

Mise en évidence des sources naturelles de sulfate en milieu tropical humide

Par R. DELMAS, J. BAUDET¹ et J. SERVANT,² *Faculté des Sciences, BP no 4322 Abidjan, Côte d'Ivoire¹ et Laboratoire de Physique des Aérosols et Echanges Atmosphériques—C.P.A.—118 route de Narbonne 31077 Toulouse Cedex, France²*

(Manuscrit reçu le 3 mars; révisé le 2 juin 1977)

RESUMÉ

Une étude des sources naturelles de soufre a été faite dans une zone peu polluée et favorable aux dégagements naturels de gaz soufrés: la forêt équatoriale humide de Côte d'Ivoire. On a mesuré pour cela, entre Novembre 1974 et Août 1975, la variation de la fraction soluble des sulfates dans l'air dans deux stations différentes. Adiopodoumé et Lamto respectivement à 10 et 100 kilomètres de la mer.

L'estimation des sources directes de sulfates (océanique et terrigène) au moyen d'éléments représentatifs (Cl et Ca) montre que celles-ci ne représentent que 30% des sulfates solubles présents dans l'air.

La différence (70%) serait due à l'oxydation dans l'air de composés soufrés gazeux, comme le confirment les mesures de SO₂ effectuées entre décembre 1975 et mars 1976. En effet, on observe une variation annuelle de la concentration en sulfates avec de fortes valeurs (3 µg m⁻³) en Janvier et Juillet et de faibles valeurs (0,5 µg m⁻³) en fin de saison sèche (Mai).

D'autre part, les concentrations en sulfates et SO₂ décroissent en allant de la zone forestière vers la savane. En l'absence de sources locales de pollution, ces dégagements naturels s'expliquent par la décomposition de la matière organique dans la forêt et la lagune Ebrié. L'apport océanique de SO₂ paraît peu important à partir des données obtenues au cours de deux campagnes dans le Golfe de Guinée.

ABSTRACT

The natural sources of sulphur in the moist equatorial forest of the Ivory Coast have been studied. From November 1974 to August 1975, the variation of the soluble fraction of atmospheric sulphates in two different stations, Adiopodoumé and Lamto, 10 and 100 km from the seaside respectively, has been considered.

The estimating of the direct sources of sulphates (oceanic and terrigenous) by means of representative elements (Cl and Ca) shows that these sources account for only 30% of the atmospheric soluble sulphates.

The difference (70%) might be due to the oxidation of gaseous sulphur compounds in the air as confirmed by SO₂ measurements made from December 1975 to March 1976. As a matter of fact, an annual variation of the concentrations of sulphates with high values (3 µg m⁻³) in January and July and with low values (0.5 µg m⁻³) at the end of the dry season (May) has been observed. Moreover, the concentrations of sulphates and of SO₂ decrease when comparing the forest belt with the savannah. As there are no local sources of pollution, these natural emissions are explained by the decomposition of organic matter in the forest and in the Ebrié Lagoon.

From the data obtained during two campaigns in the Gulf of Guinea, the oceanic flux of SO₂ is thought to be unimportant.

1. Introduction

Le soufre est considéré en chimie de l'atmosphère comme un des éléments les plus importants

en raison de l'agressivité pour l'environnement des dérivés acides auxquels il conduit (acide sulfurique, sulfates...). La source anthropogénique est en grande partie responsable de l'acidité forte des

eaux de pluie en Europe. Un comité suédois (Sweden's case study, 1971) a ainsi évalué les conséquences importantes de cette acidité pour l'environnement.

A côté de la source anthropogénique de SO_2 , il existe des sources naturelles de composés soufrés de natures diverses. Les plus connues sont les émissions océaniques de sulfates et les émissions volcaniques. On connaît aussi la possibilité de formation de composés soufrés gazeux (H_2S , mercaptans) dans les processus de décomposition en milieu anaérobie en particulier.

Lorsque l'on fait le bilan du soufre sur le globe (Kellog et al., 1972; Friend, 1973), on constate que les sources connues anthropogéniques (50 MT de S/an) et océaniques (44 MT de S/an) sont bien inférieures au dépôt total mesuré (183 MT de S/an). On est donc conduit à supposer que l'excès de soufre, nécessaire pour équilibrer le bilan provient en grande partie de dégagements de H_2S ou de mercaptans à partir des océans et des continents.

Cependant, ces composés réagissant rapidement en milieu oxydant, leurs concentrations dans l'air sont très faibles (0, 01 à 1 ppb) ce qui rend leur mesure délicate (Rasmussen, 1974; Brinkmann et al., 1974) et ils n'ont pas encore été réellement mis en évidence à grande échelle dans l'atmosphère.

Une autre manière d'estimer l'importance de ces sources naturelles est d'étudier l'abondance et l'origine des sulfates dans une zone très peu polluée où la décomposition des matières végétales est intense. C'est cette approche que nous avons choisie, en nous plaçant dans la forêt équatoriale de Côte d'Ivoire, où le climat favorise la décomposition des végétaux morts et par conséquent la formation des composés soufrés gazeux.

Nous avons aussi étudié l'influence des conditions climatiques auxquelles est soumise la forêt en plaçant une station près de l'Océan (Adiopodoumé) et une station à la limite de la savane (Lamto). Pour tenir compte des sources directes de SO_4 (océanique et terrigène) des dosages de chlore et de Ca ont été effectués. Une troisième station très empoussiérée située en Haute Volta (Ouagadougou) a servi pour déterminer le rapport SO_4/Ca de la fraction terrigène.

2. Sites de prélèvements et méthodes analytiques

Les prélèvements d'aérosols ont été effectués

Tellus 30 (1978), 2

d'octobre 1974 à août 1975 et les prélèvements de SO_2 de décembre 1975 à mars 1976.

2.1. Situation météorologique générale

La Côte d'Ivoire est soumise à l'influence de deux masses d'air: l'une chaude et sèche, l'autre tiède et humide. La surface de séparation de ces deux masses d'air est appelée le front intertropical (F.I.T.). Ce FIT se déplace au cours de l'année, en hiver il descend en latitude (environ 7°N en Côte d'Ivoire) et remonte en été (22°N). Au Nord du FIT, les vents de secteur Nord-Est (Harmattan) sont secs et chargés de poussières terrigènes, au Sud, les vents de secteur Sud à Sud-Ouest (Mousson) sont généralement tièdes et humides avec des aérosols marins. La saison des pluies, apportées par la Mousson, s'étale de Mai à Juillet.

2.2. Sites

Adiopodoumé: Site sous l'influence maritime, situé en forêt humide à 10 km de l'océan, au bord de la lagune Ebrié. Sa position à l'Ouest d'Abidjan le soustrait en permanence au panache de la ville, les vents dominants étant de Sud-Ouest (brise de mer et mousson).

Lamto: En forêt à la limite de la savane à 120 km de la mer, au Nord-Ouest d'Adiopodoumé.

Ouagadougou: En Haute-Volta distant de 750 km de la mer. Utilisé en saison sèche en raison du fort empoussièrément pour déterminer le rapport SO_4/Ca des poussières terrigènes.

Abidjan: Quartier résidentiel de la ville (1 000 000 h), au Nord-Est, dans l'enceinte de l'Université.

La situation des points de prélèvements est donnée dans la figure 1. On observa que la forêt couvre environ 120 000 km^2 , et qu'elle est soumise à l'influence maritime; Ouagadougou, en Haute-Volta, au contraire, est en dehors de l'influence de la zone forestière et océanique.

2.3. Prélèvements

Les prélèvements sont effectués à 6 mètres au-dessus du sol; pour les sulfates deux prélèvements de 3 à 4 jours par semaine; pour le SO_2 , deux prélèvements de 24 heures par semaine.

2.4. Méthode de dosages

SO_4 : Les aérosols sont prélevés sur filtre Whatman 41, efficacité: 97% surface = 120 cm^2 ; débit d'air: 10 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$; volume total filtré: 750 à 1 000 m^3 . Les filtres découpés sont chauffés à

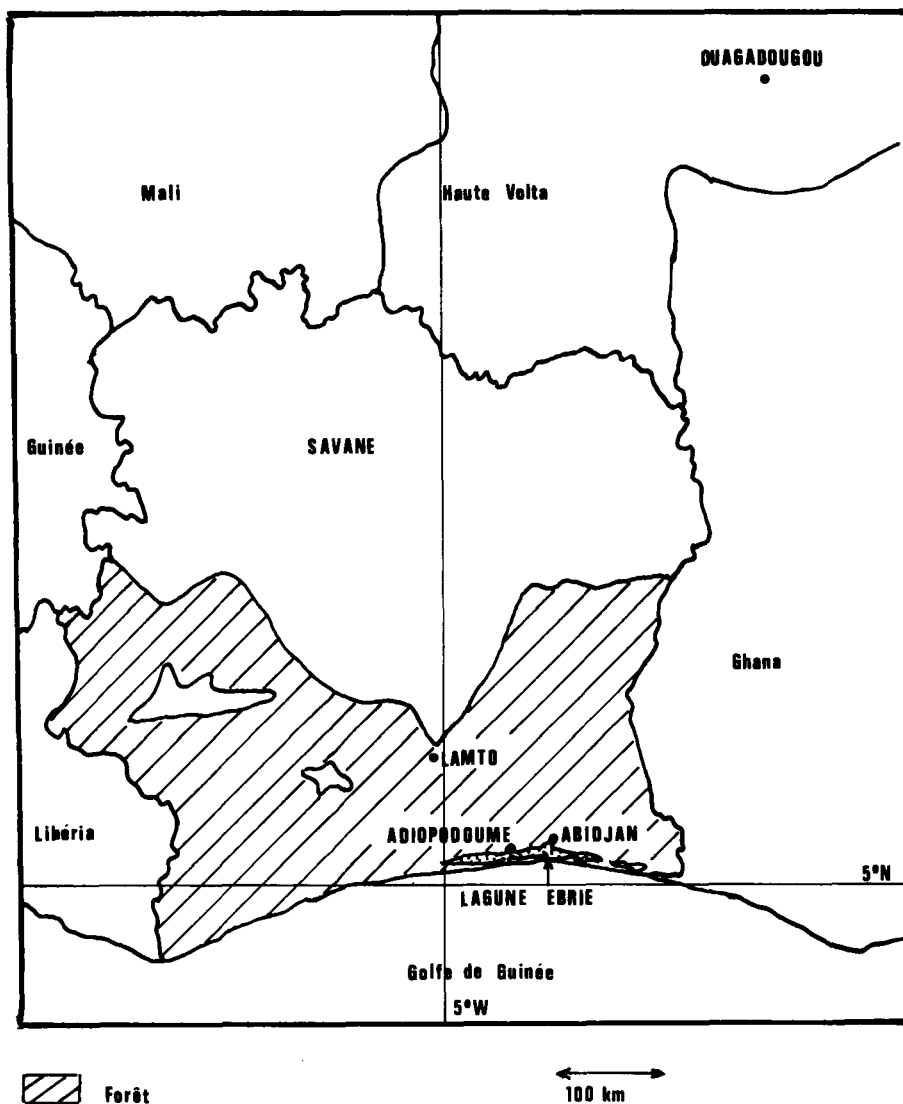


Fig. 1. Position des stations de mesure (Adiopodoumé, Abidjan et Lamto, Côte d'Ivoire; Ouagadougou, Haute-Volta).

50°C dans 20 cm³ d'eau distillée pendant une heure. Après centrifugation les sulfates sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique et une méthode indirecte (sels de Baryum). $\lambda = 553,6$ nm; Sensibilité: 0,2 $\mu\text{g m}^{-3}$; Erreur = 15%.

Cl: Dosage sur la fraction soluble, obtenue par lavage du filtre Whatman 41, par spectrophotométric d'absorption atomique et une méthode indirecte (sels d'Argent). $\lambda = 328,0$ nm; Sensibilité: 0,05 μm^{-3} ; Erreur: 10%.

Na, K, Ca: Dosage sur la fraction soluble par spectrophotométrie d'absorption atomique. λ Na = 589,0 nm; Sensibilité = 0,003 $\mu\text{g m}^{-3}$; Erreur = 3%. λ K = 766,5 nm; Sensibilité = 0,01 $\mu\text{g m}^{-3}$; Erreur = 3%. λ Ca = 422,7 nm; Sensibilité = 0,03 $\mu\text{g m}^{-3}$; Erreur = 2%.

Al: Dosage sur la fraction insoluble obtenue par attaque fluoro-perchlorique du filtre Whatman 41, par spectrophotométrie d'absorption atomique. $\lambda = 309,2$ nm; Sensibilité: 0,15 $\mu\text{g m}^{-3}$; Erreur 3%.

SO₂: Après arrêt des aérosols par un filtre millipore ($\varphi = 0,45 \mu$), le SO₂ est piégé par barbotage dans une solution d'acétate de zinc (220 g l⁻¹) glycéinée à 1%. Volume de la solution = 20 cm³; Débit d'air = 0,1 m³ h⁻¹; Volume total du prélèvement: 2,4 m³. Dosage par spectrophotométrie à l'aide d'un réactif pyridine nitroprussiate de sodium (Bourbon et al., 1971).

3. Caractérisation des différentes sources solides de sulfates

3.1. Source marine

L'élément qui présente le moins d'ambiguïté pour caractériser cette source est le chlore. En effet, il est peu abondant dans les sols (100 ppm environ) et très abondant dans les eaux océaniques (36 · 10⁶ ppm) (Bowen, 1966). On peut supposer à l'origine que le rapport SO₄/Cl dans un noyau océanique est identique à celui de l'eau de mer (SO₄/Cl = 0,14). Un enrichissement éventuel en sulfates des particules marines ou une perte de chlore au niveau des gros noyaux (Martens, 1973) peut provoquer une légère modification du rapport SO₄/Cl, néanmoins en raison de l'influence relativement faible de la source marine dans l'émission globale de sulfates, l'erreur commise doit être peu importante (figure 2).

3.2. Source terrigène

3.2.1. *Zone sahélienne.* A Ouagadougou en saison sèche le rapport sulfate/calcium dans la fraction soluble varie peu. Il est compris entre 0,80 et 1,50 avec une valeur moyenne de 1,16 (figure 3). En saison sèche, les particules sont essentiellement d'origine terrigène, émises par des sources locales et sahariennes (phénomène de brume sèche—Bertrand, 1974).

3.2.2. *Zone forestière.* Pour calculer la part de sulfates d'origine terrigène dans la zone forestière, il est nécessaire de connaître la quantité de calcium soluble d'origine terrigène. Dans cette zone 20% environ du calcium soluble provient d'une autre source (peut être de la source végétale, Crozat et al., 1976). On détermine alors la teneur en Ca(s) terrigène par celle de l'aluminium et le rapport:

$$\text{Ca(s)/Al} = 0,2$$

$$\text{Ca(s) terrigène } (\mu\text{g m}^{-3}) = (\text{Al}) \times 0,2 (\mu\text{g m}^{-3})$$

La part de sulfate d'origine terrigène dans la zone forestière sera donc égale à:

$$\text{SO}_4 \text{ Terrigène} = \text{Ca}_{\text{Terrigène}}$$

$$\times (\text{SO}_4 \text{ (s)}/\text{Ca(S)})_{\text{Ouagadougou}} = \text{Ca}_T \times 1,16$$

$$(\text{SO}_4)_{\text{Terrigène}} (\mu\text{g m}^{-3}) = \text{Al} \times 0,2$$

$$\times 1,16 = (\text{Al}) \times 0,23 (\mu\text{g m}^{-3})$$

4. Résultats

En partant des teneurs moyennes de l'air en SO₄, Cl, Ca et Al et des rapports SO₄/Cl, SO₄/Ca discutés précédemment on calcule les moyennes des contributions des différentes sources (tableau 1).

L'origine atmosphérique des sulfates, c'est-à-dire supposés provenant du SO₂ atmosphérique dans les deux stations est donc très nette puisque les deux autres sources ne représentent que 30% du total.

En outre, la teneur totale de l'air en sulfate montre une variation saisonnière, avec un minimum avant la saison des pluies dans les deux stations (figures 4 et 5). En moyenne, les teneurs sont plus élevées à Adiopodoumé qu'à Lamto. Ces faits trouvent une explication par l'analyse séparée des différentes composantes de l'apport en sulfates.

4.1. Source marine

La comparaison des figures 4 et 5 montre qu'elle est environ deux fois plus forte à Adiopodoumé qui est situé près de la mer. La variation saisonnière de cette source dans les deux stations est peu importante et les concentrations de sulfates d'origine marine restent inférieures à 0,5 $\mu\text{g m}^{-3}$. On note une légère augmentation de la concentration, 60% et 100% respectivement à Adiopodoumé et à Lamto, pendant la saison des pluies en mai, juin et juillet. A cette époque, le flux de mousson correspond à une augmentation générale de la concentration des sels marins dans la zone forestière. La source marine est celle qui présente le moins de variation saisonnière dans chacune des stations.

4.2. Source terrigène

Les concentrations de l'air en particules d'origine terrigène sont comparables au bord de la mer et en forêt à la limite de la savane (figures 4 et 5). Ce qui

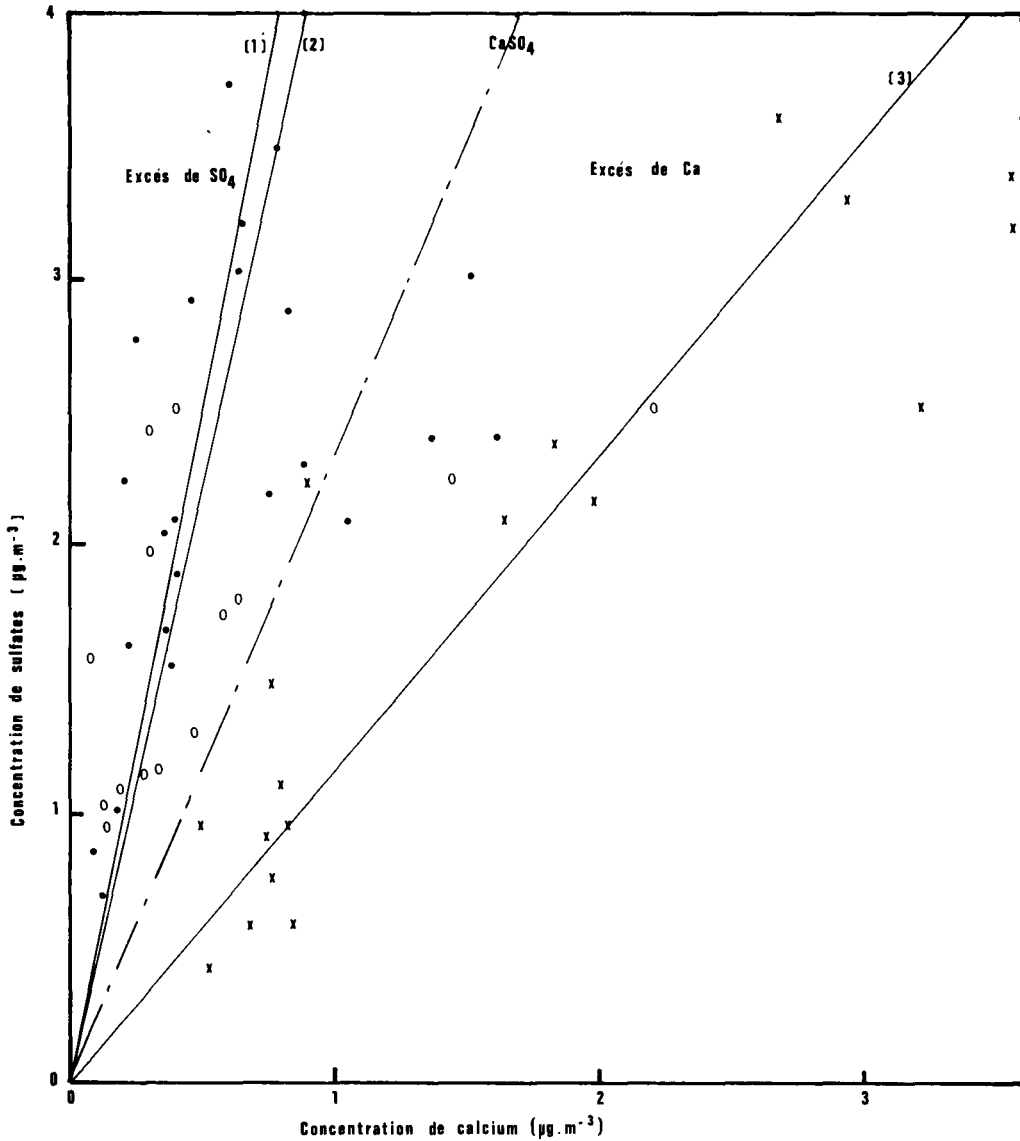


Fig. 2. Concentration de sulfates en fonction de la concentration de calcium dans la phase particulaire soluble dans l'atmosphère au sol, en saison sèche (Janvier à Mai 1975) (○ (1) Lamto, ● (2) Adiopodoumé, × (3) Ouagadougou). Par rapport à CaSO_4 ($\text{SO}_4/\text{Ca} = 2,2$), il existe deux zones: l'une avec un excès de SO_4 où se trouve Lamto ($\text{SO}_4/\text{Ca} = 5,0$) et Adiopodoumé ($\text{SO}_4/\text{Ca} = 2,4$), l'autre avec un excès de Ca où se trouve Ouagadougou ($\text{SO}_4/\text{Ca} = 1,1$).

est remarquable c'est la variation annuelle simultanée dans les deux stations: de novembre à mars une période de fortes concentrations de l'ordre de $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ de SO_4 , d'avril à août une période de faibles concentrations qui peuvent s'abaisser jusqu'à $0,05 \mu\text{g m}^{-3}$. Ces variations sont liées à l'oscillation en latitude du front intertropical.

On remarquera que le phénomène de nettoyage par les pluies n'est pas marqué pour les noyaux d'origine marine, dans l'air continental, il y a toujours du chlore particulaire et en quantité suffisante pour que le changement de masse d'air (continentale puis maritime) ne provoque qu'une légère augmentation des concentrations de Cl parti-

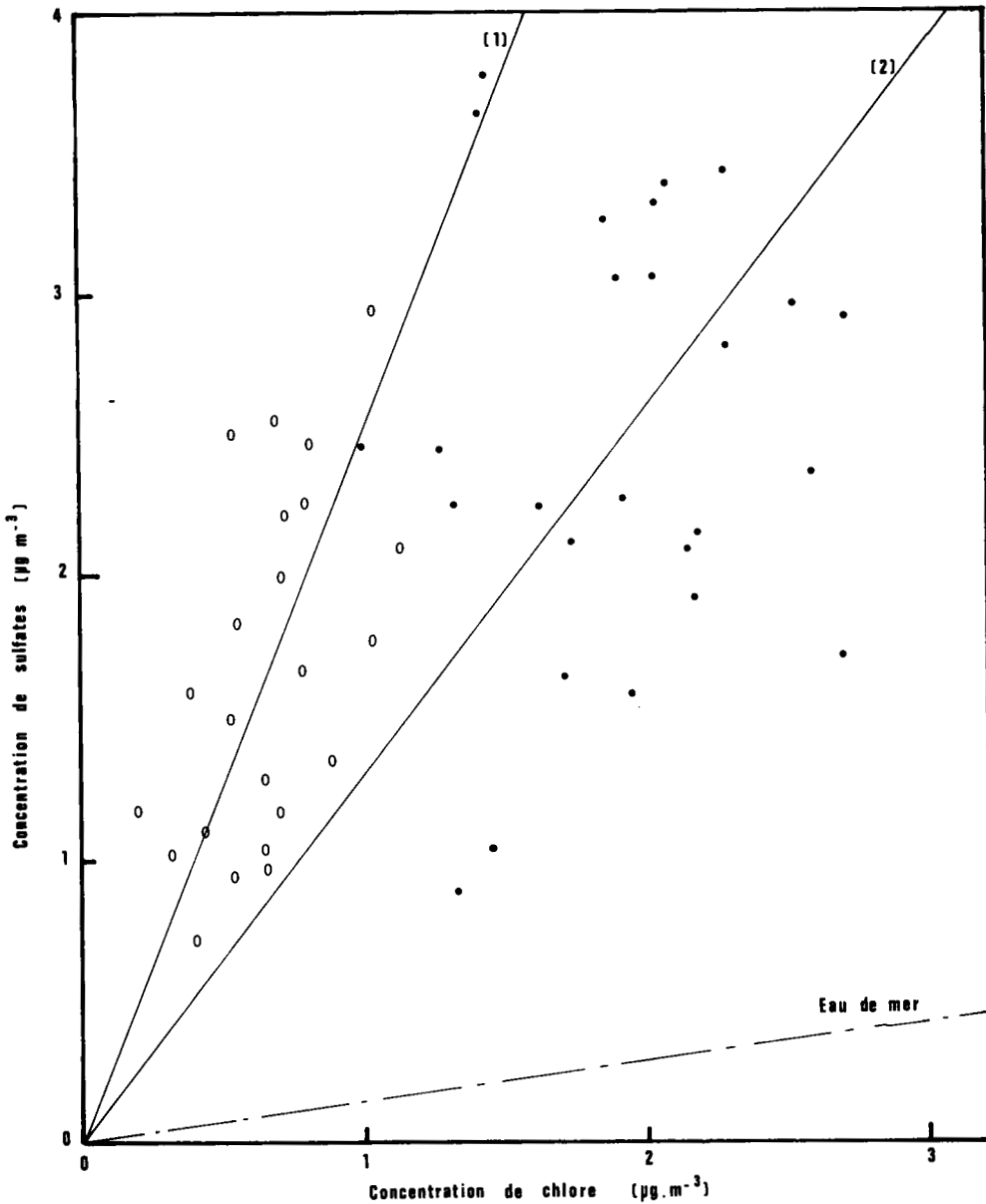


Fig. 3. Concentration de sulfates en fonction de la concentration de chlore dans la phase particulaire soluble dans l'atmosphère au sol, en saison sèche (Janvier à Mai 1975) (○ (1) Lamto, ● (2) Adiopodoumé). Dans les deux stations, les rapports moyens SO_4/Cl égaux respectivement à 0,4 (Lamto) et 0,8 (Adiopodoumé) sont supérieurs à celui de l'eau de mer (0,14).

culaire. En saison sèche, les poussières au sol sont un mélange de poussières continentales et océaniques; en saison humide les noyaux océaniques sont seuls présents.

Tellus 30 (1978), 2

4.3. Source atmosphérique

On a montré précédemment (tableau 1) qu'une fraction des sulfates peut provenir de la transformation dans l'atmosphère du SO_2 . On appellera

Table 1. Teneurs moyennes d'octobre 1974 à août 1975 de l'air en sulfates à Adiopodoumé et Lamto et origine des sulfates

Station	Teneur moyenne SO ₄ (µg m ⁻³)	Origine (%)		
		SO ₂	Terrigène	Marine
Adiopodoumé	1,77	67	13	20
Lamto	1,30	72	17	11

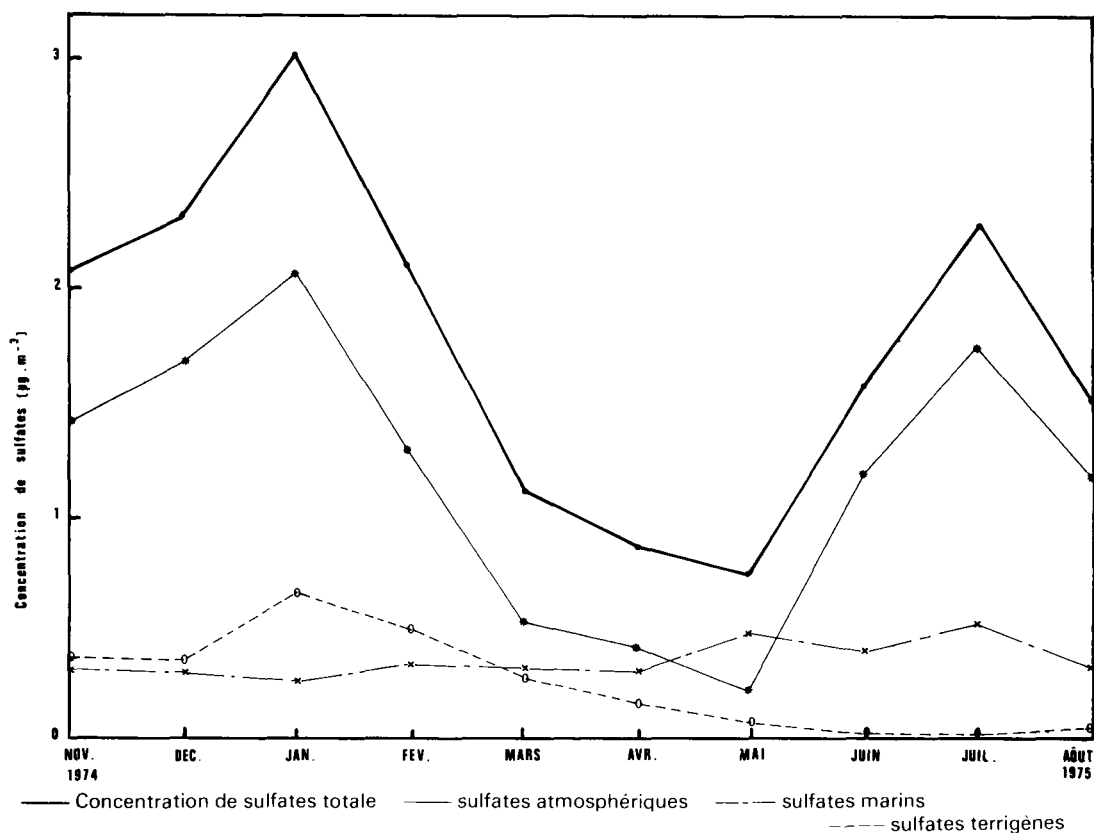


Fig. 4. Variations mensuelles des concentrations de sulfates dans la phase particulaire soluble dans l'air atmosphérique près du sol à Adiopodoumé.

ces sulfates, sulfates atmosphériques, leur teneur est obtenue en soustrayant de la teneur totale la somme des sulfates "marins" et "terrigenes".

Dans les deux stations, la teneur de l'air en sulfates atmosphériques présente une variation annuelle. Le niveau est plus bas de mars à mai à Adiopodoumé et de janvier à mai à Lamto (figures 4 et 5). Il augmente dans les deux stations à partir de juin au début de la saison des pluies (juin–juillet)

le minimum se situe vers février en fin de saison sèche (avril–mai). L'amplitude des variations est 9,4 à Adiopodoumé (2,06 et 0,22 µg m⁻³) et 6,4 à Lamto (1,40 et 0,22 µg m⁻³).

L'augmentation de la teneur en SO₄ atmosphérique avec le début de la saison des pluies laisse supposer que les gaz précurseurs donnant naissance aux sulfates ont une source qui augmente d'intensité dès le début des pluies, ce qui peut s'expli-

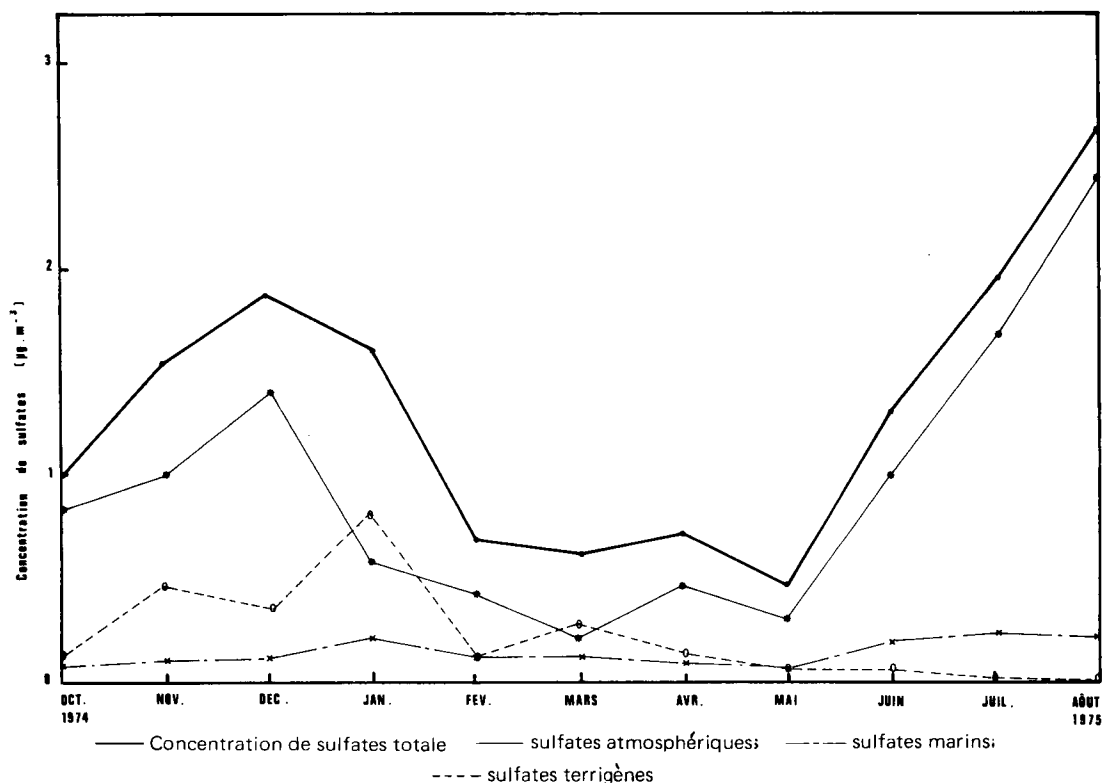


Fig. 5. Variations mensuelles des concentrations de sulfates dans la phase particulaire soluble dans l'air atmosphérique près du sol à Lamto. Les sulfates terrigènes et marins sont estimés à partir des concentrations en Cl et Ca, les sulfates atmosphériques sont obtenus par différence entre sulfates totaux-sulfates (terrigènes + marins).

quer par des raisons géographiques et climatiques. La forêt du Sud de la Côte d'Ivoire est une forêt du type dense humide où les chutes de feuilles les plus abondantes se situent en janvier et février. Le tapis végétal mort au sol augmente donc à cette époque, mais la décomposition de cette matière organique ne commence vraiment qu'au début de la saison des pluies, car pendant les mois de mars, avril et mai la pluviométrie est relativement faible (figure 6) et déficitaire (inférieure à l'évapotranspiration potentielle). La décomposition se poursuit après la grande saison des pluies en raison de l'excédent d'eau emmagasinée en juin et juillet par le tapis végétal du sol.

Bien qu'étant de type dense humide, la forêt du Sud de la Côte d'Ivoire n'est pas uniforme. A Adiopodoumé, il s'agit d'une forêt dense humide sempervirente alors qu'à Lamto, c'est une forêt dense humide semi-décidue (Guillaumet, 1971) caractérisée par une végétation moins dense, de plus la pluviométrie est plus importante à Adiopou-

doumé (figure 6). Ceci peut permettre d'expliquer une différence de l'intensité de la source de sulfates atmosphériques entre les deux stations.

Dans les deux stations, le niveau des sulfates atmosphériques dans l'air est en général deux fois—ou plus—supérieur au niveau des sulfates des autres sources. Cependant, en mai à Adiopodoumé, et en janvier et mars à Lamto, il est inférieur à celui des sulfates terrigènes. Pour vérifier ces résultats, on doit rechercher une source locale de SO_2 d'intensité suffisante pour expliquer les teneurs de sulfates en excès dans l'air.

5. Existence d'une source locale de dioxyde de soufre

Différents auteurs ont montré que la décomposition de la matière organique en présence de bactéries spécifiques conduisait à des dérivés soufrés gazeux, en particulier Rasmussen (1974)

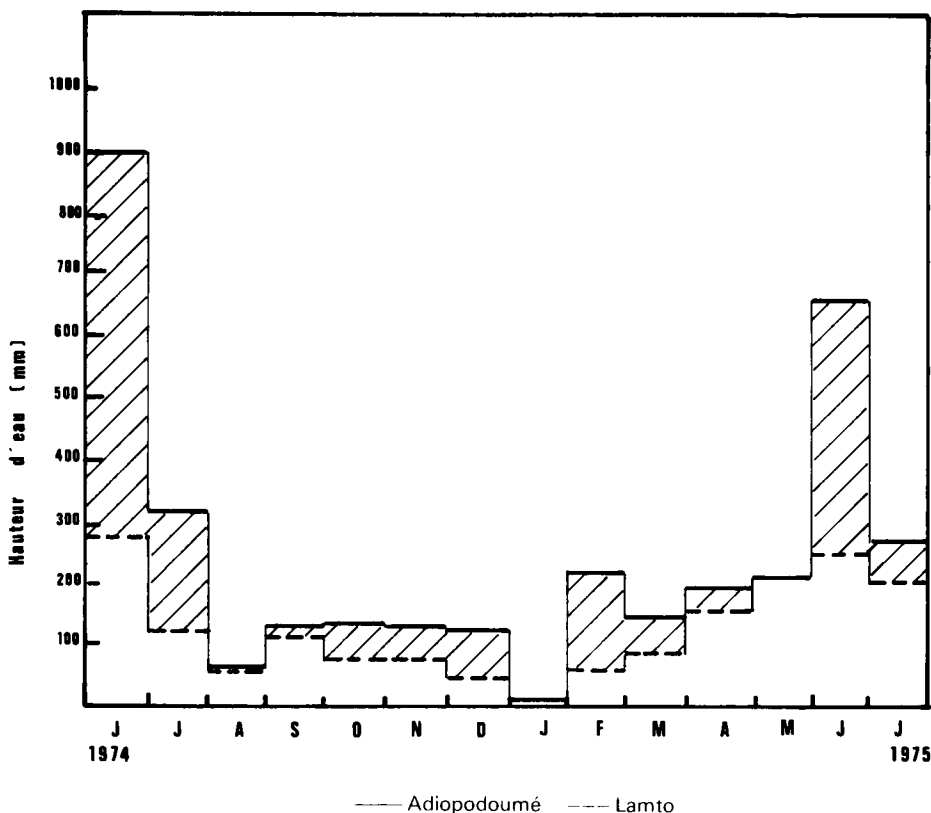


Fig. 6. Pluviométrie mensuelle à Lamto et à Adiopodoumé de juin 1974 à Juillet 1975.

indique que les mercaptans sont abondants dans les conditions anaérobies. Tous ces gaz s'oxydent dans l'atmosphère pour donner des sulfates, cependant, des gaz intermédiaires dans ces chaînes d'oxydation existent et le plus connu est le dioxyde de soufre.

Des mesures ont été effectuées de décembre 1975 à avril 1976 (figure 7). Elles ont mis en évidence une source importante de SO_2 au niveau de la zone forestière et de la lagune Ebrié.

A Adiopodoumé, les concentrations en SO_2 sont très élevées pour un site situé en milieu naturel très peu pollué puisqu'elles atteignent un maximum de $30 \mu\text{g m}^{-3}$ et une valeur moyenne de $10 \mu\text{g m}^{-3}$.

A Lamto, les concentrations sont plus faibles environ 2 à $3 \mu\text{g m}^{-3}$. Il est à noter une forte augmentation, jusqu'à $10 \mu\text{g m}^{-3}$ en janvier pendant la période des feux de brousse. Pendant cette période, la combustion du soufre contenu dans les végétaux est certainement une source de SO_4 non négligeable

compte tenu de l'importance de ce phénomène dans toute la région de savane de l'Ouest Africain.

Dans les deux stations, ces teneurs en SO_2 sont donc supérieures à celles de SO_4 atmosphériques qui ne dépassent pas $2 \mu\text{g m}^{-3}$. Il existe donc une source atmosphérique gazeuse d'intensité suffisante pour rendre compte des sulfates autres que océaniques ou terrigènes. Cette source est naturelle. En effet, bien que très peu industrialisée, cette région de la côte africaine a des sources artificielles de SO_2 . Une source proche est la ville d'Abidjan (1 000 000 h). Des mesures effectuées en février 1976 montrent que les teneurs sur le campus de l'Université, c'est-à-dire sous le vent de la ville sont de l'ordre ou inférieures à celles observées en forêt (5 à $10 \mu\text{g m}^{-3}$).

Il est à remarquer que la ville d'Abidjan est très étendue et que les seules sources industrielles de pollution sont la Centrale Thermique et la raffinerie de pétrole situées à environ 10 km de l'Université. Adiopodoumé situé à l'Ouest, à 20 km

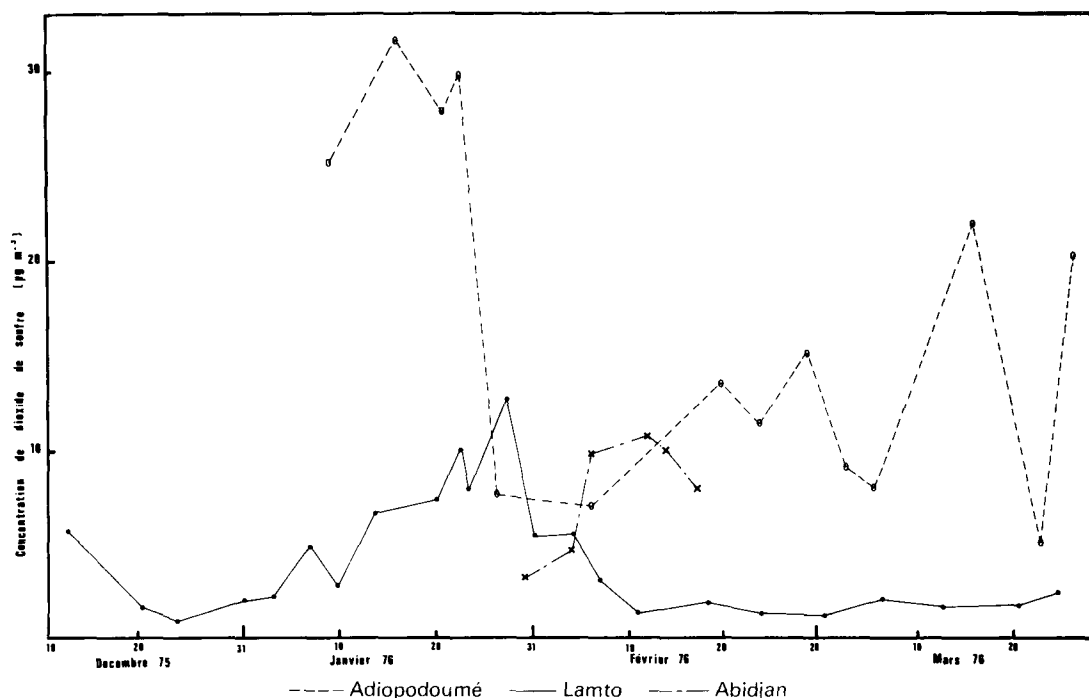


Fig. 7. Concentration de SO_2 dans l'air atmosphérique près du sol à Adiopodoumé à Lamto et à Abidjan. Dans la savane le mois de janvier est la période de feu de brousse; du 20 au 30 janvier ces feux sont à proximité de la station de Lamto et entraînent une augmentation de la concentration de SO_2 .

n'est pas dans le panache de la ville, car les vents dominants brise de mer et mousson (alizés) sont de Sud-Ouest. Au contraire la ville peut recevoir de l'air chargé en SO_2 naturel en provenance de la zone côtière et de la lagune. Des sources lointaines ne sont pas exclues. Parmi les sources naturelles possibles une source océanique peut être envisagée, pour vérifier ce point deux campagnes océaniques ont été réalisées, une première entre Dakar et Abidjan, une seconde sur le méridien d'Abidjan jusqu'à 2° de latitude Sud, dans le Golfe de Guinée. Les teneurs en SO_2 déterminées sont comprises entre $0,5$ et $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$ un apport important de SO_2 d'origine océanique est donc exclu.

6. Conclusions

Les teneurs en sulfates dans l'air au-dessus de la Côte d'Ivoire sont relativement importantes, jusqu'à $4 \mu\text{g m}^{-3}$ près de la mer à Adiopodoumé. Ces sulfates sont issus de sources naturelles, les unes solides (marine et terrigène) et une autre gazeuse.

La source terrigène n'est pas négligeable surtout en période sèche et en particulier dans la zone sahélienne. A poids de poussière égal, elle est certainement plus importante qu'en de nombreuses régions du globe parce que la teneur en SO_4 de l'aérosol d'origine éolienne est au moins sept fois plus importante que celle calculée d'après la moyenne mondiale des sols (Bowen, 1966).

Cependant, il existe une source plus importante qui paraît localisée au niveau de la forêt tropicale et des lagunes près de la mer. Cette source fournirait en particulier du SO_2 en quantité notable en période de pluies. Ce SO_2 vient certainement de l'oxydation de dérivés soufrés émis lors de la décomposition bactérienne de la matière organique. Les teneurs en SO_4 de cette source décroissent dans la région proche des zones de savane et la production de SO_2 décroît aussi.

Les valeurs moyennes de l'ordre de $10 \mu\text{g m}^{-3}$ de SO_2 sont très importantes, comparables à celles des zones urbaines et supérieures à celles des zones rurales d'Europe. En l'absence de sources artificielles importantes, une source naturelle existe donc

au niveau des forêts tropicales et équatoriales humides et conduit à un dégagement non négligeable de dérivés soufrés dans l'atmosphère des zones intertropicales du type de celles qui existent en Côte d'Ivoire.

Enfin, nous ferons remarquer que l'Océan peut être considéré aussi comme une source possible de SO_2 , comme le suggèrent des mesures au-dessus de la mer (N'Guyen et al., 1974). Les concentrations océaniques ($0, 1$ à $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$) sont faibles devant

celles données par la source végétale (jusqu'à $30 \mu\text{g m}^{-3}$), cette source terrestre paraît donc a priori, à superficie égale, plus intense que la source océanique au moins d'un ordre de grandeur.

On envisage dans un proche avenir l'analyse des gaz émis par le sol de la forêt et les sédiments de la lagune, puis la mesure in situ de l'intensité du dégagement gazeux. Ces deux points nous semblent importants pour dresser le bilan du cycle naturel du soufre dans les régions intertropicales.

BIBLIOGRAPHIE

- Barlet, A. 1974. *Caractérisation des masses d'air à l'aide de quelques éléments constitutifs des aérosols atmosphériques dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Application à l'agronomie*. Thèse de docteur ingénieur no 24, Université d'Abidjan.
- Bertrand, J., Baudet, J. et Drochon, A. 1974. Importance des aérosols naturels en Afrique de l'Ouest. *Journal de recherches atmosphériques*, Juil.-Déc. 1974, 845-860.
- Bourbon, P., Malbosc, R. M. et Mme Bel, M. et J. Roufiol F. et Rouzaud, J. F. 1971. Contribution à la détermination spécifique dans l'atmosphère du dioxyde de soufre. *Poll. Atm.* no 52 Décembre.
- Bowen, H. J. M. 1966. *Trace elements in biochemistry*. London: Academic Press.
- Brinkmann, W. L. F. et Santos, U. de M. 1974. The emission of biogenic hydrogen sulfide from amazonian floodplain lakes. *Tellus* 26, 261-267.
- Crozat, G. et Domergue, J. L. Communication personnelle.
- Guillaumet, J. L. 1971. Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. La végétation. *Mémoires ORSTOM*, no 50, Paris.
- Kellog, W. W., Caddle, R. D., Allen, E. R., Lazrus, A. C. et Martell, E. A. 1972. The sulfur cycle. *Science* 175 (4022). 587-596.
- Martens, C. S., Wesolowski, J. J., Hariss, M. C. et Kaifer, R. 1973. Chlorine loss from marine aerosols. *J.G.R.* 78, 8778-8792.
- N'Guyen, B. C., Bonsang, B., Pasquier, J. L et Lambert, G. 1974. Composantes marine et africaine des aérosols de sulfates dans l'hémisphère Sud. *J. de Rech. Atm.*, Juil.-Déc., 831-844.
- Rasmussen, R. A. 1974. Emission of biogenic hydrogen sulfide. *Tellus* 26, 254-259.
- Sweden's Case Study, 1971. *Air pollution across national boundaries: The impact on the environment of sulfur in air and precipitation*. Stockholm: Royal Ministry for Foreign Affairs and Royal Ministry of Agriculture, 99 pp.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СУЛЬФАТОВ ВО ВЛАЖНЫХ ТРОПИКАХ

Изучаются естественные источники серы во влажном тропическом лесу в Береге Слоновой Кости. За период с ноября 1974 г. по август 1975 г. рассматриваются вариации растворимой фракции атмосферных сульфатов на станциях Адиоподуме и Ламто, находящихся в 10 и 100 км от берега моря. Оценка мощности прямых источников сульфатов (океанических и почвенных) с помощью репрезентативных элементов (Cl и Ca) показывает, что эти источники ответственны лишь за 30% растворимых атмосферных сульфатов. Разница в 70% может быть благодаря окислению газовых серных компонент в воздухе, как это было подтверждено измерениями SO_2 в период с

декабря 1975 г. по март 1976 г. В частности, наблюдалась годовая вариация концентраций сульфатов с высокими значениями (3 мкг/м^3) в январе и июле и с низкими значениями ($0,5 \text{ мкг/м}^3$) в конце сухого сезона (май). Более того, концентрации сульфатов и SO_2 уменьшаются при продвижении от пояса лесов к саванне. Поскольку нет локальных источников загрязнений, то естественные источники объясняются как разрушение органического вещества в лесу и в лагуне Эбриэ. Данные, полученные в течение двух экспедиций в Гвинейском заливе, показывают, что поток SO_2 из океана несущественен.