

Apports de phosphore et d'azote par la pluie en zone tropicale (Côte d'Ivoire)

Lionel LEMASSON (1) et Jean PAGÈS (2)

RÉSUMÉ

Les apports de phosphore et d'azote (assimilables) par la pluie en zone tropicale humide ne sont pas négligeables ($232,1 \text{ mg.m}^{-2}.\text{an}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$, $585,2 \text{ mg.m}^{-2}.\text{an}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$ et $461,9 \text{ mg.m}^{-2}.\text{an}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$) ; ces apports, inégalement répartis sur l'année, peuvent jouer un certain rôle dans la production primaire des eaux carencées en phosphore et/ou en azote de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) et des eaux côtières du golfe de Guinée. L'origine des éléments nutritifs dissous est reliée à la présence de poussières en suspension dans l'air.

MOTS-CLÉS : Afrique — Côte d'Ivoire — Apports par les pluies — Sels nutritifs — Azote — Phosphore — Bilans annuels.

ABSTRACT

PHOSPHORUS AND NITROGEN INPUTS BY RAIN IN A TROPICAL ZONE (IVORY COAST)

Phosphorus and nitrogen inputs by rainwater in wet tropical country are not negligible ($232.1 \text{ mg.m}^{-2}.\text{year}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$, $585.2 \text{ mg.m}^{-2}.\text{year}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$ and $461.9 \text{ mg.m}^{-2}.\text{year}^{-1} \text{ NH}_4\text{-N}$) ; the contributions are unequally distributed on the year and can be important for primary production in phosphorus and/or nitrogen depleted waters of Ebrié Lagoon (Ivory Coast) and in coastal waters of Guinea Gulf. The origin of nutrients in rainwater is related to dust in atmosphere.

KEY WORDS : Africa — Ivory Coast — Rain inputs — Nitrogen — Phosphorus — Nutrients — Annual budgets.

1. INTRODUCTION

Dans un écosystème en équilibre où il n'y a pas d'exportation de matière organique ni d'apport extérieur, le phosphore et l'azote font partie d'un cycle de production dite « régénérée » ; la production nette est alors nulle. Par contre dans le cas d'un milieu fermé dans lequel on prélève une certaine

quantité de matière (sous forme d'une production de poissons par exemple, ce qui est le cas de la lagune Ebrié) le phosphore et l'azote exportés doivent être remplacés pour permettre une production « nouvelle » qui représente la production nette, sous peine d'un appauvrissement énergétique du milieu.

Cet apport d'éléments nutritifs peut provenir

(1) Océanographe O.R.S.T.O.M., Centre O.R.S.T.O.M., BP A5, Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

(2) Océanographe O.R.S.T.O.M., C.R.O.D.T., BP 2241, Dakar, Sénégal.

de diverses sources : pluie, rivières, matière détritique exogène ou rejets d'eaux usées. Dans le cas de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) dont il sera question ici, il existe une source supplémentaire éventuelle qui est due à l'ouverture de la lagune sur la mer par le canal de Vridi, permettant de ce fait un mélange entre les eaux marines et lagunaires pendant les cycles de marée, en dehors de la saison des crues.

Le but du présent article sera d'évaluer l'apport météorologique, c'est-à-dire l'importance des apports par la pluie en lagune et dans les eaux côtières du golfe de Guinée au large de la Côte d'Ivoire, correspondant à une zone tropicale humide soumise à des précipitations importantes. D'après la littérature les apports par la pluie ont été principalement étudiés pour leur incidence en agriculture, et également pour leur incidence sur la production de quelques lacs situés plus particulièrement dans les zones tempérées. Quelques rares études ont été faites en mer, en particulier sur l'azote pour lequel MENZEL & SPAETH (1962) ont pu mettre en évidence une relation entre la concentration en azote ammoniacal dans l'eau de mer et les précipitations des jours précédents.

2. MÉTHODES

Les mesures ont été faites en zone sub-équatoriale africaine (5° N) en bordure d'une lagune séparée de la mer par un étroit cordon lagunaire, et à une distance de l'agglomération d'Abidjan voisine de 20 km. Le climat est de type tropical humide (précipitations supérieures à 2 m en zone côtière) avec alternance de deux saisons des pluies (mai-juin et mi-juillet d'une part, octobre et mi-novembre d'autre part) et de deux saisons sèches correspondant au balancement saisonnier nord-sud du front inter-tropical. Une description du cadre physique et des caractéristiques hydrologiques a été faite par VARLET (1978) et PAGÈS *et al.* (1979).

La pluie a été recueillie dans deux flacons surmontés d'un entonnoir au fond duquel on a placé de la laine de verre permettant une filtration instantanée des plus grosses particules ; le filtrat était récolté dans les 12 h après la pluie, passé au laboratoire sur membrane filtrante (filtre de fibre de verre Whatman GF/C) et analysé suivant les méthodes classiques :

- (a) pour le phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) : par réduction du complexe phosphomolybdique par l'acide ascorbique et colorimétrie ;
- (b) pour le nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) : par réduction par le sulfate d'hydrazine et traitement par le réactif de Griess ;

- (c) pour l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) : par un traitement par la soude et le carbonate de sodium, et colorimétrie du bleu d'indophénol ;
- (d) pour l'azote total : par minéralisation de Kjeldahl et colorimétrie du bleu d'indophénol.

Les observations ont été réalisées au cours de quatre années consécutives (1970 à 1973) par le Laboratoire de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. à Abidjan.

Les hauteurs de pluie mensuelles sont les moyennes calculées sur la période 1948-1972, la moyenne annuelle étant de 2137 mm calculée pendant cette même période. Les quatre années 1970 à 1973 sont déficitaires en précipitations et ont toutes reçu une hauteur de pluie voisine de 1650 mm.an⁻¹, ce qui représente un déficit de 23 % ; la fréquence des précipitations a été également inférieure, pendant cette même période allant de 1970 à 1973, de 27 % par rapport à la normale.

Lors de chaque précipitation la quantité totale de pluie était recueillie, quantité sur laquelle étaient déterminées les concentrations des éléments nutritifs.

Enfin notons que la lagune s'étend sur 150 km de long de part et d'autre du lieu de mesure ; or les précipitations sont inégalement réparties et en particulier un peu plus faibles dans la partie orientale (lagunes Aghien et Potou) ; la surface de ces lagunes annexes représentant moins de 8 % de la surface totale la correction à apporter est très faible par rapport à l'ensemble du système lagunaire.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les principaux résultats sont rassemblés dans le tableau I. On n'observe pas de variations annuelles significatives des concentrations pour le phosphate et l'azote ammoniacal (fig. 1), ce qui avait été

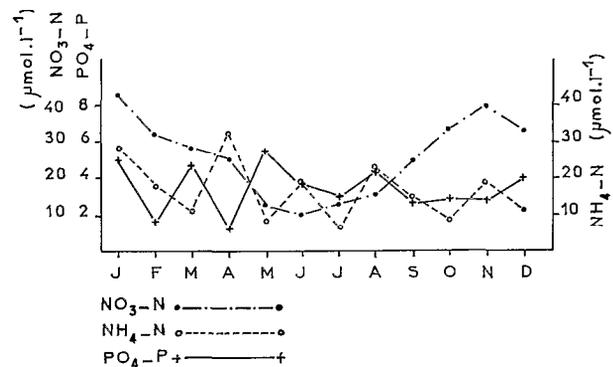


FIG. 1. --- Variations mensuelles des concentrations de $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ et $\text{NH}_4\text{-N}$; moyennes entre 1970 et 1973
 Monthly Variations of concentrations for $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$; mean concentrations between 1970 and 1973

TABLEAU I

Concentrations et quantités reçues au sol de PO₄-P, NO₃-N, NH₄-N et N total

Mois	Pluie (mm)	PO ₄ -P		NO ₃ -N		NH ₄ -N		N total	
		μmole.l ⁻¹	μatg.m ⁻²						
Janvier....	30,0	5,05	151,5	42,9	1 287,0	28,6	858,0	172,1	5 164,3
Février....	59,8	1,58	94,5	32,1	1 919,6	17,9	1 070,4	115,7	6 918,9
Mars.....	107,3	4,74	508,2	28,6	3 068,8	10,7	1 148,1	122,9	13 187,2
Avril.....	142,7	1,26	179,8	25,0	3 567,5	32,1	4 580,7	73,6	10 502,7
Mai.....	300,6	5,47	1 644,3	12,9	3 877,7	8,6	2 585,2	80,7	24 258,4
Juin.....	682,7	3,58	2 444,1	10,0	6 827,0	19,3	13 176,1	99,3	67 792,1
Juillet....	274,6	2,94	807,3	12,9	3 542,3	6,4	1 757,4	76,4	20 979,4
Août.....	41,7	4,32	180,1	15,7	654,7	23,5	980,0	59,3	2 472,8
Septembre..	79,0	2,63	207,8	25,0	1 975,0	15,0	1 185,0	83,6	6 604,4
Octobre....	178,0	2,84	505,5	33,6	5 980,8	9,3	1 655,4	93,6	16 660,8
Novembre..	158,3	2,74	433,7	40,0	6 332,0	19,3	3 055,2	197,0	31 185,1
Décembre...	82,4	4,00	329,6	33,6	2 768,6	11,4	941,7	170,7	14 066,9
Total annuel.			7 486,4		41 801,0		32 993,2		219 793,0

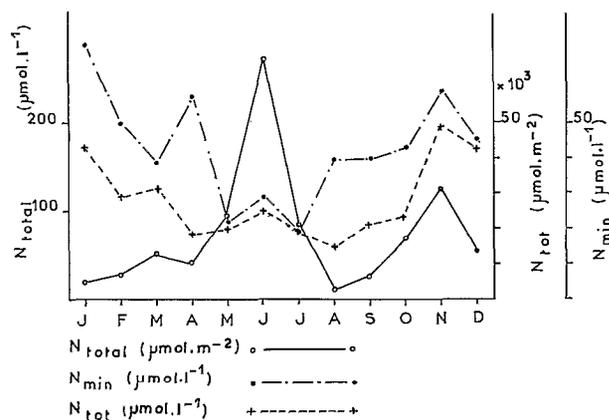


FIG. 2. — Variations des concentrations de N-total et N-minéral, et de la quantité de N-total reçue au sol

Variations of total N and inorganic N concentrations, and of total N (μmol.m⁻²)

également observé par VALIELA *et al.* (1978) dans des pluies de zone tempérée. Pour le phosphate les valeurs varient de 1,26 μmole.l⁻¹ PO₄-P en avril à 5,47 μmole.l⁻¹ PO₄-P en mai ; pour l'azote ammoniacal on observe un minimum de 6,40 μmole.l⁻¹ en juillet et un maximum de 32,1 μmole.l⁻¹ NH₄-N en avril. Par contre pour le nitrate et pour l'azote total les variations de la concentration présentent un minimum en saison des pluies (10,0 μmole.l⁻¹ NO₃-N en juin), minimum que l'on n'observe pas pendant la deuxième saison des pluies d'octobre-novembre. L'absence de relation saison-concentration

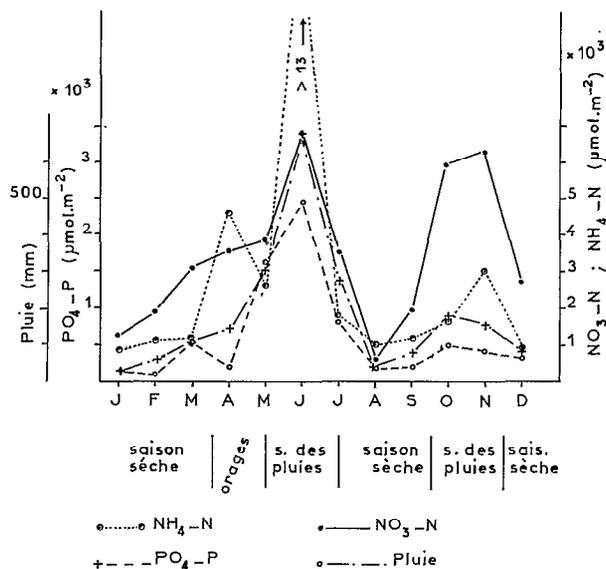


FIG. 3. — Variations mensuelles des quantités reçues au sol et hauteurs moyennes mensuelles des précipitations entre 1948 et 1972

Monthly variations of N and P inputs on ground; mean monthly precipitation amount between 1948 and 1972

en phosphate et en azote ammoniacal alors qu'il en existe une pour le nitrate et l'azote total est difficile à expliquer ; elle peut être due au fait que le phosphate ne représente qu'une part, qui peut ne pas être constante, du phosphore total qui subirait, comme l'azote total, une variation saison-

nière ; cette explication peut être également valable pour l'azote ammoniacal et il faudrait alors considérer les variations de l'azote minéral et de l'azote total (fig. 2 et 3) : on observe effectivement un minimum pour l'azote total d'avril à août. Enfin on remarque que c'est pendant les deux saisons des pluies que les quantités d'éléments nutritifs reçus au sol sont les plus importantes.

Le maximum d'azote total observé de novembre à janvier correspond à un accroissement de particules en suspension dans l'air à cette époque de l'année, particules apportées par le vent en provenance de l'intérieur du continent (vent de nord-est) par suite de la descente vers le sud du front inter-tropical. C'est l'époque où l'on observe fréquemment des brumes « sèches » formées de ces très fines particules.

Les concentrations moyennes annuelles sont de $3,53 \mu\text{mole.l}^{-1}$ $\text{PO}_4\text{-P}$, $19,6 \mu\text{mole.l}^{-1}$ $\text{NO}_3\text{-N}$, $15,43 \mu\text{mole.l}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$ et $102,9 \mu\text{mole.l}^{-1}$ N total, l'élément nutritif principal étant le nitrate qui varie entre $10,0 \mu\text{atg.l}^{-1}$ en juin et $42,2 \mu\text{atg.l}^{-1}$ en janvier, ce qui est très proche des observations de VALIELA *et al.* (1978) ; l'azote minéral représente alors 34 % de l'azote total (sans compter le nitrite que l'on ignore mais qui, d'après la littérature, est en général très faible dans la pluie). Par contre dans la plupart des observations faites dans d'autres régions c'est l'azote ammoniacal qui est l'élément nutritif dominant.

Les concentrations de tous les éléments varient de façon inversement proportionnelle à la quantité de pluie, ce qui avait été également observé par VALIELA *et al.* (1978) ; pour le phosphate (fig. 4) on a un coefficient de corrélation de Spearman significatif à 95 % : $r_s = 0,35$ et pour le nitrate on a : $r_s = 0,428$ qui est très hautement significatif (0,1 % < P).

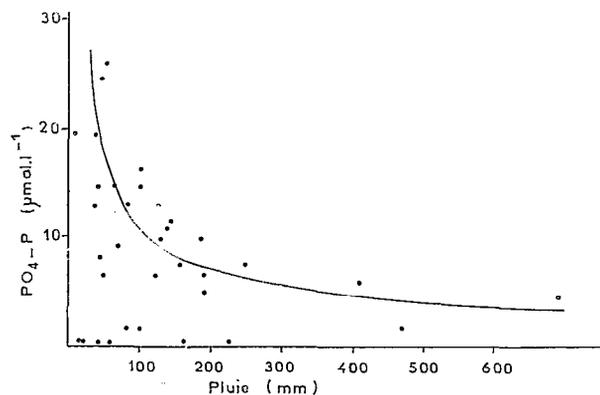


FIG. 4. — Distribution de $\text{PO}_4\text{-P}$ en fonction de la hauteur de précipitation

$\text{PO}_4\text{-P}$ in rainwater vs precipitation amount distribution

Les premiers centimètres de pluie entraînent les particules en suspension et sont donc plus concentrés en éléments nutritifs. D'autre part ERIKSSON (1952) estime que l'on trouve les valeurs les plus élevées en phosphore et en azote près des zones urbaines ou près des zones cultivées, les procédés culturaux et la fertilisation des sols accroissant le phosphore de l'eau de pluie (REIMOLD & DAIBER, 1967). L'origine du phosphore et de l'azote de la pluie serait donc liée aux particules atmosphériques ; les différents degrés d'oxydation de l'azote correspondent à diverses étapes du cycle d'oxydation de la matière organique des particules et ne sont pas d'origine « non-biologique » comme on le pensait précédemment (HUTCHINSON 1954 ; VACCARO 1965). Quelques mesures d'éléments solubilisables ont été faites sur des poussières atmosphériques à l'occasion d'une brume « sèche » particulièrement abondante les 8 et 9 mars 1977, qui corroborent cette hypothèse. La poussière, recueillie dans six boîtes de Petri (diamètre : 11 cm) entre 23 h et 07 h, est mise en suspension dans 50 ml d'eau distillée pendant cinq jours ; la solution est ensuite filtrée et analysée. Il s'est ainsi déposé avec les particules atmosphériques les quantités solubles suivantes :

$4,6 \mu\text{mole.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ $\text{PO}_4\text{-P}$;
 $13,7 \mu\text{mole.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ $\text{NO}_3\text{-N}$;
 $0,45 \mu\text{mole.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ $\text{NO}_2\text{-N}$.

Ces chiffres s'ils ne représentent pour le mois de mars que le dixième des quantités moyennes quotidiennes amenées par la pluie, ne représentent en fait que la sédimentation naturelle des particules qui est évidemment plus faible que la quantité de particules entraînée par la pluie.

Par rapport à celles de la littérature les valeurs d'azote et de phosphore sont intermédiaires, mais il est difficile de comparer les chiffres des divers auteurs car les méthodes d'analyse sont souvent très différentes. Il est cependant assez étonnant de constater que les teneurs observées en région tropicale humide sont très voisines de celles observées en zone tempérée (VALIELA *et al.* 1978) et assez différentes de celles observées en zone sahélienne (tabl. II). En fait il semble bien que les concentrations en éléments nutritifs soient plus liées aux vents de la haute atmosphère entraînant des particules pouvant provenir de zones très éloignées, et aux conditions locales particulières (agglomération, cultures, etc.), qu'à la position géographique du lieu et au climat local ; il n'existe en effet aucune corrélation entre la fréquence des pluies et la quantité d'éléments dissous reçus au sol ; par contre les quantités de phosphore et d'azote reçues au sol sont dépendantes de la hauteur des précipitations (fig. 3 et 4).

Globalement les quantités totales reçues par la

TABLEAU II

Apports annuels d'azote et de phosphore, par la pluie, en diverses régions

Origine	PO ₄ -P		NO ₃ -N		NH ₄ -N		N total ;	
	μmole.l ⁻¹	mg.m ⁻² .an ⁻¹	μmole.l ⁻¹	mg.m ⁻² .an	μmole.l ⁻¹	mg.m ⁻² .an ⁻¹	μmole.l ⁻¹	mg.m ⁻² .an ⁻¹
Côte d'Ivoire zone 1. (cet article) côtière.....	3,58	232,1	19,6	585,2	15,4	461,9	102,9	3077,1
2. MATHIEU (1971).....	3,23							
3. ROOSE (1973) savane (nord).		50						
Congo (MEYER et DUPRIEZ, 1959).						390 à 1130		
Gambie (THORNTON, 1965).....		30 à 60						1420 à 4710 (1)
Lac Tchad (Fort-Lamy) (LEMOALLE, 1973).....	1,2	24	12,9	122	38,2	346		
Lac Georges (DUNN <i>et al.</i> , 1960).	9,7 à 32,3 (2)						71,4 à 142	
Saïgon (VIALARD-GOUDOU et RICHARD, 1956).....						1100 à 1300		
Amazonie saison sèche.....	0,05		3,7		10,4		35	
Manaus saison pluies..... (Anon., 1972)	0,10		7,9		12,1		30	
Natal (HUTCHINSON, 1957).....	4,8							
Zone tempérée (DRISCHEL, 1940).			14,0		45,7			
Zone tropicale (Hutchinson, 1957).			19,1		22,0			
Zone tropicale (ERIKSSON, 1952).							100 à 2000 (1)	
Massachusetts (VALIELA <i>et al.</i> , 1978).	3	100	10 à 40		8 à 20		20 à 140	800

(1) N minéral.

(2) Ces valeurs très élevées semblent improbables.

lagune pendant l'année ne sont pas négligeables ; en prenant une surface de 566 km² (VARLET 1978) on a :

131,4.10⁶ g PO₄-P ;
331,2.10⁶ g NO₃-N ;
261,4.10⁶ g NH₄-N ;
1741,6.10⁶ g N_{total}.

Ces quantités sont, nous l'avons vu, très inégalement réparties au cours de l'année. Dans le cas du phosphate les apports de phosphore en juin sont de 2444 μmole.m⁻² correspondant, en prenant une couche de mélange de un mètre, à 0,08 μmole.l⁻¹.j⁻¹ ; les assimilations de phosphate étant en moyenne sur la lagune de 1 μmole.l⁻¹.j⁻¹ (LEMASSON *et al.* 1980) les apports météoriques correspondent donc à 8 % de l'assimilation. Pour l'azote total cet apport

peut représenter en juin plus de 2,2 μmole.l⁻¹.j⁻¹. Ces éléments nutritifs d'origine externe peuvent donc jouer un certain rôle, faible sans doute, dans les zones carencées en phosphore (extrémité occidentale) ou en azote (zone d'estuaire) de la lagune, et dans les eaux côtières du golfe de Guinée.

REMERCIEMENTS

Nous remercions E. J. ROOSE, pédologue de l'O.R.S.T.O.M., et le laboratoire de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. à Adiopodoumé de nous avoir très aimablement fourni les résultats des mesures effectuées de 1970 à 1973.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,
le 3 février 1981

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANON., 1972. — Regenwasseranalysen aus Zentralamazonien, ausgeführt in Manaus, Amazonas, Brasilien, von Dr. Harald Ungemasch. *Amazoniana*, III, II : 186-198.
- DRISCHEL (H.), 1940. Chlorid-, und Nitratgehalt der atmosphärischen Niederschläge in Bad Reinerz und Aberscheiberau im Vergleich zu bisher bekannten Werken anderer Orte. *Balneologie*, 7 : 321-334.
- DUNN (I. G.), BURGHS (M. J.), GANF (G. G.), MCGOWAN (L. M.) et Viner (A. B.), 1968. — Lake George, Uganda : a limnological survey. *Verh. intern. Ver. Limnol.*, 17 : 284-288.
- ERIKSSON (E.), 1952. — Composition of atmospheric precipitation. 1. *Tellus*, 4 : 215.
- HUTCHINSON (G. E.), 1954. — In « The solar system », vol. II. « The earth as a planet » (G. P. Kuiper, ed.). University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.
- HUTCHINSON (G. E.), 1957. — A Treatise on Limnology. J. Wiley and Sons, N.Y., I : 1015 pp.
- LEMASSON (L.), PAGÈS (J.) & CRÉMOUX (J.-L.), 1980. — Inorganic Phosphate Uptake in a Brackish Tropical Lagoon. *Estuar. Coast. Mar. Sc.* 11 : 547-561.
- LEMOALLE (J.), 197. — Azote et phosphore dans les eaux de pluies à Fort-Lamy (1970). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, vol. IX, n° 4 : 61-63.
- MATHIEU (Ph.), 1971. — Apports chimiques par les eaux de pluie et action des eaux de ruissellement en milieu forestier tropical (Côte d'Ivoire). *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 273 : 45-67.
- MENZEL (D. W.), SPAETH (J. P.), 1962. Occurrence of ammonia in Sargasso sea water and in rain water at Bermuda. *Limnol. Oceanogr.* 7 : 159-162.
- MEYER (J. A.), DUPRIEZ (G. L.), 1959. — Quantités d'azote et d'autres éléments nutritifs apportés au sol par les eaux de pluie au Congo Belge et leur intérêt agronomique. *Proc. 3rd Interafr. Soils Conf.*, Dalaba, vol. 1 : 273-281.
- PAGÈS (J.), LEMASSON (L.) et DUFOUR (Ph.), 1979. — Éléments nutritifs et production primaire dans les lagunes de Côte d'Ivoire. Cycle annuel. *Arch. Scient.*, vol. 5, n° 1 : 1-60.
- REIMOLD (R. J.) et DAIBER (F. C.), 1967. — Eutrophication of estuarine areas by rain water. *Chesapeake Sci.*, 8 : 120-133.
- ROOSE (E. J.), 1972. — Quelques effets des pluies sur la mise en valeurs des sols ferralliques et ferrugineux tropicaux. *Rap. O.R.S.T.O.M.*, Abidjan. Lab. Pédologie, 16 p., *multigr.*
- THORNTON (I.), 1965. — Nutrient content of rainwater on the Gambias. *Nature*, 205 : 1025.
- VACCARO (R. F.), 1965. — Inorganic Nitrogen in Sea-water. *In : Chemical Oceanography*, vol. 1 : 365-408 (J. P. Riley and G. Skirrow, ed.) Academic Press, London and New York.
- VALIELA (I.), TEAL (J. M.), VOLKMANN (S.), SHAFER (D.), CARPENTER (E. J.), 1978. — Nutrient and particulate fluxes in a salt marsh ecosystem : tidal exchanges and inputs by precipitation and groundwater. *Limnol. Oceanogr.* 23, 4 : 798-812.
- VARLET (F.), 1978. — Le régime de la lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. Traits physiques essentiels. *Trav. Doc. O.R.S.T.O.M.*, n° 83, 162 p., 110 fig.
- VIALARD-GOUDOU (A.) et RICHARD (C.), 1956. — Étude pluviométrique, physicochimique et économique des eaux de pluie de Saïgon (1950-1954). *Agron. trop.* 11 : 74.