'ouest et moyennement ou faiblement désaturés à l'est avec, par endroit, des sols bruns eutrophes tropicaux dérivés de roches basiques.

3. MATÉRIEL ET TECHNIQUES UTILISÉS

Le matériel lourd utilisé sur le terrain est identique au matériel de jaugeage. Chaque prélèvement d'échantillon d'eau est effectué à l'aide d'un hydrocapteur horizontal d'un volume de cinq litres lesté par un saumon de 25 kg. L'horizontalité de l'hydrocapteur permet de ne pas perturber l'écoulement dans la tranche d'eau prélevée et ainsi de ne pas modifier la turbidité lors de la prise d'échantillons.

Le nombre et l'emplacement des prélèvements d'eau sont les mêmes aussi bien pour les mesures de débits solides que pour celles de la qualité des eaux. Ce nombre est de neuf répartis comme suit dans la section mouillée : trois échantillons en surface, trois au fond et trois à mi-profondeur suivant trois verticales, l'une au centre du cours d'eau et les deux autres à égale distance de cette dernière et des berges.

Pour les mesures de turbidité, le volume total d'eau prélevé est de vingt litres sur toute la section à raison de deux litres par échantillon à l'exception du point central dont le volume est de quatre litres. Cette méthode permet d'obtenir une valeur moyenne des éléments en suspension transportés par les cours d'eau. Sur place, une première décantation pendant 24 heures par adjonction d'acide chlorhydrique permet de réduire, lors du transport, le volume des échantillons. Ensuite, au laboratoire ces échantillons sont floculés et décantés, et le résidu sec pesé après passage à l'étuve à 105 °C.

La méthode de prélèvement utilisée a été testée de nombreuses fois par les sédimentologues ayant travaillé sur le Bandama. Elle permettrait d'estimer correctement la moyenne des turbidités sur tout bief de cours d'eau régulier, comme le sont ceux que nous étudions ici.

Les neuf échantillons destinés à la mesure de la qualité des eaux, d'un volume de deux litres chacun, sont prélevés en même temps et aux mêmes endroits et stockés dans des petits bidons en plastique hermétiques pour être ensuite analysés au laboratoire. Les seules valeurs qui sont susceptibles d'être modifiées pendant le transport sont le pH, ainsi que les teneurs en gaz carbonique libre et en oxygène dissous, principalement cette dernière. Nous n'en avons d'ailleurs pas tenu compte par la suite étant donné l'incertitude qu'il y avait dans les teneurs déterminées au laboratoire. Par contre, la température de l'eau, ainsi que le pH étaient mesurés sur place, ce dernier à l'aide d'un pH-mètre électronique portatif d'une assez grande précision.

Le principe des méthodes utilisées au laboratoire pour les analyses chimiques est assez classique.

● Les mesures effectuées en premier, dès l'ouverture des flacons sont celles du gaz carbonique libre et des ions bicarbonates.

— CO₂ libre : neutralisation par une solution de soude N/40 en présence de tartrate double de sodium et potassium, puis dosage de l'excès de soude par potentiométrie.

— HCO_3^- : jusqu'en octobre 1973, le titrage était fait manuellement avec $\text{HCl N}/20$, au virage du méthyl orange, Ensuite c'est la méthode par potentiométrie qui a été utilisée.

● Dosage des anions.

— Cl^- : déplacement du SCN^- du thiocyanate mercurique et colorimétrie au Technicon du thiocyanate ferrique formé.

— SO_4^{--} : turbimétrie, au photomètre Jean et Constant, du Ba SO_4 maintenu en suspension à l'aide de Tween 20.

— PO_4^{---} : formation de complexe phosphomolybdique et colorimétrie au Technicon du bleu de molybdène.

● Dosage des cations.

Ca^{++} et Mg^{++} : photométrie d'absorption atomique en flamme acétylène-air comprimé.

Na^+ et K^+ : photométrie d'émission en flamme butane-air comprimé.

● Al_2O_3 et Fe_2O_3 sont déterminés par colorimétrie.

4. TRANSPORTS EN SUSPENSION

Le tableau 4.1 donne pour les trois fleuves côtiers les résultats des mesures effectuées depuis avril 1971 jusqu'en mars 1974. L'érosion qui est relativement faible en raison de la couverture forestière augmente très rapidement avec le débit. Une corrélation logarithmique entre les charges solides exprimées en g/m^3 et les débits (m^3/s) donne les relations suivantes :

$$\begin{array}{l} \text{San Pedro} \quad C_s = 12,7 Q^{0,37} \quad (n = 29 \quad r = 0,71) \\ \text{Nero} \quad C_s = 8,5 Q^{0,42} \quad (n = 32 \quad r = 0,69) \end{array}$$

où n est le nombre d'échantillons et r le coefficient de corrélation (fig. 4).

Pour la Brimay, le nombre d'échantillons est trop faible et la corrélation n'est absolument pas significative ($r = 0,25$). Quelques valeurs de plus pour les débits élevés auraient été nécessaires.

Dans le San Pedro et la Nero la charge solide augmente avec le débit suivant la même loi de variation, mais avec des valeurs une fois et demie plus fortes pour le San Pedro. Par contre, les apports par unité de surface sont deux fois plus importants dans la Nero pour un même débit.

En réalité, la relation débit-turbidité n'est pas univoque. Le volume des particules en suspension augmente très rapidement dès le début de la crue pour atteindre un maximum avant la fin de la montée des eaux ; ensuite, au cours de la décrue, la turbidité diminue très fortement. Dans ces conditions, il est assez difficile d'évaluer les charges totales transportées par les cours d'eau, même en établissant des relations débit de crue - turbidité et débit de décrue - turbidité. En effet, une crue très rapide est beaucoup plus favorable aux transports en suspension qu'une crue lente et régulière.

Grâce à la connaissance des débits moyens journaliers au cours des années étudiées on peut estimer, avec une assez bonne précision, les apports solides pendant la période d'observation. Pour cela, on considère cinq états différents du régime des fleuves :

- (1) montée de crue rapide
- (2) montée de crue lente
- (3) décrue rapide
- (4) décrue lente
- (5) palier

On trouve une assez bonne liaison entre débits solide et liquide pour ces cinq phases prises séparément. Bien qu'il subsiste une certaine dispersion, une liaison graphique peut être tentée.

On obtient donc un faisceau de cinq courbes débit solide/débit liquide. Parallèlement à l'hydrogramme qui est connu grâce aux enregistrements limnigraphiques, on peut donc construire un diagramme des variations du débit solide au cours de la période d'observation et ainsi reconstituer les apports solides journaliers, mensuels et annuels.

TABLEAU 4.1
TRANSPORTS EN SUSPENSION

	San Pedro			Nero			Brimay			
	Q	Cs	Qs	Q	Cs	Qs	Q	Cs	Qs	
1971	Avril	17,3	67,2	1 163	5,01	13,88	70			
	Mai	—	—	—	9,54	18,50	177			
	Juin	83,8	53,4	4 475	17,0	16,27	447			
	Septembre	17,4	44,2	780	12,8	15,00	192			
	Octobre	15,5	38,9	603	10,4	15,20	158			
	Novembre	45,0	98,7	4 440	9,19	27,90	256			
	Décembre	85,6	149,9	12 880	34,3	94,14	3 229			
1972	Janvier	11,5	51,2	589	4,93	22,35	110	1,29	43,74	56
	Février	10,5	27,6	289	10,2	35,00	357	2,17	25,70	58
	Mars	9,56	31,0	297	5,59	19,03	106	1,98	61,72	122
	Avril	—	—	—	3,05	17,09	52	3,70	208,98	773
	Juin	235	62,41	14 667	30,2	37,48	1 132	46,5	50,01	2 325
	Juillet	238	92,4	21 991	126	39,35	4 958	60,6	43,96	2 664
	Juillet	272	51,46	13 997	—	—	—	—	—	—
	Août	19,5	26,34	514	8,48	13,85	117	3,23	47,3	153
	Septembre	20,4	41,67	850	13,3	22,89	304	4,34	35,7	155
	Octobre	49,2	159,1	7 828	36,0	86,43	3 111	12,3	42,1	518
	Novembre	41,25	59,98	2 474	12,0	21,55	259	10,7	68,0	728
	Décembre	8,78	15,81	139	4,19	9,74	41	1,22	41,5	51
1973	Janvier	3,54	30,0	106	2,37	15,74	37	0,448	39,3	17,6
	Février	2,10	11,36	24	4,18	6,89	29	0,143	35,99	5,1
	Mars	2,94	—	—	2,06	—	—	0,266	—	—
	Avril	7,61	28,9	220	4,22	25,0	105	0,215	30,3	6,5
	Mai	7,99	15,72	126	8,14	24,6	200	0,950	30,12	29
	Juin	55,2	42,6	2 351	20,5	28,91	593	26,7	45,09	1 204
	Juillet	20,6	22,21	457	8,33	16,64	139	3,91	25,28	99
	Août	11,9	26,03	309	5,87	19,57	115	—	—	—
	Septembre	60,7	93,35	5 666	18,6	34,03	633	—	—	—
	Octobre	64,9	34,45	2 236	26,9	22,07	594	—	—	—
	Novembre	63,5	46,18	2 932	46,3	65,68	3 040	—	—	—
	Décembre	34,4	72,27	2 486	14,3	19,66	281	—	—	—
1974	Janvier	5,16	19,85	102	4,00	13,26	53	—	—	—
	Février	—	—	—	3,58	13,37	48	—	—	—
	Mars	—	—	—	1,99	19,48	39	—	—	—

Q : Débit liquide en m³/s

Cs : Charge solide en g/m³

Qs : Débit solide en g/s

Le tableau 4.2 donne, pour la période août 1971 à juin 1973, la valeur « Ts », exprimée en tonnes, de la charge totale transportée mensuellement par les trois cours d'eau ainsi que le débit moyen mensuel « Qm » en m³/s. La corrélation entre ces deux valeurs est assez étroite (cf. fig. 5).

Les relations calculées sont les suivantes :

$$\text{San Pedro : } Ts = 88,2 (Q_m - 3)^{1,14} \quad r = 0,980$$

$$\text{Nero : } Ts = 71,7 (Q_m - 2)^{1,21} \quad r = 0,960$$

$$\text{Brimay : } Ts = 125 Q_m^{1,16} \quad r = 0,996$$

Le débit limite pour lequel Ts devient nul correspond approximativement au débit minimal d'étiage ; celui de la Brimay étant proche de zéro.

TABLEAU 4.2

		San Pedro		Nero		Brimay	
		Ts	Qm	Ts	Qm	Ts	Qm
1971	Août	2 500	29,3	1 350	11,3		
	Septembre	5 000	46,7	2 000	19,2		
	Octobre	2 000	28,1	850	11,9		
	Novembre	6 500	52,8	2 300	18,8		
	Décembre	9 000	44,4	2 000	15,4		
1972	Janvier	1 000	10,9	550	6,31		
	Février	500	7,85	400	7,69		
	Mars	800	9,86	550	9,49		
	Avril	700	9,24	200	5,58		
	Mai	7 000	42,9	2 600	21,7		
	Juin	30 000	147	12 500	66,5		
	Juillet	25 000	148	5 700	38,4	8 400	39,7
	Août	3 600	35,0	1 200	14,5	950	5,70
	Septembre	3 400	22,6	1 100	12,6	400	2,97
	Octobre	6 750	33,2	1 900	15,2	850	6,12
	Novembre	9 250	55,0	1 700	15,1	2 450	12,7
	Décembre	2 300	17,6	1 100	9,57	550	2,95
1973	Janvier	700	6,89	300	3,54	200	1,36
	Février	400	7,46	400	6,31	100	0,826
	Mars	500	8,03	500	7,46	100	0,717
	Avril	1 000	12,1	250	5,51	50	0,589
	Mai	2 100	20,6	350	6,36	500	3,23
	Juin	19 000	101	6 300	37,1	9 950	44,5
	Juillet	5 000	39,8	1 900	15,0	900	5,2
Total août 71 à juillet 72		90 000	48,1	31 000	19,4	—	
Total août 72 à juillet 73		54 000	29,9	17 000	12,4	17 000	7,24

Ts : Transport solide en tonnes

Qm : Débit moyen mensuel et annuel en m³/s

Les résultats obtenus montrent qu'au cours de la période d'observation, la masse d'éléments transportés annuellement par unité de surface est pratiquement identique pour les trois bassins et est directement proportionnelle au volume d'eau écoulé ; cette proportion étant cependant différente pour chaque cours d'eau.

Ceci provient d'une part des terrains rencontrés et d'autre part de la forme des hydrogrammes de crue.

Le bassin de la Brimay est plus sensible à l'érosion pluviale que celui de la Nero, mais les crues y sont en général beaucoup plus « molles » avec des débits de pointe relativement moins importants — à l'exception des très fortes crues comme la crue annuelle — et des temps de base plus longs. La croissance des transports solides avec le débit est plus lente et la « décrue solide » beaucoup plus soutenue. De même, en raison de la plus grande superficie de son bassin, les crues du San Pedro sont beaucoup moins rapides et les charges solides proportionnellement moins élevées.

Nous avons vu que le rapport de la charge totale, transportée annuellement au volume écoulé est constant pour chacun des bassins. Celui-ci diminue, de l'ouest vers l'est ; l'érosion est donc plus difficile sur les sols typiques mais aussi sur les sols avec faciès de recouvrement. L'effet de l'appart pluviométrique joue dans le même sens.

En moyenne, le tonnage annuel transporté par chacun des cours d'eau est d'une trentaine de tonnes par km², celui-ci pouvant atteindre 50 t/km² au cours d'une année très pluvieuse de fréquence décennale et tomber à 16 t/km² en année sèche de même fréquence.

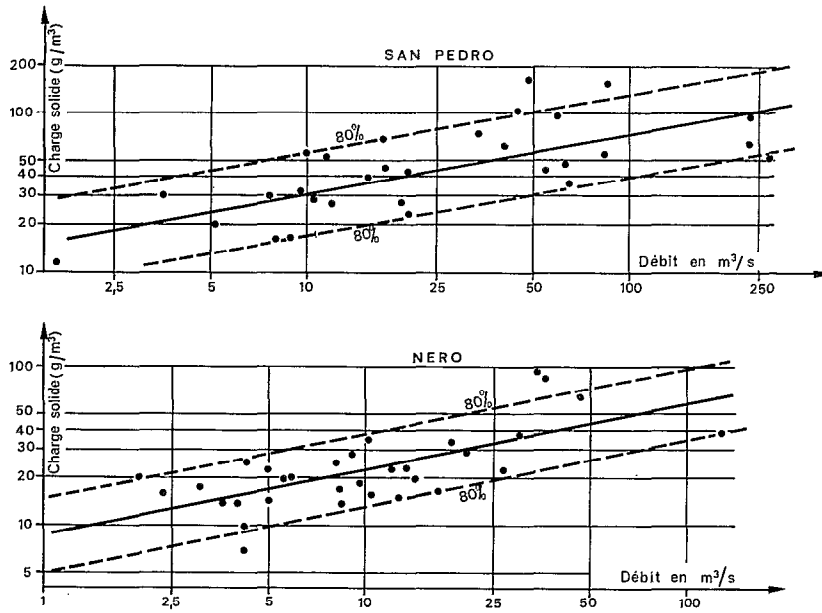


Fig. 4. — Variation de la charge solide avec le débit

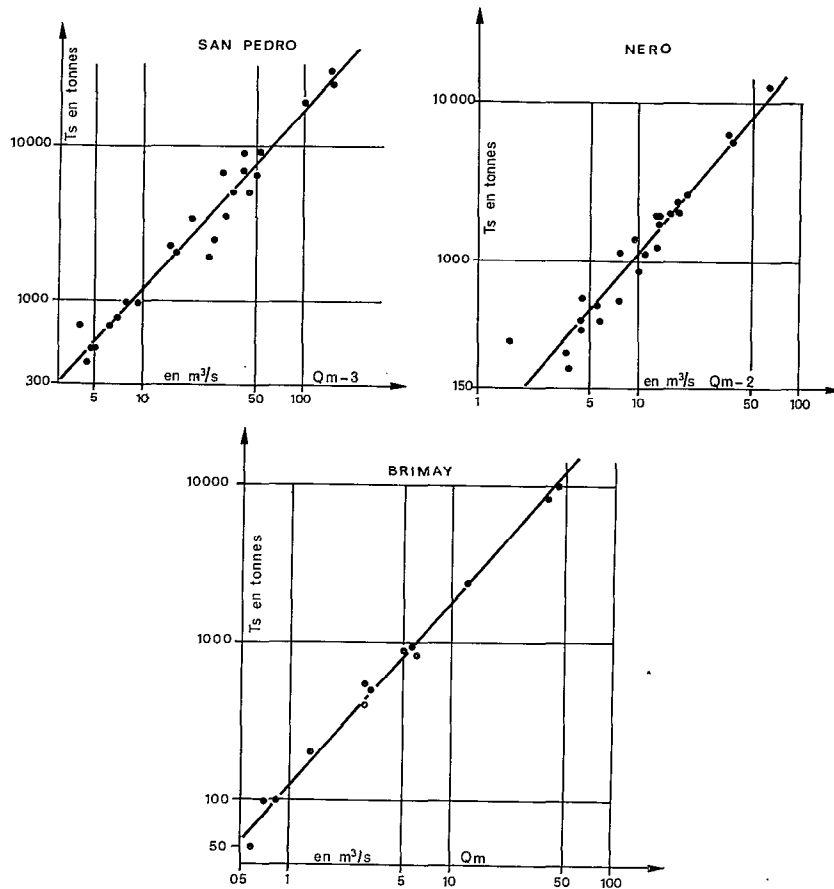


Fig. 5. — Variation de la charge solide transportée mensuellement avec le débit moyen mensuel

5. QUALITÉ DES EAUX

5.1. RÉSULTATS

Les résultats de toutes ces analyses sont présentés dans les tableaux 5.1 à 5.14 ; la première série donnant les teneurs des différents anions (CO_3H^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) et cations (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) en milligrammes par litre et en milliequivalents par litre et la deuxième série le pH et le débit liquide au moment des prélèvements ainsi que les teneurs en gaz carbonique libre, en silice dissoute, oxyde de fer, et alumine. Chaque valeur représente la moyenne des neuf prélèvements effectués. A l'exception du CO_2 libre, les écarts pour une même série de prélèvements sont toujours très faibles entre les 9 concentrations de chacun des éléments, hormis certaines valeurs qui, visiblement erronées, ont été éliminées. Les plus fortes dispersions s'observent surtout dans la détermination des teneurs en Fe_2O_3 et Al_2O_3 . Mais dans l'ensemble, les résultats sont assez homogènes.

La température de l'eau étant relativement constante — elle varie de 25 °C en juillet à 29 °C en mars-avril — n'a pas été reportée sur ces tableaux.

La détermination des sulfates et des phosphates a été abandonnée à partir de juin 1972 car la présence et la concentration de ces ions dans des eaux de surface n'avaient que peu d'importance dans l'étude demandée à l'origine.

5.2. INTERPRÉTATION

L'eau en ruisselant sur le bassin, ou en s'infiltrant pour alimenter la nappe avant d'être restituée dans le réseau est en contact avec les différents types de sols et de sous-sols et sert donc de véhicule à des éléments dont la nature et la quantité dépendent d'une part des conditions naturelles, versant drainé (climat, saison, géologie, pédologie, végétation, relief...) et d'autre part du régime du cours d'eau.

Nous avons vu que les conditions naturelles du milieu sont assez semblables pour les trois bassins côtiers à l'exception de la pluviométrie, facteur déterminant des apports annuels, qui décroît d'ouest en est. Il ne faut donc pas chercher l'explication des différentes teneurs en éléments des eaux des trois petits fleuves uniquement dans la constitution des terrains rencontrés mais aussi dans les modes d'écoulement. En effet, les sols de ces trois bassins ont des propriétés physico-chimiques très voisines à l'exception des sols typiques moyennement désaturés sur roches basiques qui n'intéressent qu'une faible partie du bassin de la Nero (15%). Une étude pédologique des sols de cette région a montré, après analyse des différents constituants, que les teneurs en éléments sont plus fortes dans les sols remaniés modaux issus de granites que dans les mêmes types de sols issus de schistes. De même les sols remaniés modaux avec faciès de recouvrement, tels que l'on en rencontre sur la plus grande partie de la Nero, présentent les teneurs les plus faibles en éléments, ce qui expliquerait, en partie, les concentrations inférieures observées dans les eaux de la Nero.

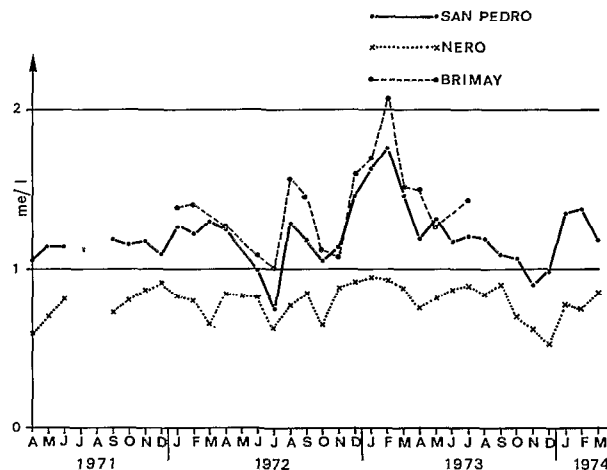


Fig. 6. — Concentrations mensuelles en anions et en cations

D'une manière générale les apports en cations métalliques sont assez peu importants dans les eaux de surface de cette région. Ceci provient du fait que les sols drainés sont des sols ferrallitiques fortement désaturés pour lesquels la capacité d'échange ainsi que le taux de saturation (rapport des cations échangeables à la capacité totale d'échange) sont extrêmement faibles. Le cation prépondérant est le sodium dont la concentration atteint 9 mg/l dans la Brimay au cours de la saison sèche alors qu'elle n'est que de 4 mg/l dans la Nero à la même époque. Ceci est caractéristique des terrains acides sur roches cristallines où les ions Na prédominent. Les apports de beaucoup les plus importants sont les apports en ions bicarbonates qui proviennent de la migration des carbonates sous forme de bicarbonates solubles (cette dissolution des carbonates peut d'ailleurs augmenter avec l'activité biologique libérant CO_2) et en silice soluble que l'on rencontre en très grande quantité dans les sols issus de granites et de schistes. Ces eaux ont donc le faciès bicarbonaté sodique.

Ces eaux sont légèrement acides, leur pH varie entre 5,5 et 7,2, les plus fortes valeurs étant observées au cours de la période d'étiage. Ceci en raison de la constitution différente des terrains drainés. En effet, en saison sèche, le niveau piézométrique est assez bas, la nappe draine donc alors la partie confinée dans laquelle les sols sont riches en alcalins et alcalino-terreux (montmorillonite). En saison des pluies, le niveau piézométrique remonte, c'est alors dans la partie lessivée, plus acide et moins riche en alcalino-terreux (kaolinite) qu'a lieu l'écoulement des eaux vers l'exutoire.

Le résultat des analyses montre que la concentration en éléments dissous dans les eaux de surface de ces trois fleuves suit à peu près la même loi de variation dans le temps (maximum en étiage et minimum en saison des pluies), mais avec des apports sensiblement plus faibles dans la Nero. La somme des concentrations en anions et en cations $r(\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{++} + \text{Na}^+)$ représentée sur la figure 6 donne l'allure de cette variation. Le maximum est atteint en général au cours des mois de janvier, février ou mars, et le minimum au cours des deux saisons des pluies. Les teneurs sont approximativement les mêmes dans le San Pedro et la Brimay, bien que légèrement supérieures dans les eaux de celle-ci, mais beaucoup plus basses dans la Nero où les écarts entre les valeurs extrêmes sont moins importants. La concentration de ces ions, et notamment de HCO_3^- , donne une indication du temps de contact de l'eau avec le sol. En saison des pluies, la plus grande partie des apports liquides provient du ruissellement de surface ainsi que de l'écoulement dans les horizons supérieurs du sol. En saison sèche, la nappe restitue les eaux souterraines beaucoup plus anciennes qui se sont infiltrées dans les différentes couches de terrain jusqu'à la zone imperméable. Dans la Nero, les apports proviennent essentiellement des eaux souterraines, ce qui explique les faibles écarts observés au cours d'une année entre les différents teneurs. En effet, au cours d'une crue, les éléments dissous sont apportés d'une part par les eaux de ruissellement et d'autre part par les eaux souterraines (écoulement de base). Or le temps de réponse des crues de ce cours d'eau est très court et par suite le contact des eaux de ruissellement avec le sol est assez bref, elles seront donc très peu chargées en éléments dissous. Dans les deux autres fleuves, les temps de base sont plus longs, notamment en décrue, et le ruissellement retardé plus important, le contact sol-eau de pluie est donc meilleur et les apports plus riches. Les faibles teneurs des eaux de la Nero en saison sèche sont relativement dues aux propriétés chimiques des sols et sous-sols de ce bassin.

Le régime des cours d'eau joue un rôle prépondérant dans les apports en éléments dissous. Si le débit n'est pas le seul facteur conditionnel, il en est le principal, la variation des concentrations dans le temps étant en étroite corrélation avec lui. Au début de la crue les teneurs de la plupart des éléments dissous diminuent très rapidement pour atteindre un minimum à la fin de la montée des eaux ou très peu de temps après. Puis pendant la décrue ces teneurs augmentent. La décroissance pendant la montée de la crue est d'autant plus rapide que celle-ci est plus accentuée, ceci en raison d'une part de la dilution et d'autre part du temps de contact plus rapide entre l'eau de pluie et les sols du bassin. On a souvent observé un retard entre le début de cette décroissance et le début de la crue. Ce retard augmente avec la superficie du bassin et diminue avec la rapidité et l'ampleur de la crue. C'est ce phénomène qui est sûrement la cause de la non-univocité des courbes $C = f(Q)$ où C est la concentration et Q le débit. Pour le mettre en évidence, il serait nécessaire d'effectuer plusieurs prélèvements au cours d'une même crue, ce qui n'a jamais été fait sur les trois petits fleuves. Par contre, sur le Sassandra, les crues s'étalent sur plusieurs jours et ce phénomène est plus facile à observer. Bien que la périodicité des prélèvements soit encore trop grande, on peut voir, sur la figure 7, que le temps de retard cité ci-dessus peut être de deux à trois jours. A l'échelle de la journée, ce retard ne peut être décelé sur le San Pedro ainsi que le montre le graphe de la figure 8 qui donne, comme pour le Sassandra, les variations des différents teneurs en éléments dissous, de septembre 1973 à mars 1974 en regard du débit.

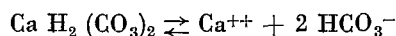
L'élément le plus représentatif est l'ion bicarbonate HCO_3^- . Il provient principalement de la dissolution des calcaires dans l'aquifère. Le carbonate de calcium est dissocié suivant la réaction :



Si l'eau contient du CO_2 , les quantités de $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ qui peuvent être dissoutes augmentent avec la concentration en acide carbonique en donnant des bicarbonates de calcium qui sont très solubles.



lui-même en équilibre ionique



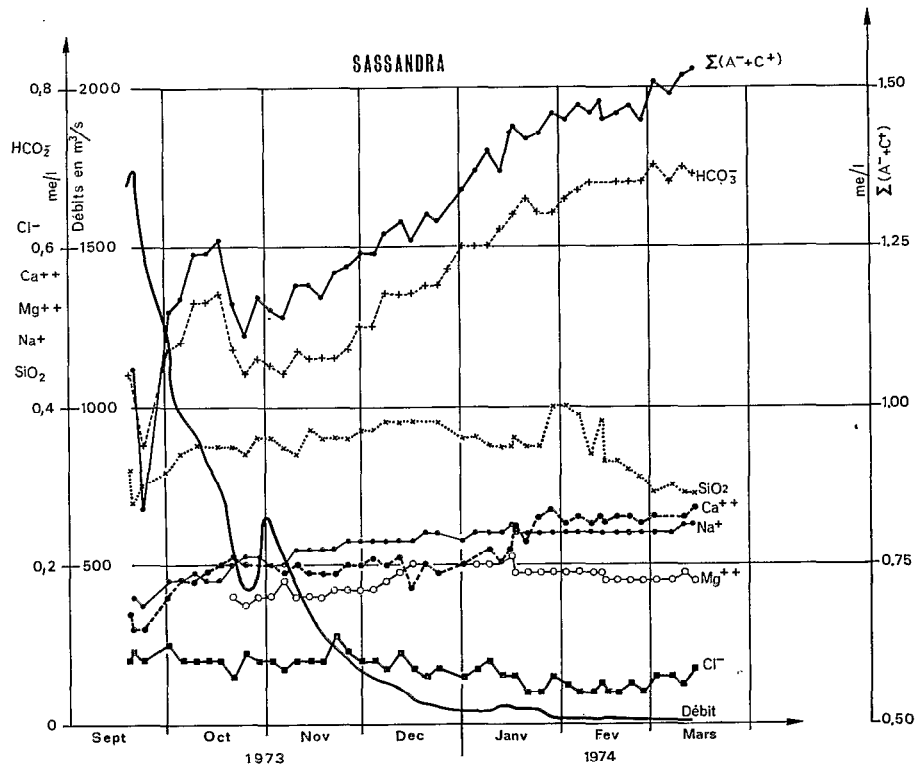


Fig. 7

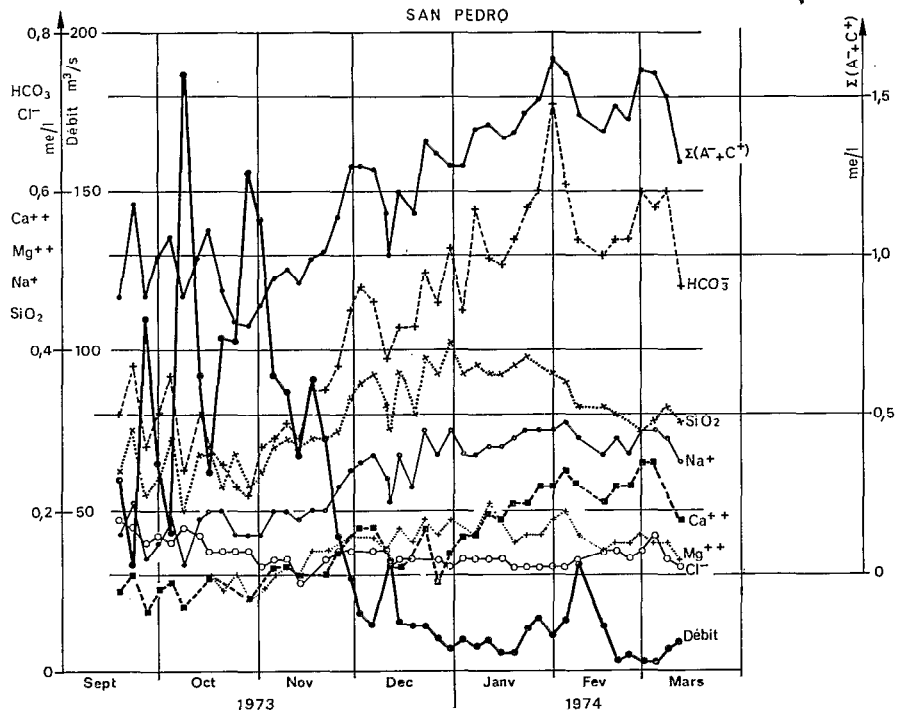


Fig. 8

Par suite de la légère acidité des eaux de surface de cette région, la teneur en ions CO_3^{--} est extrêmement faible et leur présence est pratiquement indécélable. Il faudrait que le pH soit supérieur à 8 pour que la quantité de CO_3^{--} ne soit plus négligeable devant la quantité de HCO_3^- .

On constate sur les figures 7 et 8 que la concentration de certains éléments est une fonction inverse du débit. C'est le cas en particulier pour l'ion HCO_3^- et à un moindre degré pour les ions Na^+ et Ca^{++} ; c'est aussi le cas pour la somme des anions et des cations. Cependant nous avons vu que la loi $C = f(Q)$ n'est pas univoque et que la chute des concentrations lors de la montée de la crue dépend de la rapidité et de l'ampleur de celle-ci. Ce phénomène est d'autant plus prononcé que le bassin est plus petit. Malgré cela on a cherché quel était le type de relation qui pouvait le mieux s'adapter à cette distribution. Après plusieurs essais il est apparu que la courbe la plus représentative était de la forme :

$$C = K q^n$$

où : C est la concentration en me/l
 q est le débit spécifique au moment du prélèvement en l/s.km²
 k représente l'échelle du phénomène
 n donne la rapidité de la dilution ou de la concentration.

Le diagramme de la figure 9 donne pour le Sassandra la distribution des points représentatifs du couple C-q où C est la somme des teneurs en anions et en cations en milliéquivalents par litre (me/l). La corrélation entre ces différentes valeurs semble assez étroite, excepté pour six de ces points qui s'écartent nettement de la courbe moyenne. Il s'agit de prélèvements effectués du 1^{er} au 17 octobre 1973. Ceci peut provenir soit d'une erreur systématique dans la détermination de HCO_3^- lors des analyses qui ont toutes été faites le même jour, soit d'un apport particulièrement important d'un des affluents de ce fleuve. En éliminant ces six valeurs, la loi de distribution pour 43 échantillons est :

$$C_1 = 1,32 q^{-0,074}$$

le coefficient de corrélation « r » est de 0,96 et la moyenne des valeurs absolues des écarts de 0,007 me/l.

Pour le San Pedro la relation trouvée est :

$$C_1 = 1,58 q^{-0,153} \text{ (cf. fig. 10)}$$

La même loi appliquée aux ions HCO_3^- et Ca^{++} donne des coefficients de corrélation légèrement plus faibles.

HCO_3^-	{	Sassandra	$C_2 = 0,58$	$q^{-0,094}$	$r = 0,90$
		San Pedro	$C_2 = 0,61$	$q^{-0,197}$	$r = 0,86$
Ca^{++}	{	Sassandra	$C_3 = 0,22$	$q^{-0,096}$	$r = 0,83$
		San Pedro	$C_3 = 0,23$	$q^{-0,223}$	$r = 0,85$

Par contre la variation de la teneur en sodium avec le débit est beaucoup moins sensible. La corrélation est plus lâche sauf pour le Sassandra où $r = 0,86$ ($C_4 = 0,23 q^{-0,066}$).

Pour améliorer cette corrélation on peut introduire un terme correctif faisant intervenir la période de l'année donc la hauteur de la nappe. Mais le gain en précision n'est guère appréciable. Un facteur secondaire plus représentatif serait celui qui rendrait compte de la forme de l'hydrogramme au moment du prélèvement.

Le nombre d'échantillons d'eau prélevés sur la Brimay est trop faible, surtout en moyenne et hautes eaux, pour que la relation calculée entre les teneurs et les débits soit significative. On trouve cependant un coefficient de corrélation de 0,74. Ce qui prouve que le débit joue un rôle prépondérant dans la variation des concentrations.

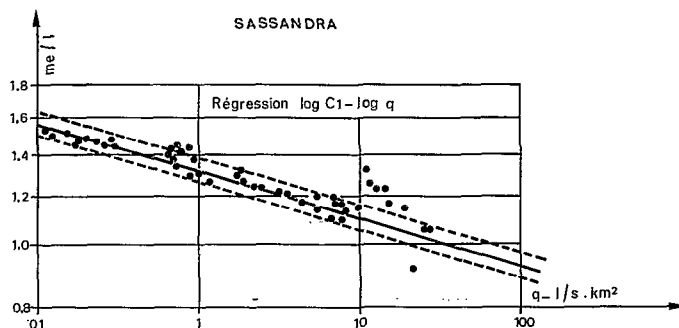


Fig. 9

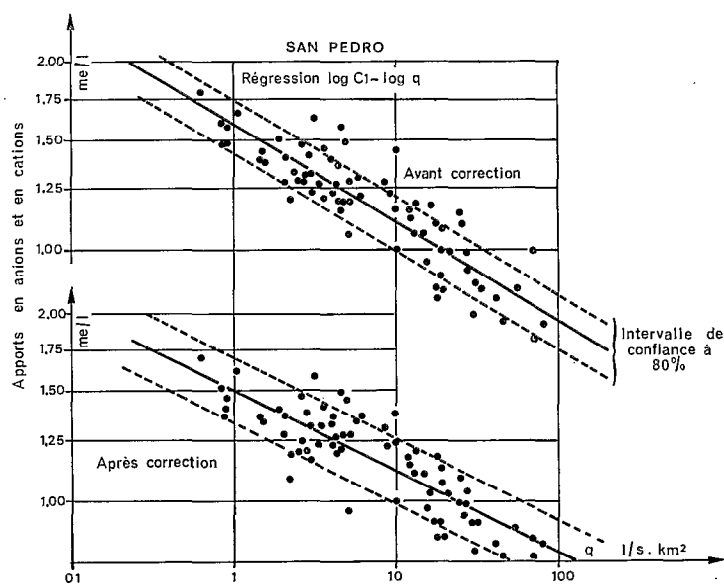


Fig. 10

Dans la Nero, ces teneurs varient assez peu au cours de l'année et dépendent beaucoup plus du débit de base — restitution des eaux de la nappe — que du débit ruisselé qui, proportionnellement à la superficie, est le plus important des trois bassins. Ceci explique la corrélation extrêmement lâche qui lie les concentrations et les débits dans ce bassin.

Le tableau 5.2 donne un aperçu des différentes relations $C = K q^n$ existant entre le débit spécifique et la concentration. N est le nombre d'échantillons et r le coefficient de corrélation ; $(A + C)$ étant la somme des anions et des cations. Toutes les concentrations sont exprimées en me/l.

TABLEAU 5.2
RELATIONS $C = K q^n$

Elément	Fleuve	K	n	N	r
(A + C)	Sassandra	1,32	- 0,074	43	0,96
	San Pedro	1,58	- 0,153	72	0,89
	Nero	0,87	- 0,035	33	0,23
	Brimay	1,46	- 0,085	18	0,74
HCO_3^-	Sassandra	0,58	- 0,094	49	0,90
	San Pedro		- 0,112	43	0,96
	Nero	0,61	- 0,197	73	0,86
	Brimay	0,33	- 0,072	33	0,34
Ca^{++}	Brimay	0,41	- 0,109	18	0,72
	Sassandra	0,22	- 0,096	49	0,83
	San Pedro	0,23	- 0,223	73	0,85
	Nero	0,12	- 0,127	34	0,63
Na^{++}	Brimay	0,14	- 0,083	18	0,52
	Sassandra	0,23	- 0,066	49	0,86
	San Pedro	0,29	- 0,116	73	0,50
	Nero	0,18	- 0,087	34	0,46
Mg^{++}	Brimay	0,29	- 0,073	18	0,52
	San Pedro	0,21	- 0,113	65	0,55
	Brimay	0,28	- 0,105	18	0,78

La plupart des prélèvements ont été effectués en basses eaux. Pour le Sassandra et la Brimay, la valeur moyenne des échantillons de débit représente 1/5 du débit moyen annuel et 1/2 pour le San Pedro et la Nero. Les relations $C = f(Q)$ sont donc caractéristiques des apports en basses et moyennes eaux beaucoup plus qu'en hautes eaux.

Pour améliorer ces corrélations, un essai a été effectué sur les prélèvements du San Pedro pour la totalité des anions et des cations. Le facteur correctif est l'écart résiduel entre la courbe $C = 1,58 q^{-0,153}$ et le point expérimental à une période donnée de l'année. Pour simplifier les calculs, les prélèvements ont été groupés par mois. Le résultat n'est pas très satisfaisant (cf. fig. 10) ; le coefficient de corrélation calculé est de 0,85 au lieu de 0,89 et la relation devient :

$$C = 1,51 q^{-0,128}$$

Chaque point expérimental est multiplié par le facteur $D = 10^{-\frac{T}{100}}$

où

$$T = N \quad \text{si } N \leq 6$$

$$T = N-12 \quad \text{si } N > 6$$

N désignant le numéro du mois au cours duquel est fait le prélèvement.

Cette correction n'affecte surtout que les forts débits de la saison des pluies.

Dans les sols issus de granite, le départ de beaucoup le plus important est celui de la silice, ce qui explique que les apports en SiO_2 soient relativement forts. Mais celle-ci ne peut se maintenir en solution dans les eaux qu'en quantité limitée (40 mg/l au maximum), cette quantité étant d'ailleurs fonction du pH. La solubilité de la silice est minimum pour un pH de 3 et croît très rapidement avec celui-ci au-dessus du pH 4,5. Les variations de la teneur

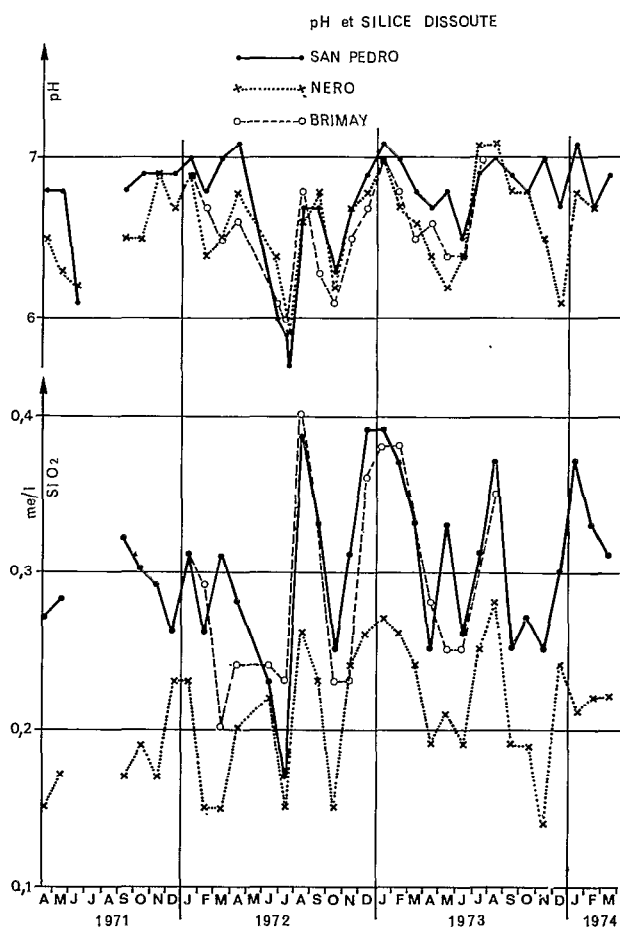


Fig. 11

en silice suivront donc assez fidèlement les courbes de variation du pH (cf. fig. 11). Dans les eaux du Sassandra où le pH est assez constant — de 6,7 à 7,6 — les teneurs en SiO_2 sont très stables en saisons des pluies et diminuent assez sensiblement avec le débit en saison sèche pour augmenter de nouveau au début de la saison des pluies. En climat équatorial humide, l'altération de la roche est très rapide et entraîne la ferrallitisation des sols. Les silicates subissent une hydrolyse totale libérant la silice qui a tendance à se dissoudre pour être entraînée par les eaux de drainage.

Au cours de ce processus d'altération, il y a aussi libération des sesquioxydes Fe_2O_3 et Al_2O_3 qui s'accumulent en surface par migration ascendante, celle-ci étant favorisée par l'évaporation superficielle. On peut donc s'attendre à une diminution des concentrations pendant la saison sèche lorsque le niveau de la nappe s'abaisse. Cette réduction est particulièrement sensible dans les eaux du Sassandra où les teneurs en Fe_2O_3 diminuent très fortement de septembre à mars passant de 2 ou 3 mg/l à 0,1 mg/l, mais beaucoup moins sensible dans les autres fleuves où se superpose un phénomène de concentration (cf. fig. 12).

La série des graphiques des figures 13 à 18 donne la variation des teneurs mensuelles des anions et des cations au cours de la période d'observation, avril 1971 à mars 1973, pour les trois bassins côtiers.

Dans le San Pedro et la Brimay, les apports sont sensiblement les mêmes. Les teneurs en Cl et en Na sont cependant légèrement plus fortes dans les eaux de celle-ci. Cette différence est difficilement explicable, les terrains étant à peu près identiques. Il est possible que les zones marécageuses ainsi que la présence d'une nappe salée dans le sud du bassin de la Brimay soient responsables de cette plus forte concentration en chlorure de sodium. Le fer étant plus abondant dans les eaux de la Brimay, on peut penser que les terrains de ce bassin sont plus riches en micaschistes qui augmentent les teneurs en sodium et en fer.

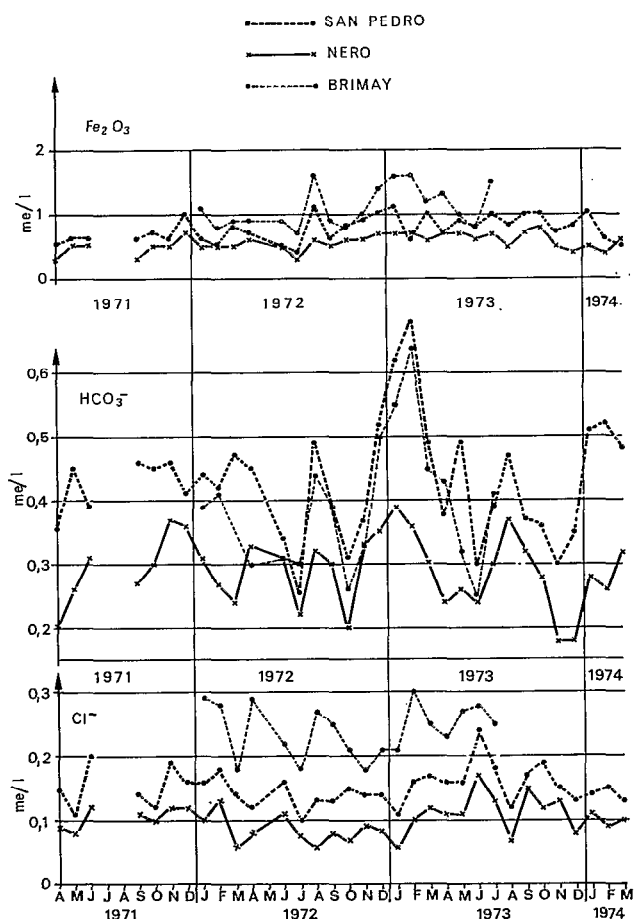


Fig. 12, 13 et 14

Dans la Nero, les concentrations sont toujours plus faibles et ceci pour plusieurs raisons qui ont déjà été citées plus haut :

- Capacité d'échange et taux de saturation en général plus faible dans les sols avec faciès de recouvrement.
- Temps de contact sol-eaux pluviales plus court.
- Dilution plus importante (forte pluviosité).

De plus si la roche mère est identique dans toute la région, les migmatites de la Nero sont plus riches en hypersthènes, alors que plus à l'est, elles sont très riches en micas ce qui assure ainsi une plus grande surface de contact eau-roche.

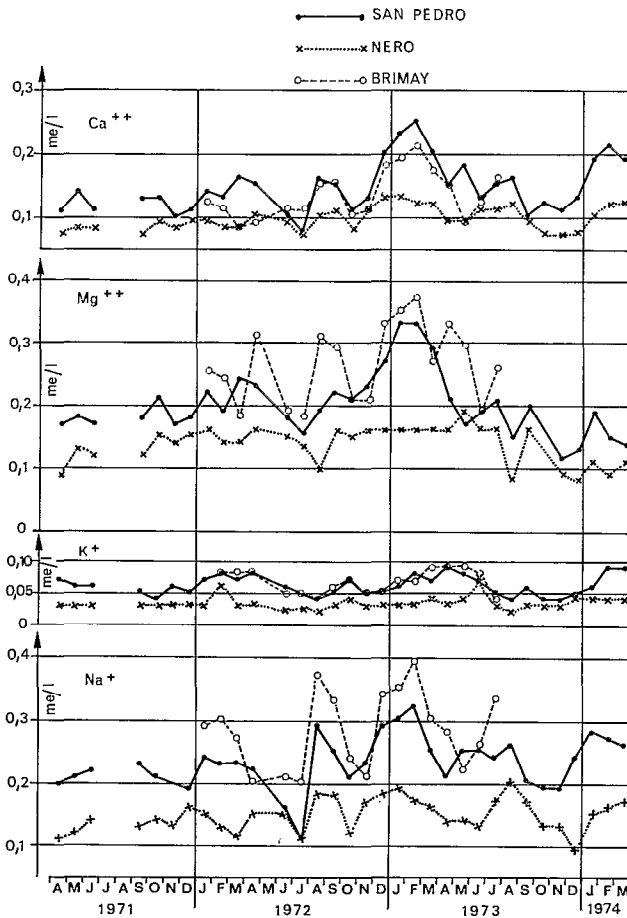


Fig. 15, 16, 17 et 18

TABLEAU 5.1
RIVIÈRE : SAN PEDRO

Date	Anions								Cations							
	CO ₃ H ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻⁻		PO ₄ ⁻⁻⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺		Na ⁺	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1971																
7 avril	21,7	0,36	5,50	0,15	9,0	0,19	0,01	0,00	2,20	0,11	2,00	0,17	2,55	0,07	4,70	0,20
8 mai	27,2	0,45	4,00	0,11	4,0	0,08	0,05	0,00	2,78	0,14	2,10	0,18	2,35	0,06	4,75	0,21
10 juin	23,9	0,39	7,00	0,20	5,0	0,10	0,10	0,00	2,20	0,11	2,00	0,17	2,23	0,06	4,95	0,22
16 septembre	28,0	0,46	5,00	0,14	3,5	0,07	0,10	0,00	2,55	0,13	2,10	0,18	2,00	0,05	5,40	0,23
13 octobre	27,5	0,45	4,25	0,12	2,7	0,06	0,15	0,00	2,62	0,13	2,50	0,21	1,72	0,04	4,80	0,21
23 novembre	28,1	0,46	6,65	0,19	2,3	0,05	0,60	0,02	2,05	0,10	2,00	0,17	2,30	0,06	4,60	0,20
14 décembre	24,9	0,41	5,75	0,16	2,2	0,05	0,20	0,01	2,15	0,11	2,15	0,18	2,10	0,05	4,30	0,19
1972																
19 janvier	26,8	0,44	5,80	0,16	11,0	0,23	0,05	0,00	2,88	0,14	2,65	0,22	2,80	0,07	5,60	0,24
16 février	25,6	0,42	6,50	0,18	10,2	0,21	0,05	0,00	2,67	0,13	2,30	0,19	3,20	0,08	5,25	0,23
16 mars	28,6	0,47	5,00	0,14	6,1	0,13	0,10	0,00	3,13	0,16	2,90	0,24	2,75	0,07	5,37	0,23
20 avril	27,7	0,45	4,25	0,12	5,0	0,10	0,25	0,01	2,91	0,15	2,80	0,23	2,98	0,08	5,00	0,22
28 juin	20,6	0,34	5,60	0,16					1,90	0,10	2,15	0,18	2,29	0,06	3,59	0,16
18 juillet	13,8	0,23	3,80	0,11					1,40	0,07	1,90	0,16	2,25	0,06	2,38	0,10
20 juillet	16,9	0,28	3,20	0,09					1,53	0,08	1,80	0,15	2,00	0,05	2,66	0,12
17 août	29,9	0,49	4,75	0,13					3,20	0,16	2,25	0,19	1,43	0,04	6,69	0,29
12 septembre	23,8	0,39	4,75	0,13					2,95	0,15	2,60	0,22	1,95	0,05	5,68	0,25
17 octobre	19,0	0,31	5,42	0,15					2,15	0,11	2,50	0,21	2,75	0,07	4,90	0,21
14 novembre	22,6	0,37	5,09	0,14					2,66	0,13	2,77	0,23	1,79	0,05	5,40	0,23
19 décembre	32,0	0,52	5,00	0,14					4,05	0,20	3,20	0,27	2,02	0,05	6,70	0,29
1973																
17 janvier	37,9	0,62	4,00	0,11					4,58	0,23	3,90	0,33	2,38	0,06	7,00	0,30
13 février	41,3	0,68	5,75	0,16					4,90	0,25	4,00	0,33	3,05	0,08	7,40	0,32
13 mars	29,9	0,49	6,10	0,17					3,97	0,20	3,47	0,29	2,92	0,07	5,85	0,25
17 avril	23,2	0,38	5,75	0,16					2,90	0,15	2,50	0,21	3,60	0,09	4,80	0,21
15 mai	30,0	0,49	5,70	0,16					3,60	0,18	2,00	0,17	2,98	0,08	5,78	0,25
14 juin	18,3	0,30	8,60	0,24					2,50	0,13	2,30	0,19	2,60	0,07	5,70	0,25
17 juillet	24,0	0,39	6,50	0,18					3,05	0,15	2,50	0,21	1,80	0,05	5,55	0,24
21 août	28,7	0,47	4,25	0,12					3,10	0,16	1,80	0,15	1,60	0,04	6,00	0,26

TABLEAU 5.2
 RIVIÈRE : SAN PEDRO

Date	Anions								Cations							
	CO_3H^-		Cl^-		SO_4^{--}		PO_4^{---}		Ca^{++}		Mg^{++}		K^+		Na^+	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1973																
18 septembre	22,7	0,37	6,20	0,17					1,95	0,10	2,40	0,20	2,40	0,06	4,60	0,20
18 septembre	19,5	0,32	6,76	0,19					1,90	0,10	(0,35)	(0,03)	2,40	0,06	4,00	0,17
22 septembre	22,9	0,38	6,25	0,18					2,40	0,12	(0,40)	(0,03)	1,80	0,05	4,80	0,21
26 septembre	17,1	0,28	5,75	0,16					1,40	0,07	(0,25)	(0,02)	2,00	0,05	3,20	0,14
30 septembre	19,5	0,32	6,00	0,17					1,90	0,10	(0,35)	(0,03)	2,60	0,07	3,60	0,16
4 octobre	22,4	0,37	5,75	0,16					2,20	0,11	(0,40)	(0,03)	1,80	0,05	4,40	0,19
8 octobre	15,1	0,25	6,25	0,18					1,60	0,08	(0,35)	(0,03)	2,50	0,06	3,00	0,13
13 octobre	19,5	0,32	6,00	0,17					1,90	0,10	(0,35)	(0,03)	1,90	0,05	4,30	0,19
16 octobre	22,1	0,36	6,70	0,19					2,30	0,12	(0,45)	(0,04)	1,70	0,04	4,40	0,19
16 octobre	17,1	0,28	5,25	0,15					2,40	0,12	1,50	0,12	2,00	0,05	4,60	0,20
28 octobre	13,4	0,22	5,25	0,15					1,85	0,09	1,20	0,10	1,85	0,05	4,00	0,17
20 octobre	15,9	0,26	5,50	0,15					2,20	0,11	1,40	0,12	2,00	0,05	4,50	0,20
24 octobre	13,9	0,23	5,50	0,15					2,00	0,10	1,15	0,09	2,05	0,05	3,80	0,17
1 novembre	17,1	0,28	4,75	0,13					2,20	0,11	1,25	0,10	1,80	0,05	3,90	0,17
5 novembre	17,8	0,29	5,00	0,14					2,60	0,13	1,50	0,12	1,80	0,05	4,50	0,20
9 novembre	18,8	0,31	5,00	0,14					2,60	0,13	1,55	0,13	1,80	0,05	4,65	0,20
13 novembre	17,1	0,28	4,00	0,11					2,40	0,12	1,50	0,12	1,70	0,04	4,45	0,19
13 novembre	18,4	0,30	5,25	0,15					2,16	0,11	1,47	0,12	1,73	0,04	4,40	0,19
17 novembre	21,2	0,35	4,25	0,12					2,42	0,12	1,79	0,15	1,80	0,05	4,60	0,20
21 novembre	21,2	0,35	5,00	0,14					2,42	0,12	1,79	0,15	1,80	0,05	4,70	0,20
25 novembre	23,4	0,38	5,25	0,15					2,99	0,15	1,89	0,16	1,80	0,05	5,20	0,23
29 novembre	27,6	0,45	5,25	0,15					3,36	0,17	2,10	0,17	1,80	0,05	5,80	0,25
2 décembre	29,3	0,48	5,25	0,15					3,52	0,18	2,10	0,17	1,70	0,04	6,00	0,26
6 décembre	28,1	0,46	5,25	0,15					3,52	0,18	2,10	0,17	1,70	0,04	6,20	0,27
10 décembre	23,7	0,39	5,25	0,15					3,05	0,15	1,73	0,14	2,30	0,06	5,50	0,24
11 décembre	21,5	0,35	4,75	0,13					2,50	0,13	1,63	0,13	2,15	0,05	4,80	0,21
14 décembre	26,1	0,43	5,00	0,14					2,63	0,13	2,20	0,18	1,95	0,05	6,20	0,27
18 décembre	26,5	0,43	5,00	0,14					2,73	0,14	2,00	0,16	1,00	0,03	5,40	0,23
22 décembre	30,5	0,50	5,00	0,14					3,52	0,18	2,31	0,19	2,00	0,05	6,80	0,30
26 décembre	27,8	0,46	5,00	0,14					2,15	0,11	2,10	0,17	2,65	0,07	6,20	0,27
30 décembre	32,2	0,53	4,75	0,13					2,99	0,15	2,31	0,19	2,00	0,05	6,90	0,30

TABLEAU 5.5
RIVIÈRE : NERO

Date	Anions								Cations							
	CO_3H^-		Cl^-		SO_4^{--}		PO_4^{---}		Ca^{++}		Mg^{++}		K^+		Na^+	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1973																
17 janvier	23,8	0,39	2,00	0,06					2,60	0,13	2,00	0,16	1,13	0,03	4,35	0,19
13 février	21,8	0,36	3,50	0,10					2,30	0,12	2,00	0,16	1,25	0,03	3,97	0,17
13 mars	18,5	0,30	4,25	0,12					2,35	0,12	2,00	0,16	1,42	0,04	3,78	0,16
17 avril	14,5	0,24	3,75	0,11					1,70	0,09	2,00	0,16	1,20	0,03	3,30	0,14
15 mai	15,9	0,26	4,00	0,11					1,75	0,09	2,25	0,19	1,37	0,04	3,20	0,14
14 juin	14,5	0,24	6,00	0,17					2,10	0,11	1,90	0,16	2,65	0,07	3,10	0,13
17 juillet	18,6	0,30	4,50	0,13					2,15	0,11	1,90	0,16	1,05	0,03	4,00	0,17
21 août	22,6	0,37	2,50	0,07					2,30	0,12	1,00	0,08	0,95	0,02	4,50	0,20
16 octobre	17,1	0,28	4,25	0,12					1,50	0,07	(0,35)	(0,03)	1,00	0,03	3,00	0,13
13 novembre	10,7	0,18	4,50	0,13					1,40	0,07	1,05	0,09	1,35	0,03	2,90	0,13
11 décembre	11,0	0,18	2,90	0,08					1,37	0,07	0,95	0,08	1,40	0,04	2,10	0,09
18 septembre	19,5	0,32	5,25	0,15					1,85	0,09	2,00	0,16	1,20	0,03	4,00	0,17
1974																
15 janvier	17,1	0,28	3,80	0,11					2,00	0,10	1,30	0,11	1,40	0,04	3,40	0,15
12 février	16,1	0,26	3,25	0,09					2,30	0,12	1,05	0,09	1,60	0,04	3,65	0,16
12 mars	19,5	0,32	3,50	0,10					2,36	0,12	1,31	0,11	1,40	0,04	3,90	0,17

TABLEAU 5.6
RIVIÈRE : BRIMAY

Date	Anions								Cations							
	CO_3H^-		Cl^-		SO_4^{--}		PO_4^{---}		Ca^{++}		Mg^{++}		K^+		Na^+	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1971																
14 octobre	28,7	0,47	11,75	0,33	2,93	0,06	0,05	0,00	2,70	0,14	3,00	0,25	1,65	0,04	8,94	0,39
1972																
16 janvier	23,2	0,38	10,33	0,29	5,20	0,11	0,10	0,00	2,30	0,12	3,00	0,25	2,60	0,07	6,65	0,29
15 février	24,8	0,41	9,83	0,28	5,73	0,12	0,10	0,00	2,20	0,11	2,90	0,24	3,04	0,08	6,86	0,30
15 mars	15,0	0,25	6,42	0,18	3,50	0,07	0,13	0,00	1,56	0,08	2,20	0,18	2,94	0,08	3,93	0,17
19 avril	18,2	0,30	10,46	0,29	4,43	0,09	0,27	0,01	1,83	0,09	3,75	0,31	3,16	0,08	4,65	0,20
29 juin	19,0	0,31	7,94	0,22					2,18	0,11	2,35	0,19	1,76	0,05	4,82	0,21
21 juillet	18,3	0,30	6,30	0,18					2,18	0,11	2,15	0,18	1,75	0,05	4,60	0,20
18 août	26,8	0,44	9,75	0,27					2,90	0,15	3,75	0,31	1,45	0,04	8,45	0,37
13 septembre	23,5	0,39	8,70	0,25					2,95	0,15	3,50	0,29	2,45	0,06	7,55	0,33
19 octobre	16,0	0,26	7,50	0,21					1,90	0,10	2,50	0,21	2,82	0,07	5,50	0,24
15 novembre	20,1	0,33	6,50	0,18					2,20	0,11	2,60	0,21	2,05	0,05	4,85	0,21
20 décembre	30,7	0,50	7,60	0,21					3,59	0,18	4,00	0,33	2,10	0,05	7,80	0,34
1973																
19 janvier	33,6	0,55	7,50	0,21					3,70	0,19	4,20	0,35	2,70	0,07	8,00	0,35
15 février	38,8	0,64	10,50	0,30					4,23	0,21	4,50	0,37	2,90	0,07	9,00	0,39
15 mars	27,3	0,45	8,80	0,25					3,47	0,17	3,30	0,27	3,50	0,09	7,00	0,30
19 avril	26,0	0,43	8,25	0,23					3,00	0,15	4,00	0,33	3,40	0,09	6,35	0,28
17 mai	19,8	0,32	9,50	0,27					1,80	0,09	3,50	0,29	3,40	0,09	5,10	0,22
13 juin	15,5	0,25	10,00	0,28					2,30	0,12	2,30	0,19	3,00	0,08	6,00	0,26
18 juillet	25,0	0,41	9,00	0,25					3,10	0,16	3,15	0,26	1,65	0,04	7,60	0,33

TABLEAU 5.7
RIVIÈRE : SASSANDRA

Date	Anions								Cations							
	CO ₃ H ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻⁻⁻		PO ₄ ⁻⁻⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺		Na ⁺	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1973																
17 mai	40,9	0,67	—	—					4,62	0,23	4,20	0,35	3,20	0,08	5,20	0,23
14 juin	29,3	0,48	7,50	0,21					4,20	0,21	3,20	0,26	4,40	0,11	6,00	0,26
19 juillet	34,1	0,56	4,50	0,13					4,12	0,21	3,45	0,28	2,95	0,08	5,45	0,24
23 août	28,7	0,47	2,40	0,07					2,70	0,14	1,65	0,14	3,00	0,08	4,60	0,20
19 septembre	25,8	0,44	2,75	0,08					2,80	0,14	(0,40)	(0,03)	2,20	0,06	3,60	0,16
20 septembre	26,2	0,43	3,25	0,09					2,40	0,12	2,40	0,20	2,50	0,06	3,60	0,16
23 septembre	21,4	0,35	2,75	0,08					2,40	0,12	(0,30)	(0,02)	2,20	0,06	3,40	0,15
1 octobre	28,8	0,47	3,50	0,10					3,20	0,16	(0,50)	(0,04)	2,40	0,06	4,10	0,18
5 octobre	29,3	0,48	3,00	0,08					3,60	0,18	(0,55)	(0,05)	2,20	0,06	4,20	0,18
9 octobre	32,2	0,53	3,00	0,08					3,60	0,18	(0,55)	(0,05)	2,30	0,06	4,30	0,19
13 octobre	32,2	0,53	3,00	0,08					3,80	0,19	(0,55)	(0,05)	2,30	0,06	4,20	0,18
17 octobre	32,7	0,54	3,00	0,08					4,00	0,20	(0,60)	(0,05)	2,30	0,06	4,20	0,18
17 octobre	34,2	0,56	3,10	0,09					4,10	0,21	(0,65)	(0,05)	2,50	0,06	4,50	0,20
21 octobre	28,5	0,47	2,25	0,06					4,20	0,21	2,00	0,16	2,35	0,06	4,50	0,20
25 octobre	26,8	0,44	3,25	0,09					4,00	0,20	1,85	0,15	2,40	0,06	4,90	0,21
29 octobre	28,1	0,46	3,00	0,08					4,00	0,20	1,90	0,16	2,25	0,06	4,90	0,21
2 novembre	27,3	0,45	3,00	0,08					4,00	0,20	1,95	0,16	2,20	0,06	4,65	0,20
6 novembre	27,1	0,44	2,50	0,07					3,70	0,19	2,15	0,18	2,20	0,06	4,60	0,20
10 novembre	28,5	0,47	2,75	0,08					4,00	0,20	1,95	0,16	2,25	0,06	5,00	0,22
14 novembre	28,0	0,46	3,00	0,08					3,85	0,19	1,90	0,16	2,20	0,06	5,00	0,22
14 novembre	28,0	0,46	3,10	0,09					4,00	0,20	1,90	0,16	2,40	0,06	5,00	0,22
18 novembre	28,1	0,46	3,00	0,08					3,83	0,19	1,94	0,16	2,20	0,06	5,00	0,22
22 novembre	28,1	0,46	3,75	0,11					3,83	0,19	2,05	0,17	2,20	0,06	5,10	0,22
26 novembre	28,8	0,47	3,25	0,09					4,04	0,20	2,10	0,17	2,20	0,06	5,20	0,23
30 novembre	30,5	0,50	3,00	0,08					4,04	0,20	2,10	0,17	2,20	0,06	5,40	0,23
4 décembre	30,5	0,50	3,00	0,08					4,25	0,21	2,05	0,17	2,10	0,05	5,40	0,23
8 décembre	32,9	0,54	2,50	0,07					4,04	0,20	2,21	0,18	2,00	0,05	5,30	0,23
12 décembre	32,9	0,54	3,25	0,09					4,25	0,21	2,26	0,19	2,00	0,05	5,35	0,23
12 décembre	32,4	0,53	2,60	0,07					4,15	0,21	2,25	0,19	2,20	0,06	5,40	0,23
16 décembre	32,9	0,54	2,50	0,07					3,36	0,17	2,42	0,20	2,10	0,05	5,30	0,23
20 décembre	33,4	0,55	2,25	0,06					3,99	0,20	2,47	0,20	2,10	0,05	5,60	0,24

TABLEAU 5.8
RIVIÈRE : SASSANDRA

Date	Anions								Cations							
	CO ₃ H ⁻		Cl ⁻		SO ₄ ⁻⁻		PO ₄ ⁻⁻⁻		Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺		Na ⁺	
	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me
1974																
1 janvier	36,6	0,60	2,20	0,06					3,99	0,20	2,42	0,20	2,00	0,05	5,40	0,23
5 janvier	36,6	0,60	2,64	0,07					4,10	0,21	2,42	0,20	2,00	0,05	5,55	0,24
9 janvier	36,6	0,60	2,86	0,08					4,31	0,22	2,47	0,20	2,20	0,06	5,55	0,24
13 janvier	37,6	0,62	2,20	0,06					3,99	0,20	2,47	0,20	2,20	0,05	5,60	0,24
16 janvier	38,3	0,63	2,25	0,06					4,40	0,22	2,50	0,21	2,25	0,06	5,65	0,25
17 janvier	39,0	0,64	2,00	0,06					4,99	0,25	2,26	0,19	2,25	0,06	5,60	0,24
21 janvier	40,3	0,66	1,50	0,04					4,52	0,23	2,26	0,19	2,25	0,06	5,50	0,24
25 janvier	39,3	0,64	1,50	0,04					5,25	0,26	2,26	0,19	2,25	0,06	5,60	0,24
29 janvier	39,0	0,64	2,00	0,06					5,36	0,27	2,26	0,19	2,30	0,06	5,60	0,24
2 février	40,5	0,66	1,75	0,05					5,00	0,25	2,26	0,19	2,25	0,06	5,50	0,24
6 février	41,1	0,67	1,25	0,04					5,15	0,26	2,26	0,19	2,30	0,06	5,55	0,24
10 février	41,2	0,68	1,25	0,04					4,94	0,25	2,36	0,19	2,25	0,06	5,50	0,24
13 février	41,2	0,68	1,65	0,05					5,25	0,26	2,30	0,19	2,35	0,06	5,45	0,24
14 février	41,5	0,68	1,50	0,04					5,04	0,25	2,15	0,18	2,20	0,06	5,58	0,24
18 février	41,5	0,68	1,50	0,04					5,20	0,26	2,21	0,18	2,20	0,06	5,50	0,24
22 février	41,5	0,68	1,75	0,05					5,20	0,26	2,21	0,18	2,20	0,06	5,50	0,24
26 février	41,5	0,68	1,50	0,04					5,04	0,25	2,15	0,18	2,30	0,06	5,48	0,24
2 mars	42,9	0,70	2,00	0,06					5,20	0,26	2,15	0,18	2,55	0,07	5,50	0,24
6 mars	41,5	0,68	2,00	0,06					5,20	0,26	2,15	0,18	2,70	0,07	5,62	0,24
10 mars	42,7	0,70	1,75	0,05					5,20	0,26	2,26	0,19	2,65	0,07	5,68	0,25
13 mars	42,0	0,69	2,40	0,07					5,30	0,27	2,20	0,18	2,75	0,07	5,85	0,25

TABLEAU 5.9
RIVIÈRE : SAN PEDRO

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1971									
7 avril	6,8		16,0	0,27	1,36	0,05	0,15	0,009	17,3
8 mai	6,8		17,0	0,28	1,54	0,06	0,06	0,004	—
10 juin	6,1		—	—	1,48	0,06	0,32	0,019	83,8
16 septembre	6,8		19,2	0,32	1,57	0,06	0,08	0,005	17,4
13 octobre	6,9		18,0	0,30	1,74	0,07	0,08	0,005	15,5
23 novembre	6,9		17,3	0,29	1,48	0,06	0,15	0,009	45,0
14 décembre	6,9		15,8	0,26	2,63	0,10	0,30	0,018	85,6
1972									
19 janvier	7,0		18,6	0,31	1,66	0,06	0,26	0,015	11,5
16 février	6,8		15,6	0,26	1,34	0,05	0,08	0,005	10,5
16 mars	7,0		18,3	0,31	2,14	0,08	0,30	0,018	9,56
20 avril	7,1		17,0	0,28	1,80	0,07	0,15	0,009	faible
28 juin	6,0	10,01	13,8	0,23	1,40	0,05	0,23	0,014	235
18 juillet	5,9	7,8	9,4	0,16	1,14	0,04	0,26	0,015	238
20 juillet	5,7	10,9	10,8	0,18	1,03	0,04	0,19	0,011	272
17 août	6,7	4,09	23,6	0,39	2,80	0,11	0,15	0,009	19,5
12 septembre	6,7	4,00	19,6	0,33	1,66	0,06	0,15	0,009	20,4
17 octobre	6,3	4,81	15,1	0,25	2,11	0,08	0,26	0,015	49,2
14 novembre	6,7	5,19	18,4	0,31	2,31	0,09	0,30	0,018	41,2
19 décembre	6,9	4,01	23,1	0,39	2,74	0,10	0,15	0,009	8,78
1973									
17 janvier	7,1	3,24	23,2	0,39	3,00	0,11	0,08	0,005	3,54
13 février	7,0	3,68	22,3	0,37	1,46	0,06	0,04	0,002	2,10
13 mars	6,8	7,40	19,5	0,33	2,77	0,10	0,01	0,001	2,94
17 avril	6,7	5,03	15,2	0,25	1,83	0,07	0,34	0,020	7,61
15 mai	6,8	5,11	20,0	0,33	2,29	0,09	0,11	0,006	7,99
14 juin	6,5	6,30	16,5	0,28	2,09	0,08	0,26	0,015	55,2
17 juillet	6,9	5,6	18,8	0,31	2,63	0,10	0,34	0,020	20,6
21 août	7,0	7,4	22,1	0,37	2,23	0,08	0,08	0,005	11,9
18 septembre	6,9	4,62	15,0	0,25	2,65	0,10	0,45	0,026	60,7
18 septembre	6,5	6,40	15,0	0,25	2,50	0,09	0,48	0,028	60
22 septembre	6,8	8,35	18,0	0,30	2,73	0,10	0,43	0,025	33
26 septembre	6,4	8,15	13,0	0,22	1,75	0,07	0,45	0,026	110
30 septembre	6,5	8,15	14,4	0,24	2,10	0,08	0,53	0,031	65
4 octobre	6,7	2,20	17,4	0,29	2,53	0,10	0,30	0,018	44
8 octobre	6,2	7,70	11,8	0,20	2,58	0,10	0,78	0,046	187
13 octobre	6,4	5,95	16,0	0,27	2,13	0,08	0,33	0,019	92
16 octobre	6,8	4,40	16,3	0,27	2,60	0,10	0,38	0,022	64,9
16 octobre	6,4	8,03	16,0	0,27	1,35	0,05	0,20	0,012	62
28 octobre	6,3	7,15	14,0	0,23	1,40	0,05	0,18	0,011	156
20 octobre	6,4	5,83	16,2	0,27	1,98	0,07	0,15	0,009	104
24 octobre	6,4	5,83	14,0	0,23	1,83	0,07	0,28	0,016	103

TABLEAU 5.10
RIVIÈRE : SAN PEDRO

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1973									
1 novembre	6,4	4,95	15,0	0,25	1,50	0,06	0,23	0,014	141
5 novembre	6,5	5,83	17,0	0,28	2,03	0,08	0,10	0,006	92
9 novembre	6,7	4,51	17,4	0,29	2,23	0,08	0,18	0,011	87
13 novembre	6,5	6,71	16,6	0,28	1,25	0,05	0,20	0,012	67
13 novembre	7,0	2,97	15,1	0,25	1,80	0,07	0,15	0,009	63,5
17 novembre	6,4	3,42	17,2	0,29	1,93	0,07	0,20	0,012	91
21 novembre	6,9	0,52	17,2	0,29	1,98	0,07	0,28	0,016	72
25 novembre	7,0	0,72	18,2	0,30	2,80	0,11	0,38	0,022	41,6
29 novembre	6,9	1,02	20,6	0,34	3,03	0,11	0,13	0,008	29
2 décembre	6,8	1,12	21,4	0,36	2,78	0,10	0,08	0,005	17,6
6 décembre	7,0	0,97	22,4	0,37	2,85	0,11	0,15	0,009	14
10 décembre	6,8	1,22	19,6	0,33	1,80	0,07	0,23	0,014	31
11 décembre	6,7	1,09	18,0	0,30	2,23	0,08	0,30	0,018	34,4
14 décembre	6,9	1,32	22,0	0,37	2,15	0,08	0,10	0,006	15
18 décembre	6,9	1,10	19,2	0,32	2,15	0,08	0,08	0,005	14
22 décembre	6,9	1,32	23,6	0,39	2,38	0,09	0,03	0,002	14
26 décembre	6,9	2,42	22,4	0,37	2,20	0,08	0,05	0,003	10
30 décembre	6,8	2,42	24,6	0,41	2,25	0,08	0,05	0,003	7
1974									
3 janvier	6,8	1,98	22,4	0,37	2,20	0,08	0,03	0,002	9
7 janvier	6,9	1,98	22,6	0,38	2,38	0,09	0,05	0,003	7
11 janvier	6,9	1,98	22,4	0,37	2,80	0,11	0,05	0,003	9,5
15 janvier	7,1	1,54	22,2	0,37	2,77	0,10	0,04	0,002	5,16
19 janvier	7,2	0,66	23,0	0,38	2,75	0,10	0,10	0,006	5,0
23 janvier	6,9	3,21	23,4	0,39	2,15	0,08	0,13	0,008	12
27 janvier	6,8	4,40	23,0	0,38	2,38	0,09	0,08	0,005	16,5
31 janvier	6,8	4,62	22,0	0,37	1,95	0,07	0,10	0,006	10,5
4 février	7,3	0,66	21,6	0,36	2,15	0,08	0,08	0,005	15,5
8 février	6,9	3,08	19,8	0,33	1,50	0,06	0,01	0,001	33,5
16 février	6,7	6,95	19,6	0,33	1,58	0,06	0,03	0,002	13,5
20 février	6,6	8,71	19,2	0,32	2,38	0,09	0,13	0,008	3
24 février	6,8	7,17	18,8	0,31	2,25	0,08	0,05	0,003	5
28 février	6,5	11,57	18,2	0,30	1,38	0,05	0,05	0,003	2,8
4 mars	6,5	11,57	18,6	0,31	1,33	0,05	0,08	0,005	3
8 mars	6,3	17,07	20,0	0,33	0,98	0,04	0,03	0,002	6,5
12 mars	6,9	4,31	18,4	0,31	1,26	0,05	0,08	0,005	8,5

TABLEAU 5.11
RIVIÈRE : NERO

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1971									
8 avril	6,5		8,8	0,15	0,86	0,03	0,15	0,009	5,01
7 mai	6,3		10,2	0,17	1,26	0,05	0,08	0,005	9,54
11 juin	6,2		—	—	1,34	0,05	0,19	0,011	17,0
15 septembre	6,5		10,4	0,17	0,80	0,03	0,08	0,005	12,8
12 octobre	6,5		11,2	0,19	1,31	0,05	0,08	0,005	10,4
23 novembre	6,9		10,1	0,17	1,20	0,05	0,11	0,006	9,19
14 décembre	6,7		13,5	0,23	1,80	0,07	0,08	0,005	34,3
1972									
19 janvier	6,9		13,5	0,23	1,31	0,05	0,08	0,005	4,93
15 février	6,4		9,0	0,15	1,26	0,05	0,15	0,009	10,2
15 mars	6,5		9,0	0,15	1,26	0,05	0,34	0,020	5,59
19 avril	6,8		12,0	0,20	1,66	0,06	0,11	0,006	3,02
28 juin	6,4	5,04	13,2	0,22	1,46	0,05	0,19	0,011	30,2
18 juillet	6,0	6,10	8,3	0,14	0,63	0,02	0,19	0,011	12,6
20 juillet	5,9	6,50	10,3	0,17	0,97	0,04	0,11	0,006	61
17 août	6,6	5,24	15,8	0,26	1,57	0,06	0,11	0,006	8,48
12 septembre	6,8	2,70	13,8	0,23	1,43	0,05	0,11	0,006	13,3
17 octobre	6,2	4,50	9,0	0,15	1,71	0,06	0,30	0,018	36,0
14 novembre	6,7	3,94	14,4	0,24	1,54	0,06	0,11	0,006	12,0
19 décembre	6,8	5,36	15,4	0,26	1,80	0,07	0,11	0,006	4,19
1973									
17 janvier	7,0	3,40	16,1	0,27	1,94	0,07	0,08	0,005	2,37
13 février	6,7	3,50	15,7	0,26	1,80	0,07	0,08	0,005	4,18
13 mars	6,6	4,20	14,1	0,24	1,71	0,06	0	0	2,06
17 avril	6,4	4,50	11,5	0,19	1,86	0,07	0,26	0,015	4,22
15 mai	6,2	3,58	12,5	0,21	1,80	0,07	0,08	0,005	8,14
14 juin	6,4	5,30	11,2	0,19	1,60	0,06	0,26	0,015	20,5
17 juillet	7,1	4,55	14,8	0,25	1,74	0,07	0,26	0,015	8,33
21 août	7,1	4,06	16,9	0,28	1,37	0,05	0,08	0,005	5,87
16 octobre	6,8	0,20	11,3	0,19	2,06	0,08	0,32	0,019	26,9
13 novembre	6,5	5,65	11,5	0,19	1,25	0,05	0,22	0,013	46,3
11 décembre	6,1	1,44	8,3	0,14	1,04	0,04	0,22	0,013	14,3
18 septembre	6,8	3,18	13,2	0,22	1,80	0,07	0,33	0,019	18,6
1974									
15 janvier	6,8	2,00	12,5	0,21	1,45	0,05	0,08	0,005	4,00
12 février	6,7	2,43	13,5	0,23	1,13	0,04	0,12	0,007	3,58
12 mars	6,9	2,74	13,6	0,23	1,50	0,06	0,06	0,004	1,99

TABLEAU 5.12
RIVIÈRE : BRIMAY

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1971									
14 octobre	6,9		17,2	0,29	2,72	0,10	0,04	0,002	
1972									
16 janvier	6,9		18,7	0,31	2,80	0,11	0,11	0,006	1,29
15 février	6,7		17,1	0,29	2,15	0,08	0,11	0,006	2,17
15 mars	6,5		12,0	0,20	2,46	0,09	0,57	0,034	1,98
19 avril	6,6		14,1	0,24	2,37	0,09	0,53	0,031	3,70
29 juin	6,1	10,30	14,5	0,24	2,39	0,09	0,26	0,015	46,5
21 juillet	6,0	11,10	14,0	0,23	1,86	0,07	0,19	0,011	60,6
18 août	6,8	4,90	23,8	0,40	4,15	0,16	0,11	0,006	3,23
13 septembre	6,3	7,00	19,5	0,33	2,40	0,09	0,11	0,006	4,34
19 octobre	6,1	5,60	13,5	0,23	2,20	0,08	0,26	0,015	12,3
15 novembre	6,5	5,50	14,0	0,23	2,72	0,10	0,23	0,014	10,7
20 décembre	6,7	5,00	21,4	0,36	3,83	0,14	0,15	0,009	1,22
1973									
19 janvier	7,0	3,90	22,8	0,38	4,18	0,16	0,08	0,005	0,448
15 février	6,8	3,90	23,0	0,38	4,23	0,16	0,11	0,006	0,143
15 mars	6,5	8,30	19,5	0,33	3,06	0,12	0	0	0,266
19 avril	6,6	7,50	16,6	0,28	3,35	0,13	0,23	0,014	0,215
17 mai	6,4	6,50	15,0	0,25	2,63	0,10	0,38	0,022	0,950
13 juin	6,4	6,61	15,0	0,25	2,06	0,08	0,23	0,014	26,7
18 juillet	7,0	6,30	20,7	0,35	3,98	0,15	0,26	0,015	3,91

TABLEAU 5.13
RIVIÈRE : SASSANDRA

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1973									
17 mai	7,2	3,10	—	—	0,98	0,04	0,13	0,008	
14 juin	7,0	1,22	17,0	0,28	1,28	0,05	0,08	0,005	
19 juillet	7,3	6,10	17,4	0,29	1,25	0,05	0,25	0,015	
23 août	7,0	6,00	22,1	0,37	1,70	0,06	0,35	0,021	500
19 septembre	6,8	4,60	19,0	0,32	2,38	0,09	0,38	0,022	1 710
20 septembre	7,1	3,10	16,9	0,28	4,03	0,15	0,17	0,010	1 750
23 septembre	6,7	4,40	18,0	0,30	2,63	0,10	0,48	0,028	1 485
1 octobre	6,9	2,65	19,4	0,32	2,48	0,09	0,30	0,018	1 230
5 octobre	6,9	6,15	20,6	0,34	2,30	0,09	0,35	0,021	980
9 octobre	7,1	1,30	21,0	0,35	2,45	0,09	0,30	0,018	930
13 octobre	7,1	1,55	21,2	0,35	2,80	0,11	0,53	0,031	820
17 octobre	7,2	1,55	21,0	0,35	2,50	0,09	0,23	0,014	755
17 octobre	7,2	3,07	21,1	0,35	2,70	0,10	0,31	0,018	718
21 octobre	7,0	4,70	21,2	0,35	2,08	0,08	0,15	0,008	500
25 octobre	6,9	4,73	20,4	0,34	1,98	0,07	0,13	0,008	430
29 octobre	6,9	5,83	21,8	0,36	1,90	0,07	0,15	0,009	475
2 novembre	7,3	2,53	21,4	0,36	1,75	0,07	0,13	0,008	635
6 novembre	7,0	4,73	20,8	0,35	2,00	0,08	0,10	0,006	535
10 novembre	7,0	5,61	20,6	0,34	2,13	0,08	0,10	0,006	440
14 novembre	7,0	3,41	22,0	0,37	1,85	0,07	0,15	0,009	350
14 novembre	7,2	4,20	22,3	0,37	2,30	0,09	0,15	0,009	350
18 novembre	7,4	0,52	21,4	0,36	2,13	0,08	0,15	0,009	290
22 novembre	7,4	0,52	21,8	0,36	2,13	0,08	0,15	0,009	230
26 novembre	7,5	0,47	21,8	0,36	2,00	0,08	0,13	0,008	207
30 novembre	7,6	0,27	22,4	0,37	1,98	0,07	0,13	0,008	158
4 décembre	7,6	0,17	22,0	0,37	1,90	0,07	0,23	0,014	146
8 décembre	7,5	0,22	22,6	0,38	1,65	0,06	0,58	0,034	123
12 décembre	7,1	0,67	22,6	0,38	1,55	0,06	0,25	0,015	118
12 décembre	7,3	0,60	22,8	0,38	1,45	0,05	0,20	0,012	115
16 décembre	7,5	0,88	23,0	0,38	1,38	0,05	0,05	0,003	75
20 décembre	7,5	1,32	22,6	0,38	0,75	0,03	0,03	0,002	65
24 décembre	7,0	3,96	23,0	0,38	0,93	0,03	0,03	0,002	58

TABLEAU 5.14
RIVIÈRE : SASSANDRA

Date	pH	CO ₂ libre mg/l	SiO ₂ dissous		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		Débit liquide m ³ /s
			mg/l	me	mg/l	me	mg/l	me	
1974									
1 janvier	7,0	2,20	21,6	0,36	0,65	0,02	0,08	0,005	47
5 janvier	7,1	2,64	21,8	0,36	0,65	0,02	0,08	0,005	45
9 janvier	7,0	2,86	21,2	0,35	0,70	0,03	0,01	0,001	43
13 janvier	7,1	2,20	20,8	0,35	0,55	0,02	0,05	0,003	60
16 janvier	7,1	1,76	20,8	0,35	0,54	0,02	0,08	0,005	56,2
17 janvier	7,1	1,76	21,8	0,36	0,20	0,01	0,08	0,005	48
21 janvier	7,1	1,98	21,0	0,35	0,10	0,00	0,05	0,003	50
25 janvier	7,0	2,86	21,0	0,35	0,45	0,02	0,18	0,011	45
29 janvier	7,0	2,02	24,0	0,40	0,18	0,01	0,08	0,005	—
2 février	7,1	1,32	23,8	0,40	0,15	0,01	0,08	0,005	17
6 février	7,1	2,02	23,4	0,39	0,10	0,00	0,08	0,005	19
10 février	7,1	1,76	20,2	0,34	0,10	0,00	0,05	0,003	15
13 février	7,2	1,22	23,0	0,38	0,13	0,01	0,08	0,005	13
14 février	7,4	2,33	19,8	0,33	0,15	0,01	0,05	0,003	20
18 février	7,2	3,43	19,6	0,33	0,13	0,01	0,05	0,003	15
22 février	7,3	3,43	19,2	0,32	0,18	0,01	0,05	0,003	12
26 février	7,2	4,09	18,4	0,31	0,15	0,01	0,01	0,001	11
2 mars	7,3	3,65	17,4	0,29	0,10	0,00	0,05	0,003	10
6 mars	7,1	5,41	18,0	0,30	0,05	0,00	0,01	0,001	8
10 mars	7,5	2,99	17,6	0,29	0,05	0,00	0,03	0,002	10
13 mars	7,1	1,65	17,6	0,29	0,15	0,01	0,05	0,003	7,34

6. CONCLUSION

Les propriétés physico-chimiques des eaux de surface sont donc fonction de plusieurs facteurs qui intègrent les conditions naturelles du milieu.

Leur composition chimique, dans cette région forestière, est typique des eaux de roches cristallines avec des apports importants en silice et en bicarbonates de chaux, mais presque inexistantes en carbonates en raison de la faible acidité. Les eaux circulant dans les terrains schisteux sont plus chargées que celles provenant de terrains granitiques dont la cristallinité est plus développée et par suite la surface de contact de l'eau avec les sols moins grande.

Ces eaux drainant des terrains fortement désaturés où la capacité d'échange est très souvent inférieure à 5 me pour 100 g, la teneur totale en éléments dissous reste assez faible. La concentration en anions et en cations n'a dépassé 2 me/l qu'une seule fois et pour un seul fleuve, la Brimay en février 1973.

Les constituants du sol et du sous-sol étant assez semblables dans cette région, les différences dans les apports solides et dissous observés d'un bassin à l'autre proviennent essentiellement du régime des cours d'eau et du mode d'écoulement. Malgré l'hystérésis des courbes $C = f(Q)$ due à la dilution plus ou moins rapide selon la violence et l'ampleur de la crue, ainsi qu'au décalage dans le temps entre la courbe des concentrations et la courbe des débits, il existe une assez forte corrélation entre le débit et la concentration. Cette corrélation, généralement négative pour les apports dissous et positive pour les charges solides, augmente avec la régularité des cours d'eau et la superficie des bassins. Pour des bassins de superficies identiques la liaison entre les teneurs en éléments dissous et le débit sera plus lâche si les crues sont nombreuses et rapides — cas de la Nero — et beaucoup plus étroite si les crues sont régulières — cas de la Brimay.

Les résultats des prélèvements et des analyses effectués dans les eaux de ces trois fleuves permettent de penser que les apports en sédiments en suspension sont liés principalement au ruissellement et les apports en éléments dissous beaucoup plus à l'écoulement de base et à la restitution des eaux souterraines.

BIBLIOGRAPHIE

- DUCHAUFOUR (Ph.) - 1965 - « Précis de Pédologie ». Masson et Cie, Paris.
- GREFFARD (J.) - 1970 - « Equilibres carboniques et corrosion ». *Bulletin du B.R.G.M.*, Section III n° 4, 1970.
- GLOVER (B. J.) et JOHNSON (P.) - 1974 - « Variations in the natural chemical concentration of river water during flood flows, and the lag effect ». *Journal of Hydrology*, vol. 22, n° 3/4.
- MOLINIER (M.) - 1973 - « Hydrologie de la région de San Pedro ». *ORSTOM*, Abidjan, multigr.
- PERRAUD (A.) - 1971 - « Le milieu naturel de Côte d'Ivoire - Les sols ». *ORSTOM*, Paris, pp. 269-390.
- SCHOELLER (H.) - 1962 - « Les eaux souterraines » Masson et Cie, Paris.