

Les lithométéores au Tchad

Premiers résultats concernant la nature, la composition et l'importance des aérosols transportés par voie atmosphérique dans la région de N'Djamena (Tchad)

Charles TOBIAS * et C. MEGIE **

* Pédologue O.R.S.T.O.M.

** Agronome à l'I.R.C.T.

RÉSUMÉ

Les vents de sable affectent une grande partie du territoire tchadien pendant la saison sèche : de fines poussières sont prélevées dans le nord du pays lors de turbulences atmosphériques particulières, et transportées vers le sud-ouest sur de longues distances. Si l'on considère l'étendue de l'aire de retombée, ce mécanisme met en jeu des quantités importantes de produits déplacés. On présente les résultats des analyses chimiques et minéralogiques de tels dépôts recueillis dans la région de N'Djamena (Tchad) au cours de la saison sèche 1976-1977, en situant l'importance qu'ils peuvent avoir sur les plans agronomique et géochimique.

ABSTRACT

LITHOMETEORS IN CHAD

FIRST RESULTS CONCERNING THE NATURE, THE COMPOSITION AND THE IMPORTANCE OF THE AEROSOLS CARRIED THROUGH THE ATMOSPHERE IN THE REGION OF N'DJAMENA (CHAD)

During the dry season, sand winds blow over a large zone in Chad. Fine particles of dust are collected in the north of the country during particular atmospheric turbulences and carried over long distances towards the south-west. If the fallout area is considered, it involves large amounts of moved products. The results of the chemical and mineralogical analysis of such deposits collected in the region of N'Djamena (Chad) during the 1976-1977 dry season are given by emphasizing their possible impact from the agronomic and geochemical point of view.

Introduction

Les régions sahéliennes d'Afrique sont régulièrement balayées pendant la saison sèche par des vents de surface qui peuvent déplacer d'importantes masses d'air sur de grandes étendues. Au Tchad, l'harmattan est un vent sec de secteur N-E qui traverse la moitié nord du pays ; il entraîne avec lui des particules fines en suspension, qui peuvent se déposer très loin de leur lieu d'origine : il se forme alors des brumes de

sable, communément appelées « vents de sable », ou brumes sèches.

Sur le plan physique, il s'agit d'aérosols, c'est-à-dire de « suspension dans un gaz de petites particules ou gouttelettes de dimensions inférieures à quelques microns » (LABEYRIE, 1978). Les particules les plus petites sont maintenues en suspension dans l'atmosphère par l'effet mécanique des turbulences aériennes, ou sous l'influence de phénomènes électriques.

Les météorologistes appellent ces produits trans-

portés dans l'air « lithométéores » ; le mécanisme de la formation des brumes de sable, la connaissance de leurs déplacements et les possibilités de leur prévision sont de la plus haute importance pour assurer la sécurité de la navigation aérienne.

Le but de cette note est de présenter les résultats de diverses analyses chimiques et minéralogiques, et les observations par microscopie électronique de quelques échantillons de poussières atmosphériques déposées à N'Djamena pendant une partie de la saison sèche de 1977. On propose un bilan chimique des apports, pour situer leur importance sur les plans géochimique et agronomique.

Il faut souligner que cette étude n'a pas été entreprise dans le cadre d'un programme de travail déterminé ; elle a été décidée devant l'ampleur inhabituelle des brumes de sable observées en mars et avril 1977 à N'Djamena. Elle n'a pu être menée avec toute la rigueur souhaitable, notamment en ce qui concerne la technique et la régularité de prélèvements des échantillons de poussières ; devant la rareté des documents existant sur ce sujet au Tchad et dans les pays voisins, il semble toutefois utile de présenter les premiers résultats.

1. GÉNÉRALITÉS : LE MILIEU NATUREL DANS LA MOITIÉ NORD DU PAYS

Le relief et la géologie (fig. 1)

La partie du territoire tchadien concernée par les brumes de sable s'étend de manière schématique entre le 10^e et le 23^e degré de latitude Nord.

La limite nord du pays est principalement constituée par deux massifs montagneux importants :

— au nord et au nord-ouest, le massif du Tibesti qui culmine vers 3 400 m ; le système volcanique qui en constitue les reliefs les plus marqués traverse un ensemble sédimentaire (grès primaires et schistes antécambriens) et intrusif (granites précambriens).

— au nord-est, le massif de l'Ennedi, culminant à une altitude plus faible (1 400 m) est représenté par la très vaste série d'âge secondaire des grès de Nubie (zone des Erdis) ; au sud de ces grès, on rencontre différentes formations gréseuses primaires buttant dans leur partie méridionale contre le socle granitique du Ouaddaï. Ce massif constitue une barrière importante à l'est du pays.

Ces deux ensembles montagneux sont séparés par le plateau de Jef-Jef, dont l'altitude moyenne est de 500 m ; ce plateau met en communication le désert de Libye situé au nord et la dépression centrale du Tchad, qui s'annonce par l'erg du Djourab.

La région centrale du Tchad est constituée par la série argilo-sableuse du Continental Terminal, et dans le bassin sédimentaire proprement dit, par des

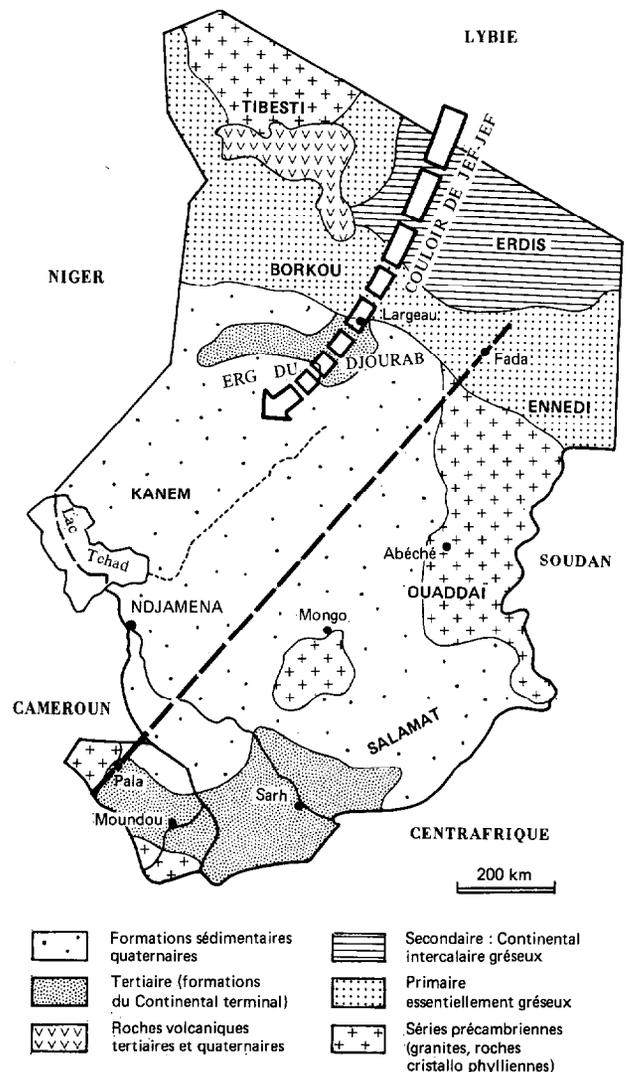


FIG. 1. — La région étudiée, carte.

séries quaternaires, dont les plus récentes sont les formations fluvio-lacustres de la périphérie du lac Tchad.

Le climat

On distingue habituellement deux types de climat :

— dans la bande du 12^e parallèle (latitude du lac Tchad), le climat est de *type sahélien*, avec deux saisons très tranchées dont une longue saison sèche de novembre à juin ;

— au nord de cette bande climatique (la limite étant l'isohyète 350 mm), le climat devient *désertique tropical*, puis *désertique saharien* dans l'extrême nord du pays.

Les données météorologiques de base

« On appelle brume de sable la suspension dans l'atmosphère de poussières ou de petites particules de sable qui ont été soulevées du sol antérieurement au moment de l'observation par une tempête de poussière ou une tempête de sable » (Atlas International des Nuages). Les météorologistes entendent par « chasse-sable » la phase initiale du processus de déplacement correspondant à la mise en suspension des particules dans l'atmosphère.

C'est au cours de la saison sèche que se manifestent les brumes de sable. De novembre à avril, un régime de hautes pressions relatives se maintient sur les régions nord du pays, produisant dans les basses couches de l'atmosphère un vent sec de secteur nord-est (harmattan). On constate que les chasse-sable sont plus fréquentes en janvier et février, à l'époque où les vents sont les plus froids ; ceci permet de les mettre en relation avec les descentes de masses d'air froid provenant de régions beaucoup plus septentrionales. La région de Faya-Largeau, qui se trouve au débouché du couloir de Jef-Jef, sur la dépression centrale tchadienne, est un lieu privilégié de formation de ces chasse-sable. Ce couloir joue un rôle très important sur le plan météorologique : il canalise les masses d'air froid venant du nord qui viennent déferler, avec les produits en suspension, sur la cuvette tchadienne. Son rôle a souvent été comparé à celui du sillon rhodanien en France (effet Venturi).

Les poussières sont alors transportées vers le sud-ouest et l'ouest, la limite inférieure moyenne étant une ligne NE-SO allant de Fada à Pala. On estime qu'une journée de chasse-sable dans la région de Faya-Largeau se traduit par deux à trois journées de retombées de poussières à N'Djamena. On a jusqu'ici enregistré une moyenne annuelle de 20 journées de brumes de sable à N'Djamena, avec une visibilité horizontale au sol inférieure à 2 000 m, entre novembre et avril avec un maximum entre janvier et mars.

Il peut cependant arriver que ces retombées affectent des régions situées plus au sud, atteignant les villes de Moundou et Sahr ; on a même noté des occurrences de brumes de sable dans le Cameroun, au nord de la falaise de l'Adamaoua. En mars 1977, on a enregistré pour la première fois leur présence jusqu'à Yaoundé : ceci était à mettre en relation avec une descente exceptionnelle vers le sud du Front Inter-Tropical (F.I.T.).

2. LE MATÉRIAU ÉTUDIÉ : PRINCIPALES DONNÉES ANALYTIQUES

Les poussières ont été recueillies sur une plate-forme circulaire horizontale en béton recouverte de céramique. Cette plate-forme est située au centre d'une

pelouse bordée de haies ; elle est surélevée de 20 cm par rapport à la surface du sol. La surélévation de la plate-forme et l'absence de turbulences lors du dépôt des poussières permet de penser que les pollutions par des éléments apportés à partir du sol environnant sont nulles ou négligeables. La récolte des poussières déposées en 24 heures a été faite par balayage avec un pinceau plat.

TABLEAU I

Quantité de produit récolté pendant les principales périodes de brumes de sable en mars et avril 1977

| Date | Échantillon | Produit récolté (g) | Retombée (g/m ²) | Retombée (kg/ha) |
|-------------|-------------|---------------------|------------------------------|------------------|
| 7 mars... | A | 142 | 8,9 | 89 |
| 8 mars... | B | 280 | 17,6 | 176 |
| 18 mars... | C | 40 | 2,5 | 25 |
| 24 avril... | D | 137 | 8,6 | 86 |
| Total..... | | 599 | 37,6 | 376 |

On remarque que l'essentiel de la récolte a été effectué en deux journées (7 et 8 mars 1977). La quantité totale de produit récolté est de 599 g, ce qui correspond à un dépôt moyen de 37,6 g/m², soit 376 kg/ha. On peut faire une première approximation des apports totaux par voie atmosphérique pour la période sèche de 1977 en augmentant cette valeur de 25 %, pour compenser les diverses retombées de plus faible importance qui n'ont pas été mesurées, notamment pendant les mois de janvier et février. Ceci nous conduit à une valeur moyenne du dépôt éolien de 47 g/m² soit 470 kg/ha pour l'année 1977.

Les analyses chimiques et minéralogiques ont été effectuées en appliquant les méthodes classiquement utilisées pour l'analyse des sols.

Résultats de l'analyse chimique (tabl. II, III, IV)

On prendra surtout en considération les éléments principaux susceptibles d'intervenir dans la nutrition végétale : carbone, azote, phosphore, bases alcalines et alcalinoterreuses.

Quelques définitions :

— les bases totales, ou cations de réserves sont les éléments solubilisés au cours d'une attaque de l'échan-

TABLEAU II
Les données globales de l'analyse chimique

| Analyses | Échantillon | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | |
| Analyse granulométrique..... | 75 % des particules < 2 μ , rares particules > 5 μ (observations par microscopie électronique) | | | | |
| Mat. org. totale (%)..... | 2,1 | 3,1 | 2,2 | 2,2 | |
| Carbone (%)..... | 12,2 | 17,8 | 12,6 | 12,5 | |
| Azote (%)..... | 1,81 | 1,98 | 1,56 | 1,59 | |
| Rapport C/N..... | 6,7 | 9,0 | 8,1 | 7,8 | |
| P ₂ O ₄ total Duval (%)..... | 1,00 | 0,98 | 1,04 | 0,83 | |
| Fe ₂ O ₃ total (%)..... | 4,2 | 3,6 | 4,1 | 3,9 | |
| Bases totales (m \acute{e} q. p. 100 g) | Calcium..... | 51,00 | 39,00 | 33,40 | 36,00 |
| | Magnésium..... | 43,50 | 36,00 | 38,40 | 41,00 |
| | Potassium..... | 12,63 | 11,68 | 12,20 | 11,43 |
| | Sodium..... | 3,25 | 3,08 | 3,04 | 1,40 |
| Bases mobiles (m \acute{e} q. p. 100 g) | Calcium..... | 23,10 | 21,60 | 20,98 | 21,60 |
| | Magnésium..... | 4,28 | 3,71 | 4,07 | 3,90 |
| | Potassium..... | 3,06 | 3,00 | 2,74 | 1,93 |
| | Sodium..... | 1,52 | 2,51 | 1,59 | 1,23 |
| | S..... | 31,96 | 30,82 | 29,38 | 28,66 |
| | T..... | 21,8 | 19,2 | 20,4 | 21,1 |

tillon par HNO₃ concentré à l'ébullition. Cette attaque est très vigoureuse : on peut considérer qu'elle libère tous les éléments qui pourront à plus ou moins long terme participer à la nutrition végétale ; seuls échappent quelques minéraux primaires (quartz, quelques micas et feldspaths, etc.).

— par convention, nous appellerons *bases mobiles* la somme des éléments minéraux qui passent en solution lors de la mise en contact de l'échantillon avec une solution normale d'acétate d'ammonium à pH 7 : les bases échangeables et les sels solubles sont seuls extraits.

— les *sels solubles* sont déterminés sur l'extrait aqueux (extraction au 1/10).

— les *bases échangeables* sont calculées par différence.

Il n'a pas été effectué d'analyse granulométrique par sédimentation : l'ensemble des poussières passe sans difficulté dans le tamis à maille de 50 µ. L'observation par microscopie électronique montre qu'au moins 75 % des particules ont une taille < 2 µ, les autres particules se situant autour de 5 µ, très rarement vers 10 µ.

L'analyse minéralogique des poussières

1. DIFFRACTOMÉTRIE DES RAYONS X (fig. 2. tabl. V).

Le minéral argileux qui domine est la montmorillonite : elle est associée à de la kaolinite, l'illite est toujours présente bien que peu abondante. On note la présence d'un minéral de type chlorite, qui ne se referme pas à 10 Å après chauffage, et d'un interstratifié de type chlorite-montmorillonite.

Le quartz est toujours présent, en faible quantité. Traces de feldspath dans l'échantillon A.

Aucun oxyde ou hydroxyde de fer n'est décelable par cette méthode ; le fer se trouve vraisemblablement sous forme microcristalline ultra-fine et intégré dans un réseau silicaté de type montmorillonite.

2. LES ANALYSES THERMIQUES

L'analyse thermogravimétrique de l'échantillon B donne la composition pondérale suivante : kaolinite 32 %, montmorillonite 18 %, matière organique 1,8 %. La fraction non mesurable par cette méthode correspond pour l'essentiel à des éléments siliceux d'origine biologique mis en évidence par microscopie électronique et à des minéraux primaires résiduels.

Sur le plan quantitatif, nous retiendrons les résultats obtenus par cette méthode ; les différences que l'on peut constater avec l'estimation semi-quantitative de la kaolinite et de la montmorillonite à partir des diagrammes de rayons X sont à rattacher

TABLEAU III

Apports comparés en éléments minéraux (kg/ha) pendant les quatre principales brumes de sable et évaluation des apports pour la saison sèche 1976-1977

| | Apport total mesuré (kg/ha) | Apport total corrigé (+ 25 %) | |
|--|-----------------------------|-------------------------------|------|
| Azote total..... | 0,685 | 0,86 | |
| Phosphore total..... | 0,358 | 0,45 | |
| Bases totales (attaque nitrique) | CaO..... | 4,25 | 5,30 |
| | MgO..... | 3,12 | 3,90 |
| | K ₂ O..... | 2,526 | 3,15 |
| | Na ₂ O..... | 0,320 | 0,40 |
| Bases « mobiles » (extrait acétate NH ₄) | CaO..... | 2,31 | 2,90 |
| | MgO..... | 0,30 | 0,37 |
| | K ₂ O..... | 0,487 | 0,61 |
| | Na ₂ O..... | 0,275 | 0,34 |
| Sels solubles (extrait aqueux 1/10) | CaO..... | 0,33 | 0,42 |
| | MgO..... | 0,08 | 0,10 |
| | K ₂ O..... | 0,191 | 0,24 |
| | Na ₂ O..... | 0,222 | 0,28 |
| Bases échangeables | CaO..... | 1,98 | 2,48 |
| | MgO..... | 0,22 | 0,27 |
| | K ₂ O..... | 0,296 | 0,37 |
| | Na ₂ O..... | 0,053 | 0,06 |

TABLEAU IV
Composition (mg./l) de l'extrait aqueux au 1/10 des quatre échantillons

| Échantillons | Cond. μ mho (25° C) | pH | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Σ^+ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ⁻⁻ | SO ₄ ⁻⁻ | Σ^- |
|--------------|-------------------------------|-----|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| A..... | 717 | 7,4 | 2,80 | 1,03 | 1,66 | 1,16 | 6,65 | 0,80 | 3,60 | 1,95 | 0,45 | 6,80 |
| B..... | 851 | 7,6 | 3,70 | 1,28 | 2,39 | 1,25 | 8,62 | 1,40 | 3,44 | 3,10 | 0,55 | 8,49 |
| C..... | 763 | 7,5 | 3,10 | 0,95 | 2,18 | 1,14 | 7,37 | 1,20 | 2,75 | 2,85 | 0,65 | 7,45 |
| D..... | 538 | 7,3 | 2,50 | 0,85 | 1,08 | 0,66 | 5,09 | 0,60 | 2,20 | 1,95 | 0,40 | 5,15 |

TABLEAU V
Estimation semi-quantitative des minéraux

| Échantillon | K | C _{alt.} | ¹⁴ C- ¹⁴ M | I _{ouv.} | (10-14 M) M | Q |
|-------------|-----|-------------------|----------------------------------|-------------------|-------------|---|
| A..... | 2 | — | traces | 1 | 7 | + |
| B..... | 1,5 | traces | traces | 0,5 | 8 | + |
| C..... | 2 | traces | 1 | — | 7 | + |
| D..... | 2 | 1 | traces | 1 | 6 | + |

K : kaolinite ;
C_{alt.} : chlorite altérée ;
¹⁴C-¹⁴M : interstratifié chlorite-montmorillonite ;

I_{ouv.} : illite ouverte ;
(10-14 M) M : interstratifié illite-montmorillonite ;
Q : quartz.

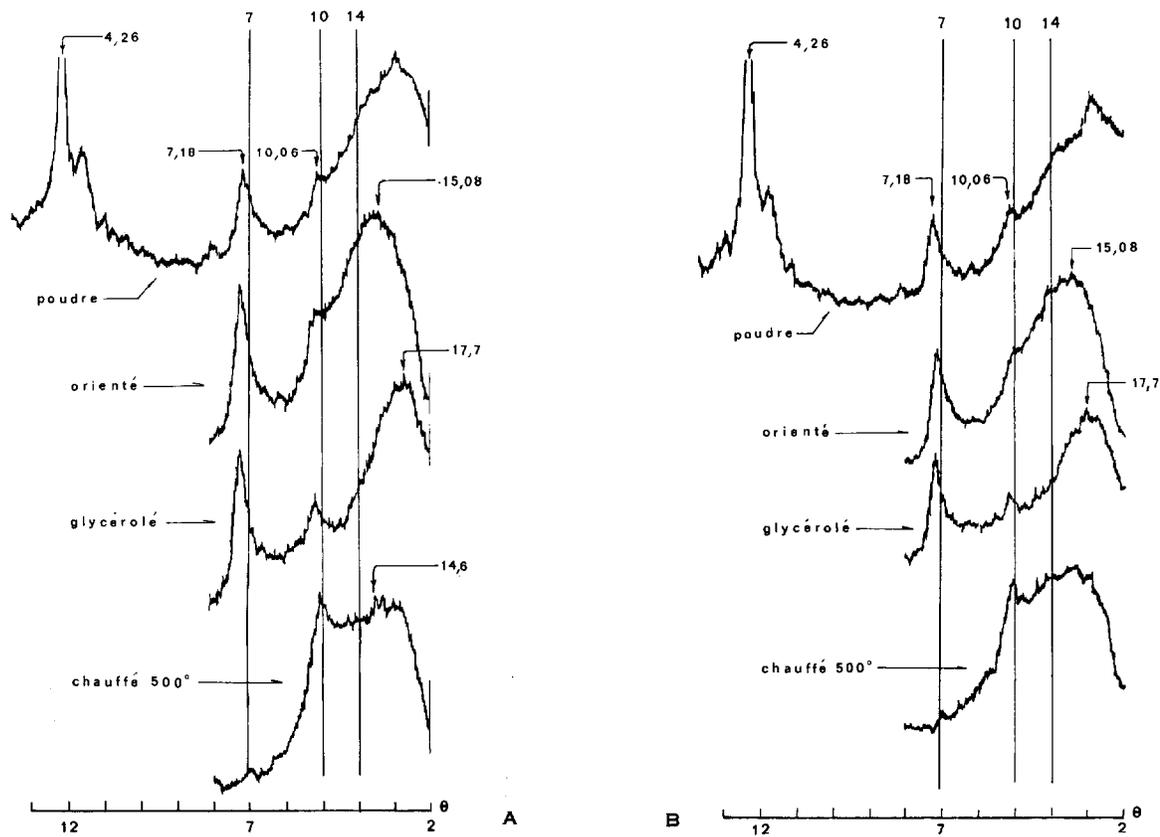


FIG. 2. — Diagrammes de diffraction des rayons X.

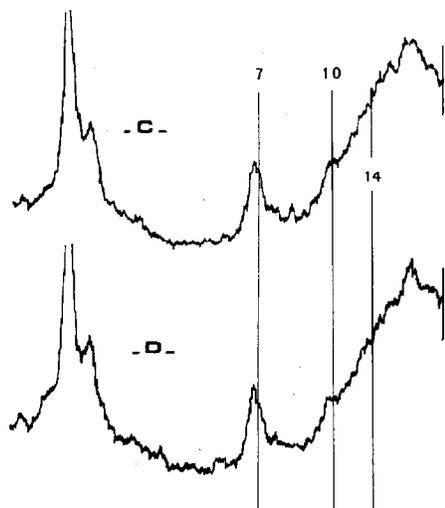
à une cristallinité très différente de ces deux minéraux : la kaolinite, bien qu'abondante, se présente sous forme de très petits cristaux dont les pics de diffraction sont peu développés, ce qui fait sous-estimer la quantité de ce minéral ; la situation est inverse pour la montmorillonite.

L'analyse thermique différentielle a été pratiquée sur les échantillons traités à l'eau oxygénée pour éliminer les interférences dues à la matière organique. Cette technique met en évidence, à côté des minéraux argileux aisément identifiables, la présence de goéthite FeO-OH par le pic endothermique de deshydratation situé vers 450°, particulièrement développé sur l'échantillon B. (fig. 3).

Observation par microscope électronique (pl. photos)

Sur les quatre échantillons, on peut observer l'abondance des minéraux argileux :

— les smectites se présentent sous forme de particules feuilletées souvent de grande taille, voisine de



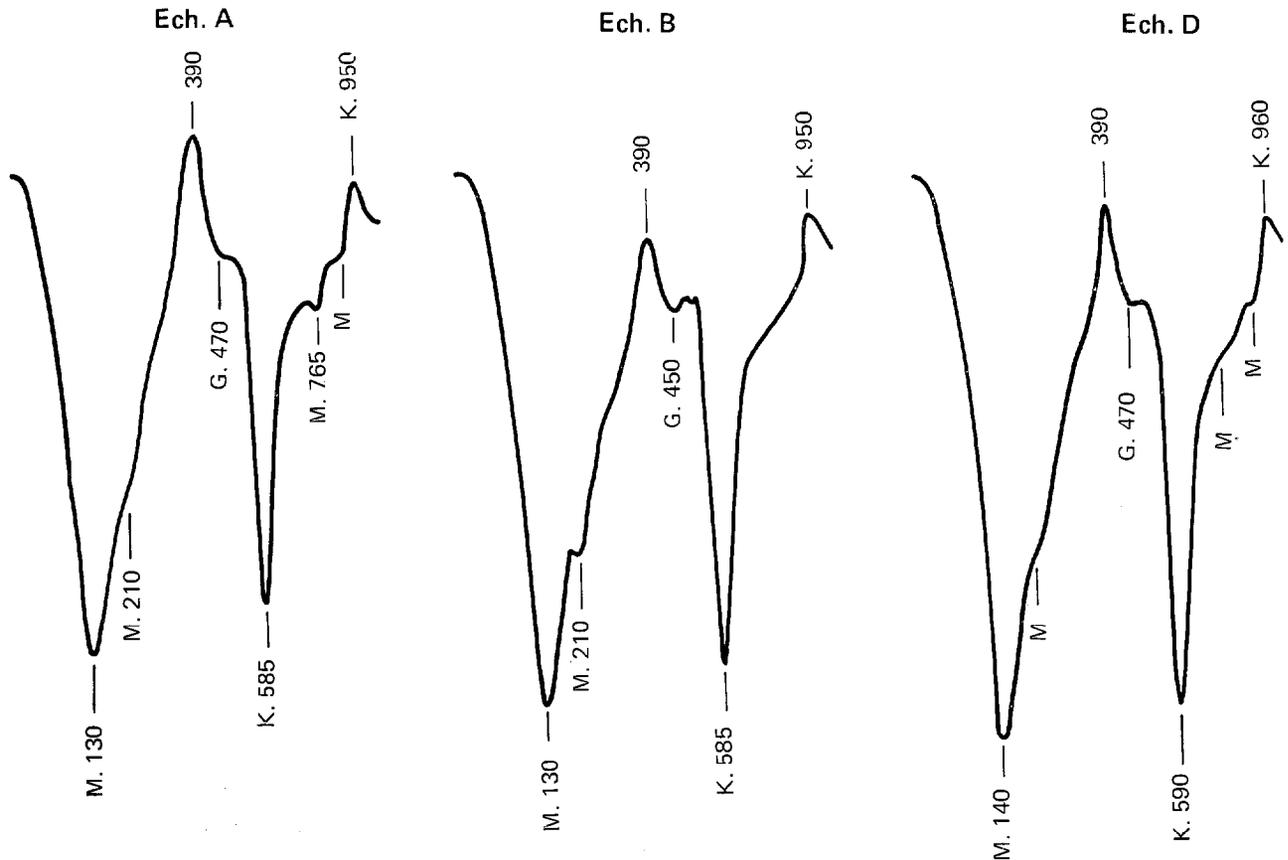


FIG. 3. — Courbes d'analyses thermiques différentielles des échantillons A, B, D.
M = montmorillonite ; K = kaolinite ; G = goéthite

5 μ , et leur aspect est typique (surface souvent plissotée, à aspect moiré) ;

— la kaolinite se présente sous forme de cristaux hexagonaux de très petite taille (< 1 μ), à contours bien définis ; ces cristaux semblent plus grands dans l'échantillon B.

On remarque toujours l'illite, en gros cristaux opaques, et quelques minéraux micacés en B.

Quartz toujours présent, en cristaux de petite taille souvent corrodés ; quelques cristaux plus gros et fracturés en C.

Dans tous les cas, particules de feldspath de petite taille, plus abondante en A et oxydes et hydroxydes de fer.

Le fait remarquable est la présence générale de *frustules de diatomées*, entières ou morcelées, parfois en voie de dissolution que nous n'avons pas identifiées ; elle sont plus abondantes, de grosse taille et très fractionnées en B. Elles semblent être d'une espèce différente en D et sont en voie de dissolution avancée.

3. INTERPRÉTATION GÉNÉRALE DES OBSERVATIONS

L'étude des constituants solides des aérosols déposés par les brumes de sable montre une assez grande variété dans les produits transportés ; cette diversité est le reflet des différents paysages géologiques du nord du pays où ont été prélevés ces produits lors des chasse-sable. Ce type de perturbation atmosphérique est caractéristique de nombreuses régions désertiques et nord-sahéliennes : il permet la mise en suspension, puis le transport, d'un matériau superficiel prélevé en diverses régions, qui sera homogénéisé pendant la phase de transport comme le montre la composition relativement constante des produits récoltés, puis déposé dans les régions plus méridionales.

Les deux éléments dominants sont des résidus d'organismes et des minéraux argileux, auxquels on peut ajouter une faible quantité de sels solubles,

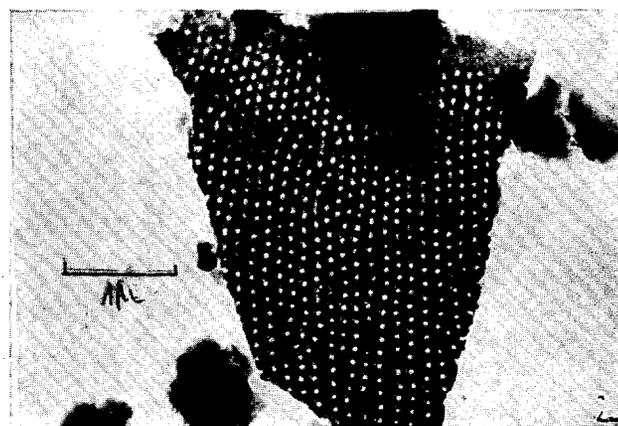
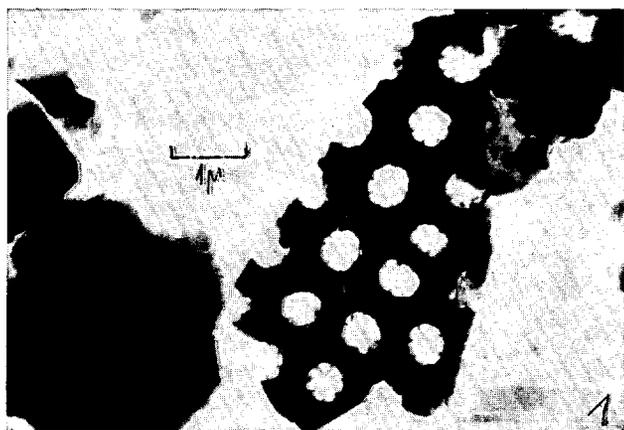


PHOTO 1 et 2 : échantillon C : fragments de frustules de diatomées (1 : $\times 10\ 000$; 2 : $\times 6\ 000$).

de matière organique et des traces de minéraux primaires.

La présence de diatomées n'est pas surprenante : développés en milieu lacustre, ces organismes laissent un squelette siliceux que l'on retrouve accumulé dans de nombreuses formations sédimentaires pliocènes et quaternaires : diatomites, dans la dépression du Borkou (palmeraie de Largeau) et sur de vastes étendues au sud de l'erg de Djourab parfois recouvertes de barkhanes (PIAS, 1970 a, b) et dans des formations superficielles plus récentes (dépressions interdunaires du Bahr-el-Ghazal, frange nord du lac Tchad, etc.).

A ces organismes sont associés des dépôts lacustres argileux où la montmorillonite est l'élément caractéristique. La kaolinite provient des régions les plus septentrionales où le socle granitique affleure, et surtout des formations primaires et tertiaires qui constituent une grande partie du nord du pays.

La composition chimique de ces poussières est très comparable à celle du matériau pédologique que l'on peut rencontrer à la surface des sols situés sous

cette bande climatique. Si l'on excepte l'échantillon A, les données correspondant aux trois échantillons B, C, D sont très voisines. La teneur en matière organique est relativement élevée, eu égard à la latitude de prélèvement ; le rapport C/N est toujours inférieur à 10. La teneur en fer total est moyenne.

En ce qui concerne les bases totales, les teneurs en Ca et Mg sont voisines et assez élevées ; on remarque, par rapport à ces deux éléments, l'abondance du potassium. Exprimé pondéralement, l'apport total en cet élément est élevé, et proche de celui du magnésium : 1/5 de la quantité totale se trouve sous forme « mobile », et la forme « échangeable » est la mieux représentée. L'apport pondéral de sodium est presque 10 fois plus faible que celui du potassium, et la majeure partie se trouve sous forme mobile soluble.

L'extrait aqueux au 1/10 est peu concentré, avec un pH légèrement alcalin et une conductivité toujours inférieure à 1 millimho : la solution est bicarbonatée-carbonatée, faiblement chlorurée et contient très peu de sulfates. Le calcium est l'ion le mieux représenté ; sodium et potassium sont également présents, le magnésium est le moins abondant.

1. Importance agronomique des apports

BARLET *et al.* (1976) ont mesuré les apports totaux de potassium par voie atmosphérique en zone de savane. Ils distinguent l'apport sec, qui se fait pendant la saison sèche, et l'apport se faisant par l'intermédiaire des précipitations ; la première forme, représentant 20 % de l'apport total, est estimée à 7,7 kg de K/ha/an. Cette dernière donnée est en accord avec les chiffres donnés par MATHIEU (1972).

La comparaison avec les résultats obtenus pour les apports secs par brumes de sable à N'Djamena donne des résultats assez différents (tabl. VI) : dans ce dernier cas, le potassium soluble est trois fois moins abondant, le potassium insoluble est deux fois plus abondant.

TABLEAU VI

Comparaison des valeurs du potassium soluble et insoluble (K_2O kg/ha/an) en Côte d'Ivoire, Haute-Volta et à N'Djamena)

| | Savane Côte d'Ivoire | N'Djaména |
|-----------------|----------------------|-----------|
| K soluble..... | 0,72 | 0,24 |
| K insoluble.... | 1,31 | 2,91 |

Nous avons comparé ces données aux exportations en éléments fertilisants de deux cultures typiques de ces régions : le coton et le sorgho (tabl. VII).

TABLEAU VII

Comparaison des apports en N, P₂O₅, K₂O, CaO et MgO (kg/ha/an) par les brumes de sable, et des exportations de ces éléments pour une culture de coton et de sorgho

| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
|--------------------|------|-------------------------------|------------------|------|-----|
| Brumes de sable... | 0,46 | 0,24 | 1,67 | 2,82 | 2,1 |
| Exp. coton..... | 20,4 | 8,7 | 9,2 | 1,4 | 4,1 |
| Exp. sorgho..... | 20,1 | 7,7 | 5,0 | 0,5 | 3,2 |

REMARQUES :

- *coton* : rendement de 10 q de coton graine/ha ;
- *sorgho* : rendement de 10 q de grains/ha (Rapport I.R.C.T, Agronomie générale, Bebedjia 1978/79) ;
- il y a restitution au sol des résidus de récolte ;
- les apports sont calculés pour une retombée moyenne de 25 g/m²/an.

La valeur de 0,61 kg de K₂O/ha/an correspond à une forme de potassium immédiatement assimilable, déterminée par une méthode d'extraction douce ; on ne peut négliger la fraction qui échappe à cette extraction (apport total 3,15 kg/ha/an) dont une partie pourra participer plus ou moins rapidement à la nutrition végétale.

Si l'on admet que la moitié du potassium total pourra être intégrée au cycle biologique, et pour un dépôt annuel moyen de 25 g/m², les exportations de cet élément correspondant à une année de culture seront compensées en 11 ans pour le coton et en 6 ans pour le sorgho.

Les apports en calcium sont excédentaires par rapport aux besoins de ces deux cultures ; les exportations de magnésium sont légèrement supérieures aux apports : elles seront compensées en deux ans pour le coton et en un an et demi pour le sorgho.

En ce qui concerne l'azote et le phosphore, l'importance des apports par voie aérienne est faible.

2. Les incidences géochimiques

ROCHE (1973) a souligné l'importance de ces poussières, qui sont un élément essentiel et toujours mal connu de la géodynamique quaternaire et actuelle du bassin tchadien. En l'absence de données pré-

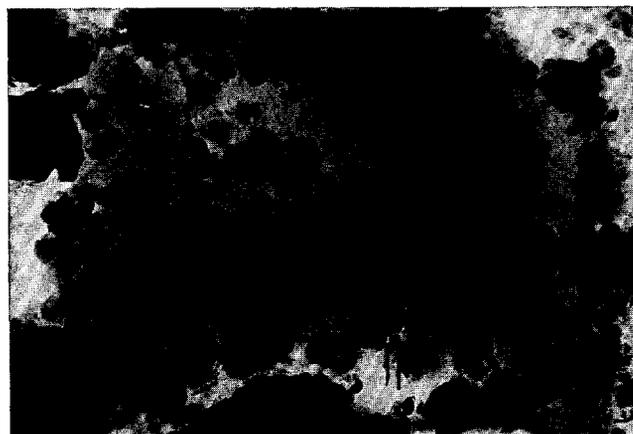


PHOTO 3 : échantillon A : petits cristaux hexagonaux de kaolinite dominants ($\times 10\ 000$).

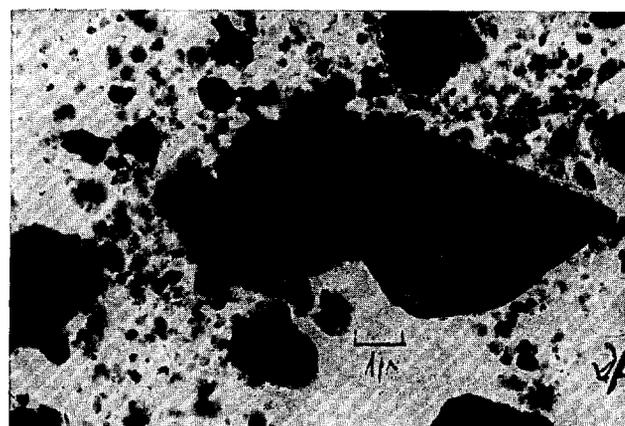


PHOTO 4 : échantillon B : grand cristal de montmorillonite dans un fond très fin où kaolinite et minéraux opaques de fer sont abondants ($\times 6\ 000$).

cises, cet auteur avait évalué arbitrairement les retombées entre les deux valeurs extrêmes plausibles de 1 à 50 g/m²/an. Les mesures que nous avons pu effectuer pendant la saison sèche 1977 confirment cette hypothèse, en précisant cependant que ce chiffre de 50 g/m² an semble être une valeur maximale, cette année ayant été particulièrement favorable aux brumes de sable ; une valeur moyenne de 25 g/m²/an nous semble plus proche de la réalité.

Ce phénomène concerne de vastes surfaces, et se traduit par le déplacement d'une quantité importante de matériau : en se basant sur cette dernière valeur moyenne, et pour une aire de retombée de 200 \times 200 km (qui correspond à une faible partie de l'aire effectivement concernée), la masse totale de produits déposés est de un million de tonnes, dont 3 200 t de sels solubles. De tels apports, qui interviennent plus par leur extension que par leur inten-

sité, ne peuvent être négligés lors de l'établissement du bilan géochimique de l'ensemble hydrologique endoréique qui converge vers le lac Tchad.

Parmi les apports possibles par voie atmosphérique sèche, les brumes de sable sont les plus connues; il ne faut cependant pas négliger les autres types d'apport, qui varient suivant le type de mise en suspension, de transport et de dépôt qui interviennent :

— dans le cas des brumes de sable, les deux phases extrêmes de mise en suspension et de dépôt sont géographiquement très éloignées : ceci permet une sélection du matériau au cours du transport, les particules les plus fines parcourant les plus longues distances; leur dépôt se fait dans des conditions de grand calme atmosphérique, tout au moins dans les basses couches de l'atmosphère. On peut faire remarquer que l'appellation « brume de sable » est impropre, car aucune particule n'entre dans la classe granulométrique des sables dont la taille moyenne des particules est supérieure à 50 μ .

— nous n'avons aucune donnée sur l'importance des produits déplacés lors des turbulences atmosphériques souvent violentes qui précèdent l'installation de la saison des pluies (déplacement du Front Inter-Tropical). Les déplacements se font alors sur de courtes distances, et concernent un matériau qui peut être relativement grossier.

— dans la zone urbaine et péri-urbaine de N'Djaména, on note pendant toute la saison sèche et hors des périodes de brumes de sable une mise en suspension importante de particules, liée à l'activité humaine. De janvier à avril 1979, nous avons pu récolter dans les mêmes conditions un dépôt de 90 g de produit par mètre carré, alors que les brumes de sable étaient inexistantes pendant cette même période. La composition de ce dépôt montre une dominance d'éléments assez grossiers : sables fins (55 %), limons grossiers (23 %), limons fins (8 %) dans les quels le quartz est le constituant principal, associés à des argiles (14 %) où kaolinite et montmorillonite sont également représentées.

La présence de ce type de suspension est bien connue du personnel de navigation aérienne, à qui

la ville de N'Djaména se signale pendant la saison sèche par un nuage opaque à moyenne distance.

— nous ne disposons d'aucune donnée sur les apports atmosphériques pendant la saison des pluies que ce soit sous forme de solutions ou sous forme d'aérosols.

Les auteurs remercient pour leur participation :

— M^{me} G. FUSIL, S.S.C. Bondy (diffractométrie des rayons X);

— M. KOUKOU, S.S.C. Bondy (analyse thermique différentielle et analyse thermogravimétrique);

— M^{lle} H. PAQUET, Institut de Géologie de Strasbourg (diffractométrie des rayons X);

— M. J. PETARD, Laboratoire du Centre O.R.S.T.O.M. de N'Djaména (Tchad);

— M. D. RAMBAUD, S.S.C. Bondy (microscopie électronique).

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 29 août 1980.*

BIBLIOGRAPHIE

- BARLET (A.), DIDIER DE SAINT-AMAND (R.), CROZAT (G.) et DOMMERGUE (J. L.), 1976. — Importance agromomique des apports en potassium via l'atmosphère sur les sols de zone de savane. *Agronomie tropicale*, XXXI, 1 : 47-49.
- BERNET (G.), DHONNEUR (G.), FALQUE (P.) et SCHROEDER (L.), 1965. — Les lithométéores au Tchad. Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar. *Publication n° 8 de la Direction de l'Exploitation Météorologique*, 23 p., 28 cartes et diagrammes hors texte.
- LABEYRIE (J.), 1978. — Les aérosols. *La Recherche*, n° 28, mars 1978, 209-218.
- MATHIEU (P.), 1972. — Apports chimiques par les précipitations atmosphériques en savane et sous forêt. Influence du milieu forestier intertropical sur la migration des ions et sur les apports solides. Thèse, Université de Nice, AO 7338, *multigr.*
- PIAS (J.), 1970 a. — Notice explicative de la carte pédologique du Tchad, n° 41. Publication O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 167 p.
- PIAS (J.), 1970 b. — Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. Thèse. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 43, Paris, 407 p., 2 cartes hors-texte.
- ROCHE (M. A.), 1973. — Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad. Thèse. O.R.S.T.O.M., Paris, *multigr.*, 398 p.