

Sur l'émission d'un aérosol riche en potassium par la forêt tropicale

Par G. CROZAT, *Laboratoire de Physique de l'Atmosphère, Université Nationale de Côte d'Ivoire, B.P. 4322, Abidjan, Côte d'Ivoire*

(Manuscrit reçu le 22 novembre 1977; version révisée le 15 juin 1978)

RÉSUMÉ

L'importance de la source végétale dans la composition des aérosols atmosphériques en Afrique de l'Ouest a été mise en évidence. En saison des pluies, la forêt est l'origine principale de la matière végétale présente dans l'air et le processus d'émission du potassium est discuté.

ABSTRACT

Atmospheric aerosols have been studied in several locations of the Ivory Coast. Valid conclusions can be drawn which show the influence of vegetation as a source of aerosols. The tropical forest appears to be the main source of aerosols issued from vegetation during the rainy season and production of potassium is shown to be particularly important.

Des prélèvements de poussières atmosphériques ont été effectués pendant une année dans cinq stations de Côte d'Ivoire et de Haute-Volta (Fig. 1). Les aérosols, collectés sur filtres Whatman 41 pendant un an, sur des périodes de trois jours, ont été analysés par spectrométrie d'absorption atomique et les éléments suivants ont été dosés dans les fractions hydrosoluble et insoluble: Na, K, Ca, Mg, Al, Fe (Crozat et al., 1977).

La pollution anthropogénique étant pratiquement inexistante en Côte d'Ivoire (Crozat et al., 1973), les aérosols atmosphériques ont pour origine les sols, la mer et la végétation. Celle-ci est constituée successivement, du Sud au Nord de la Côte d'Ivoire, par la forêt, la savane arborée et la savane herbeuse (Monnier, 1968) (Fig. 1).

Nous avons cherché à montrer, à partir des éléments dosés, la présence de matière végétale. Afin de caractériser les sources d'aérosols, nous avons étudié, non les concentrations absolues des éléments, mais leurs rapports. A partir des mesures des teneurs dans l'air des différents cations, nous avons déterminé le rapport $R = (K + Ca)/(Na + Mg)$. Ce rapport a été choisi de façon à tenir compte des trois sources possibles d'aérosols: dans les aérosols terrigènes, les quatre éléments sont en proportions équivalentes; la source végétale est

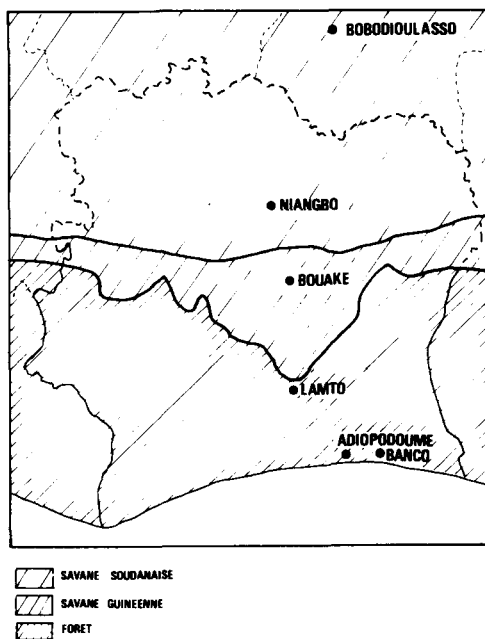


Fig. 1. Stations de prélèvements et zones de végétation.

caractérisée par une prédominance marquée de K et Ca (Lambert, 1977); les aérosols marins ont, eux, pour cations majeurs Na et Mg. Le Tableau 1

donne quelques valeurs des teneurs en éléments des plantes:

extension dans la forêt tropicale humide.
Après la saison sèche, et donc la période des

Tableau 1. *Teneurs en éléments majeurs dans la matière sèche végétale*

Auteur	Nature du végétal	K	Ca	Na	Mg	R
Bowen (1966)	Angiospermes*	1,4	1,8	0,12	0,32	7,3
Greenland (1960)	Forêt tropicale (feuilles)†	194	485		66	N.D.
Crozat	Graminées*	0,22	0,20	0,01	0,13	3

* En%. † En kg/ha.

La matière végétale se caractérise donc par un fort rapport R (supérieur à 3) tandis qu'il est de 1,5 dans les aérosols terrigènes (Crozat et al., 1978) et de 0,07 environ dans l'eau de mer.

Dans la Fig. 2, nous avons porté l'évolution du rapport R dans les aérosols atmosphériques au cours de l'année et pour les différentes stations du Sud au Nord de la Côte d'Ivoire, c'est-à-dire dans les différentes zones de végétation. En saison sèche (novembre à mars), on observe un maximum de ce rapport dans la zone de savane arborée. L'apport végétal est alors attribué aux feux de brousse (Crozat et al., 1978). Le phénomène est moins évident dans le Sud de la Côte d'Ivoire où, bien que nombreux, les feux ne peuvent prendre une grande

feu, le rapport R diminue pour atteindre des valeurs inférieures à 1 sur presque toute la Côte d'Ivoire en saison des pluies (juin à septembre). Ceci est dû à la fois à la diminution des concentrations en K et Ca d'origine terrigène et à l'apport de sodium marin. Le minimum est atteint en juillet pour les stations de l'intérieur (stations de Bouaké et de Niangbo). Par contre, en zone forestière, on observe une augmentation relative de ce rapport en juillet (stations d'Adiopodoumé et de Lamto). L'accroissement du rapport R est dû à un apport de potassium qui se présente dans les aérosols sous forme essentiellement soluble. Cette augmentation des concentrations en potassium est spécifique et ne s'observe pas pour le calcium. La Fig. 2 a été

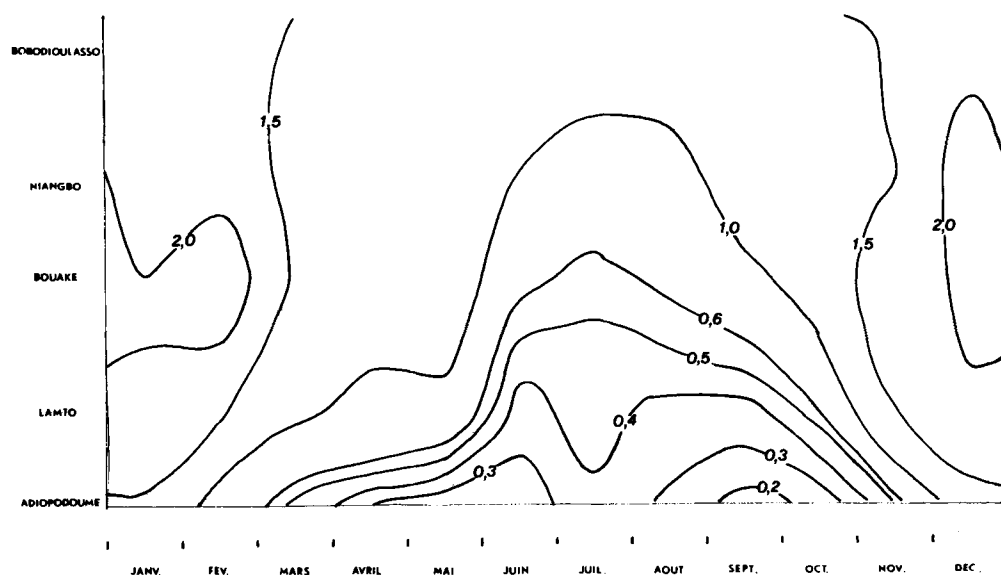


Fig. 2. Evolution du rapport $R = (K + Ca)/(Na + Mg)$ au cours de l'année dans les différentes stations de Côte d'Ivoire.

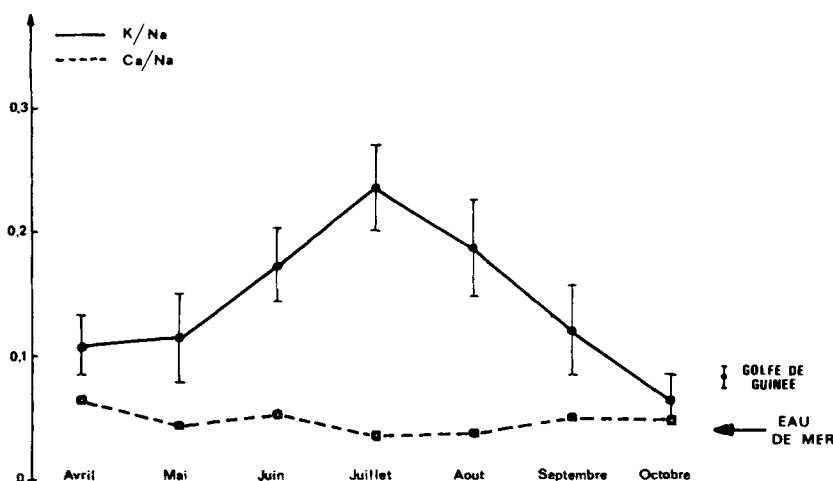


Fig. 3. Variation des rapports K/Na et Ca/Na dans la fraction hydrosoluble des aérosols collectés à Adiopodoumé.

établie à partir de plus de cent prélèvements dans chaque station, ce qui rend l'évolution du rapport R significative.

Dans la Fig. 3, nous avons porté l'évolution des rapports K/Na et Ca/Na dans la fraction hydrosoluble des aérosols collectés à Adiopodoumé. Le rapport K/Na dépasse 0,2 en juillet, c'est-à-dire en pleine saison des pluies, alors que le rapport Ca/Na reste constamment proche de celui de l'eau de mer. Cet apport de potassium ne peut être dû à la fraction terrigène des aérosols puisque les concentrations en Al et Fe, traceurs spécifiques de l'apport terrigène, sont alors très faibles. L'enrichissement en potassium d'origine marine a été envisagé (Buat-Menard, 1974). Des expériences en mer dans le Golfe de Guinée et sur le trajet

enrichi par rapport au sodium d'un facteur 2. Cet enrichissement n'est cependant pas suffisant pour expliquer les fortes proportions en potassium observées dans les aérosols en saison des pluies.

La zone forestière apparaissant, particulièrement en saison des pluies, comme une source possible de potassium, nous avons effectué dans la forêt tropicale du Banco, à proximité d'Abidjan, des prélèvements d'aérosols sur impacteurs à cascade et sur filtres Whatman 41. Ces prélèvements ont été faits alternativement de nuit et de jour. Suivant les saisons et la période de prélèvement, les pourcentages des différents éléments dans la fraction hydrosoluble sont les suivants (le Tableau 2 a été établi à partir de 30 prélèvements d'une durée de 3 jours):

Tableau 2. Proportions des différents éléments dans la fraction soluble des aérosols en forêt du Banco

	Jour				Nuit			
	Na	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg
Saison sèche	40	32	22	6	23	59	14	4
Brume sèche	35	20	39	6	31	22	41	6
Saison des pluies	66	27	3	4	43	53	2	2

Abidjan-Dakar nous ont conduits à observer des rapports K/Na de l'ordre de $0,06 \pm 0,02$, ce qui montre que le potassium semble effectivement

Le Tableau 3 permet de comparer les concentrations observées en saison des pluies dans deux stations voisines:

Tableau 3. *Comparaison des concentrations observées à Adiopodoumé et au Banco en saison des pluies ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*

	Adiopodoumé (jour et nuit)	Banco	
		Jour	Nuit
Na	2,74	1,47	0,74
K	0,60	0,76	0,92
Ca	0,14	0,05	0,07
Mg	0,37	0,15	0,10
Al	0,25	0,20	0,17

On note, tout d'abord, une augmentation relative du potassium la nuit. Or, la concentration en poussières est alors moindre; il existe un facteur 2 entre les concentrations en poussières mesurées le jour et la nuit et les teneurs de tous les éléments, excepté le potassium, diminuent ou restent à un niveau très faible. Le potassium a donc une autre origine, spécifique, qui ne peut être que la source végétale. Il est remarquable que la nuit, sauf pendant les courtes périodes de brume sèche (les aérosols sont alors très chargés en calcium), le potassium représente plus de la moitié de la fraction soluble des aérosols. En enlevant aux valeurs des concentrations du potassium les fractions pouvant provenir soit des aérosols marins, soit des aérosols terrigènes, nous avons pu évaluer le potassium d'origine végétale (le potassium d'origine marine a été évalué à partir du sodium en considérant un rapport moyen $\text{K}/\text{Na} = 0,06$. Le potassium terrigène est évalué à partir des concentrations en aluminium et en potassium en traçant la courbe $\text{K}/\text{Al} = f(1/\text{Al})$, l'ordonnée à l'origine étant considérée comme le rapport moyen K/Al dans la fraction terrigène). On constate que les concentrations sont deux fois plus fortes la nuit que le jour. Cette différence peut provenir d'une stabilité accrue de l'air pendant la nuit, provoquant une accumulation sous le couvert forestier, ou d'une émission nocturne du potassium par les plantes plus élevée. Dans l'état actuel de notre étude, il nous est difficile d'évaluer quantitativement les variations des flux de matière sous le couvert forestier. Les concentrations en radon, effectuées en forêt au niveau du sol, sont cependant plus importantes la nuit ce qui, en admettant un flux constant au niveau du sol, montre une plus grande stabilité de l'air la nuit. Le fait que les concentrations en poussières soient plus faibles la nuit

que le jour implique une diminution des échanges entre le niveau du sol et l'atmosphère au-dessus de la forêt, les échanges turbulents n'ayant alors lieu qu'au niveau du sommet des arbres (Labeyrie, 1974).

L'analyse granulométrique du potassium présent dans les aérosols en forêt montre qu'il se présente sous forme de petites particules (inférieures à 0,5 microns). Les diamètres de coupure (exprimés en microns) ont été déterminés à partir des données du constructeur et en fonction des corrections de débits (Marple, 1976). La Fig. 4 donne, à ce sujet, un exemple de répartition granulométrique obtenue à l'aide d'impacteurs à cascade. Nous avons au total effectué neuf prélèvements en forêt à l'aide des impacteurs à cascade. Il est certain que la forêt joue à la fois le rôle de pourvoyeur d'éléments et celui de filtre des composants particuliers et gazeux présents dans l'atmosphère. Mais, si elle capte les aérosols, probablement principalement par dépôt sur le couvert, elle ne les restitue que sélectivement, en fonction de la mobilité des éléments. C'est à ce niveau que le potassium joue un rôle particulier. Il faut en outre considérer que l'apport atmosphérique de potassium est petit devant la quantité totale circulant dans l'écosystème; le dépôt par la litière et le pluviollessivage est estimé à environ 140 kg/ha/an (Bernhard-Reversat, 1975) et on considère que dans une forêt à l'équilibre, ceci représente également la quantité de potassium absorbé par les végétaux.

Les augmentations relatives du potassium par rapport aux autres éléments s'expliquent donc par une modification du cycle absorption-restitution suivant l'élément considéré, cet équilibre se déplaçant, en ce qui concerne le potassium, dans le sens d'une plus grande restitution puisque, cet élément étant très mobile, il n'y a pas de raison de penser que son absorption par la végétation puisse être moindre que celle des autres éléments. L'émission de potassium par les plantes peut être attribuée au phénomène de "guttation" (Heller, 1969). Il s'agit d'une émission, due à une surpression d'eau à l'intérieur de la plante, de gouttelettes de solution diluée, cette sortie d'eau s'effectuant au niveau des feuilles par les stomates aquifères. Elle se produit en particulier par temps chaud en atmosphère saturée car la transpiration est alors supprimée tandis que l'absorption reste active. Les sels de la solution peuvent donc se retrouver, après évaporation, à la

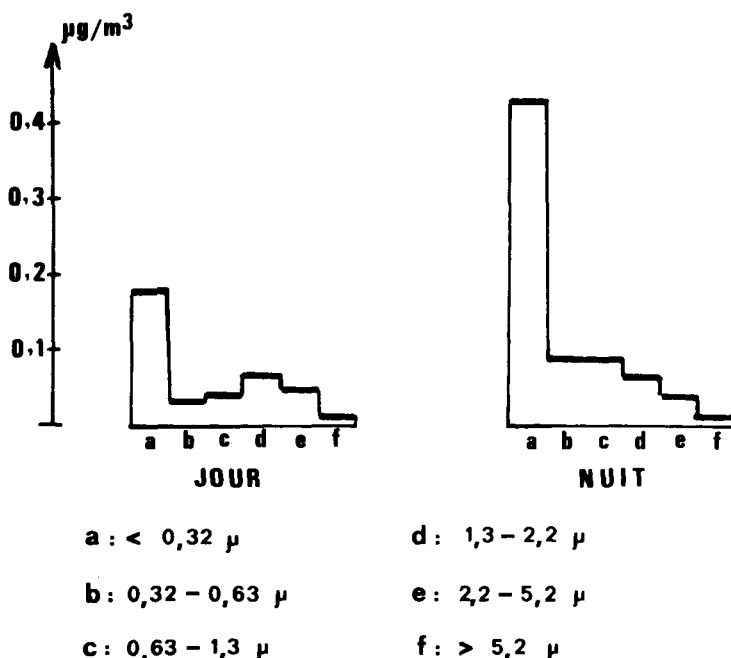


Fig. 4. Répartition granulométrique du potassium soluble présent dans les aérosols prélevés sur impacteurs à cascade en forêt tropicale (diamètres exprimés en microns).

surface de la feuille et constituer ensuite des aérosols. La guttation est donc favorisée par la forte humidité qui règne constamment, en particulier pendant la saison des pluies, dans la forêt tropicale du Banco (Cachan, 1963) où la saturation est atteinte durant toute la nuit. Ce liquide de guttation est particulièrement chargé en potassium (Goatley, 1966). Celui-ci étant un élément très mobile et s'accumulant préférentiellement au niveau des feuilles, il a été observé (Humble, 1971) une corrélation entre l'ouverture des stomates et l'accumulation du potassium à leur niveau. L'influence de la lumière sur le phénomène est

controversée (Tukey, 1960). La guttation de certaines espèces tropicales est si vigoureuse que l'eau s'expulse littéralement des feuilles pendant la nuit. Les concentrations en potassium étant de l'ordre de 50 ppm (Kramer, 1959) et les taux d'émission de 1 mg/mm²/heure (Stewart, 1959), ce sont donc de grandes quantités de potassium qui sont ainsi émises par le couvert forestier. Une grande partie est cependant vraisemblablement lessivée par la pluie ou la rosée et retourne au sol, une faible partie seulement se retrouvant à l'état d'aérosol, suffisante pour constituer une source importante du potassium présent dans les aérosols.

BIBLIOGRAPHIE

- Bowen, H. J. M. 1966. The elementary composition of living matter. In *Trace elements in biochemistry*.
- Bernhard-Reversat, F. 1975. Recherche sur les cycles biogéochimiques des éléments minéraux majeurs en milieu forestier sub-équatorial (Côte d'Ivoire). Thèse Faculté des Sciences d'Orsay, 7/7/1975.
- Buat-Menard, P., Morelli, J. et Chesselet, R. 1974. Water-soluble elements in atmospheric particulate matter over tropical and equatorial Atlantic. *J. Rech. Atm.* VIII (3-4), 661-673.
- Cachan, P. et Duval, J. 1963. Variations micro-climatiques verticales et saisonnières dans la forêt sempervirente de Basse Côte d'Ivoire. *Ann. Fac. Sc. Dakar T. 8*, 5-87.
- Crozat, G., Domergue, J. L., Bogui, V. et Fontan, J. 1973. Étude de l'aérosol atmosphérique en Côte d'Ivoire et dans le Golfe de Guinée. *Atmos. Environ.* 7, 1103-1116.
- Crozat, G., Barlet, A., Domergue, J. L. et Broche, J. 1977. Application de l'absorption atomique à l'étude

- de la composition chimique des aérosols atmosphériques. *Chemosphere* (à paraître).
- Crozat, G., Domergue, J. L., Baudet, J. et Bogui, V. 1978. Influence des feux de brousse sur la composition chimique des aérosols atmosphériques en Afrique de l'Ouest. *Atmos. Environ.* 12, 9, 1917.
- Goatley, J. L. et Lewis, R. W. 1966. Composition of guttation fluid from rye, wheat and barley seedlings. *Plant Phys.* 41, 373–375.
- Greenland, D. J. et Kowal, J. L. M. 1960. Réserve nutritive de la forêt tropicale du Ghana. *Plant and Soil* 12, 154–174.
- Heller, R. 1969. *Biologie Végétale, II. Nutrition et Métabolisme*, pp. 281–282. Paris: Masson.
- Humble, G. D. et Raschke, K. 1971. Stomatal opening quantitatively related to potassium transport. *Plant Phys.* 48, 447–453.
- Kramer, P. J. 1959. Transpiration and the water economy of plants. In *Plant phys.* (ed. F. C. Stewart), II, 607–726. Academic Press.
- Labeyrie, J. et Jehanno, C. 1974. Retombées atmosphériques et fertilité du sol en Gascogne. *Jour. Rech. Atm.* III, 921–937.
- Lambert, C. 1977. Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences d'Abidjan. Communication personnelle.
- Marple, V. A. et Willeke, K. 1976. Impactor design. *Atmos. Environ.* 10, 891–896.
- Monnier, Y. 1968. Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte d'Ivoire. *Etudes Eburiennes IX*, 11–14.
- Stewart, F. C. 1959. Plants in relation to inorganic salts. In *Plant phys.* (ed. F. C. Stewart), Vol. II, pp. 253–478. Academic Press.
- Tukey, H. B. Jr. 1960. The leaching of substances from plants. *Ann. Rev. Plant Phys.* 21, 305–323.

ОБ ЭМИССИИ ТРОПИЧЕСКИМ ЛЕСОМ АЭРОЗОЛЯ, ОБОГЩЕННОГО КАЛИЕМ

В различных местах Берега Слоновой Кости исследовались атмосферные аэрозоли. О роли растительности как источнике аэрозоля, можно получить обоснованные заключения. Представляется, что тропический лес является главным

источником аэрозоля, производимого растительностью в дождливые сезоны. Показано, что особенно важным при этом является производство аэрозолей, богатых калием.