



U R E F

UNIVERSITÉS  
FRANCOPHONES

SCIENTIFICES ET MARCHÉ

# LES POUSSIÈRES SAHARIENNES

CYCLE SÉDIMENTAIRE  
ET PLACE DANS LES ENVIRONNEMENTS  
ET PALÉOENVIRONNEMENTS DÉSERTIQUES

Geneviève Coudé-Gaussen

Préface de Pierre Rognon



AUPELF



# **LES POUSSIÈRES SAHARIENNES**

**British Library Cataloguing in Publication Data**

Coudé-Gaussen, Geneviève

Les poussières sahariennes

1. Effects of dusts on soils.

I. Tittle

551.5113

ISBN 0-86196-304-0

**Editions John Libbey Eurotext**

6, rue Blanche, 92120 Montrouge, France

Tél. : (1) 47 35 85 52

**John Libbey and Company Ltd**

13 Smiths Yard, Summerley Street, London SW18 4HR, England

Tél. : (1) 947 27 77

**John Libbey CIC**

Via L. Spallanzani, 11

00161 Rome, Italy

Tél. : (06) 862.289

© 1991, Paris

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage – loi du 11 mars 1957 – sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français du Copyright, 6 bis, rue Gabriel-Laumain, 75010 Paris, France.

# **LES POUSSIÈRES SAHARIENNES**

**Geneviève Coudé-Gausson**

Docteur ès Sciences



**Les collections « *Universités francophones* » de l'UREF :**

**un instrument nouveau pour consolider l'espace scientifique francophone**

L'Université des Réseaux d'Expression Française (l'UREF), qui est appelée à devenir l'Université de la francophonie, a créé un ensemble de collections « Universités francophones » qui sont les instruments nécessaires d'une vie scientifique de qualité dans l'espace scientifique francophone.

La collection dans laquelle s'inscrit le présent ouvrage est constituée de monographies qui contribuent à établir régulièrement, en français, un bilan des travaux de recherche, notamment dans les domaines d'activité scientifique des réseaux de recherche de l'UREF.

Nous espérons répondre ainsi à une demande souvent exprimée et servir les intérêts des chercheurs et de tous ceux qui attendent une relance de la production d'ouvrages scientifiques de langue française.

Cette nouvelle collection est complétée par une collection de manuels universitaires et par une collection (« Actualité scientifique ») d'actes de journées scientifiques et de colloques.

**Professeur Michel Guillou**  
Directeur Général de l'AUPELF  
Recteur de l'UREF

# Sommaire

Préface, <i>Pierre Rognon</i> .....	VII
Introduction générale .....	XI
<b>PARTIE I. Le cycle des poussières sahariennes</b>	
Introduction.....	3
<b>A – La notion de zone-source</b> .....	5
1 – Les substrats des zones-sources : l'exemple du Grand Erg Occidental .....	7
2 – Le rôle des sables désertiques dans la production de particules fines .....	21
3 – Recherches expérimentales sur la fourniture de poussières quartzieuses.....	45
4 – Les substrats-sources : essai de généralisation à l'échelle du Sahara septentrional et central .....	67
<b>B – Les poussières en suspension</b> .....	83
5 – La particule de poussière .....	85
6 – Les poussières locales.....	113
7 – Les poussières proximales et distales.....	135
8 – Les conditions météorologiques du transport des poussières.....	167
<b>PARTIE II. Le rôle des poussières sahariennes dans les sédimentations désertiques et péri-désertiques</b>	
Introduction.....	209
<b>A – Les poussières déposées et le rôle des poussières carbonatées dans la sédimentation</b> .....	211
9 – Du transport à la sédimentation : les poussières déposées.....	213
10 – La question des calcifications .....	247
11 – Le problème des encroûtements calcaires.....	267
12 – La contribution des poussières aux limons sables et paléosols de Fuerteventura (Iles Canaries).....	291

<b><i>B – La contribution partielle des poussières aux autres sols et sédiments désertiques et péri-désertiques</i></b> .....	331
13 – Les sols et sédiments hydro-éoliens .....	333
14 – La question des fech-fech.....	359
<b><i>C – La contribution totale des poussières à une sédimentation : les loess péri-désertiques</i></b> .....	389
15 – Les caractères sédimentologiques des loess des Matmata.....	391
16 – La signification paléoclimatique des loess des Matmata.....	439
<b>Conclusion générale</b> .....	457
<b>Annexe méthodologique</b> .....	465

## Préface

Les cheminements de la démarche scientifique sont souvent très mystérieux. Ainsi, il y a une quinzaine d'années, on ne connaissait pratiquement rien sur les poussières sahariennes et sur leurs apports éventuels aux sols de l'Afrique du Nord ou du Sahel. En revanche, grâce aux moyens considérables mis à la disposition des programmes océaniques (en particulier en 1974, dans le cadre du Global Atmospheric Research Programm) on pouvait déjà se faire une idée assez précise du tonnage de poussières transportées depuis le désert vers l'océan. De la même manière, les géologues travaillaient depuis très longtemps déjà sur les loess, sédiments formés par le dépôt de poussières quaternaires, autour des déserts froids parce que ces loess étaient situés dans les pays tempérés d'Europe ou d'Amérique où ils ont une grande importance pour l'agronomie. En revanche, l'idée de loess autour des déserts chauds était rejetée par la communauté scientifique (excepté quelques chercheurs israéliens) alors que les tempêtes de poussière les plus spectaculaires s'observent au Sahara.

Ce double constat est à l'origine des recherches de Geneviève Coudé-Gaussen, qui a décidé en 1978 de réagir contre cet étrange manque de curiosité, associant progressivement les recherches sur les loess péri-désertiques et sur les poussières actuelles au Sahara. Ce livre est le résultat des missions de terrain et des travaux de laboratoire qu'elle a menés, seule ou en équipe, avec un enthousiasme qui ne s'est jamais atténué. Pourtant, les raisons de découragement ne lui ont pas été épargnées au cours de ses douze années de recherches !

Formée aux techniques sédimentologiques par sa double culture en géographie physique et en géologie, G. Coudé-Gaussen a d'abord mené une rude bataille pour faire admettre que les sédiments limoneux du plateau des Matmata dans le Sud-tunisien soient reconnus comme de vrais loess. Puis, après un pèlerinage aux sources sur les loess péri-désertiques d'Israël, elle a recherché systématiquement, dans le sud du Maroc, puis aux Canaries, les preuves de l'origine éolienne, au moins partielle, d'un grand nombre de dépôts limoneux où les poussières originales avaient été ensuite plus ou moins remaniées par le ruissellement, les transports fluviaux ou la pédogenèse. La démonstration la plus claire de l'importance des apports de minéraux et de grains de poussière, venus du Sahara par voie aérienne, a été réalisée dans l'île de Fuerteventura. Cette île, la plus orientale des Canaries, distante d'une centaine de kilomètres du Sahara, était particulièrement favorable puisqu'on pouvait facilement y détecter tout apport allochtone sur un substrat homogène de roches volcaniques.

Mais, une fois établie la participation effective des poussières sahariennes aux sols et aux dépôts de la bordure septentrionale du désert, il a fallu expliquer les variations régionales ou les modifications dans le temps révélées par l'étude de ces « archives » du passé. Pour cela, il était nécessaire de recourir au « modèle » actuel afin de comprendre les mécanismes de la chute des poussières. Ici encore, l'île de Fuerteventura offrait un terrain particulièrement propice : il a fallu pomper de l'air, au cours de deux campagnes de prélèvement, en recueillir toutes les 12 heures, le contenu en particules minérales et analyser les poussières ainsi piégées sur les filtres. Grâce aux techniques météorologiques et satellitaires, G. Coudé-Gaussen a alors mis en relation les caractéristiques des poussières recueillies avec les régions sahariennes où s'étaient produites les tempêtes de sables et qui avaient engendrées ces poussières. C'est depuis cette époque que G. Coudé-Gaussen a commencé à recevoir, pour analyse, de petits paquets de poudre rougeâtre recueillis par des collègues ou des amateurs après divers épisodes de « pluie rouge » observés en France, en Espagne ou au Portugal...

A ce stade de l'enquête, il a donc fallu se déplacer vers le Sahara lui-même pour comprendre comment le vent sélectionne tel ou tel type de particules au moment des épisodes de soulèvement des poussières. De nouvelles missions, dans des conditions plus difficiles, ont alors été organisées pour recueillir des poussières (toujours par pompage) au sommet d'un mât de 6 à 8 mètres de haut et les comparer avec les caractéristiques des sols désertiques environnants. Mais il a été nécessaire aussi de chercher à comprendre comment ces aérosols, une fois arrachés aux « régions-sources », étaient regroupés, mélangés et transportés en nuages de poussière plus vastes parfois que la superficie de la France... Ce fut l'occasion d'un certain nombre de visites au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion où il est possible de repérer ces nuages sur les images du satellite Météosat. Expérience inoubliable de pouvoir parfois suivre, assis derrière une console, la progression, en temps réel, d'un lithométéore en pensant aux désagréments pénibles qu'enduraient au même moment, ceux qui subissaient ces tempêtes de sable au Sahara...

A côté de ces joies intenses de la découverte sur le terrain ou à Lannion, G. Coudé-Gaussen a passé l'essentiel de son temps à analyser des centaines d'échantillons, passés au test de toutes les méthodes sédimentologiques dont le détail est exposé dans « l'annexe méthodologique ». En effet, spécialiste de l'étude au microscope électronique, G. Coudé-Gaussen a cependant tenu à s'initier au maximum de techniques nécessaires à la réalisation de son ambitieux projet. Au sein de nombreuses équipes, elle s'est ainsi familiarisée aussi bien avec les techniques météorologiques ou satellitaires qu'avec l'expérimentation en soufflerie, l'analyse d'images ou le traitement informatique des données. Elle a ainsi pu observer les poussières depuis la taille de grains submicroniques jusqu'à celle des lithométéores étalés sur des centaines de milliers de km<sup>2</sup> et retracer leur histoire depuis l'actuel.

Pour aboutir à ces résultats, G. Coudé-Gaussen n'a pourtant ni parcouru les huit millions de km<sup>2</sup> du Sahara, ni étudié toutes les archives des poussières du passé. Je crois en effet, que son plus grand mérite a été d'avoir su discerner, pour chaque problème, où était le site ou le mécanisme qui permettait, à partir de recherches limitées, d'accéder à la compréhension de l'ensemble du phénomène.

Pour écrire ce livre, G. Coudé-Gaussen a suivi la démarche inverse de celle de la découverte car il est plus logique de remonter de l'actuel vers le passé ou bien des régions productrices de poussière vers les sites de sédimentation. Mais, si elle avait suivi cette procédure au cours

de ses recherches, je ne suis pas sûr que G. Coudé-Gaussen aurait eu la patience de reconstituer toute cette longue histoire. Elle a certainement été, en permanence, aiguillonnée par les questions nouvelles qui découlaient de cette lente remontée des effets vers les causes et son travail s'est naturellement achevé lorsqu'elle a enfin accédé aux sources...

Ainsi a pris fin un projet un peu fou auquel personne ne croyait il y a une douzaine d'années, en dehors d'elle et de son directeur de thèse... Aujourd'hui l'étude des poussières est devenue ce que l'on appelle un «thème porteur» et de grands projets se forment aussi bien pour étudier leurs effets sur le climat ou les sols actuels que pour préciser la signification paléoclimatique des loess péri-désertiques. C'est probablement la plus belle récompense dont puisse rêver un chercheur que d'avoir su, ainsi, contribuer à remplir une case vide dans le vaste champ de la recherche scientifique.

Pierre Rognon



## Introduction générale

Depuis qu'il est «désert», le Sahara est le plus grand producteur de poussières minérales du globe. Chaque année, il fournit plus du quart de la production mondiale, soit 60 à 250 millions de tonnes de poussières minérales, chiffres dont la fourchette doit d'ailleurs beaucoup plus à l'imprécision des estimations et modèles qu'à la variabilité annuelle des processus désertiques de production et de mobilisation de très fines particules...

Quand on connaît le rôle joué par cet immense désert zonal, le plus grand de tous les déserts, sur le climat actuel de notre planète et sur les variations passées de ce climat [1], on perçoit tout l'intérêt d'une étude des poussières éoliennes, non seulement comme critère de compréhension de l'environnement actuel et passé du Sahara et de ses marges, mais aussi comme témoin du changement des milieux à l'échelle globale.

Abordé également par les météorologues et autres spécialistes de l'atmosphère, le problème des poussières éoliennes s'avère particulièrement important pour les sciences de la terre. Il faut, en effet, comprendre et apprécier la *participation des poussières à la sédimentation* dans le désert, sur ses marges, dans les mers et au-delà. Ce phénomène est toutefois le plus aisé à cerner dans les *domaines désertiques et péri-désertiques* où la contribution sédimentaire des poussières éoliennes, parfois massive, a évidemment été moins diluée dans le cortège général des autres sédimentations. De plus les *sols et sédiments* y recèlent, grâce aux apports de poussières, d'utiles arguments pour les reconstitutions paléoclimatiques et paléo-environnementales du Quaternaire et de l'Holocène.

Pour caractériser et évaluer dans les dépôts et sédiments la contribution des poussières par le passé, il faut nécessairement connaître les poussières sahariennes actuelles et appréhender les critères permettant de les identifier. Ainsi, le *cycle sédimentaire des poussières sahariennes actuelles* apparaît comme un modèle en grande partie applicable à la compréhension des traits sédimentologiques des dépôts désertiques et péri-désertiques dérivés totalement ou partiellement d'anciens apports éoliens fins.

Cette double préoccupation «*poussières actuelles, poussières passées*» guide donc fondamentalement ce propos. A côté de considérations d'ordre sédimentologique tendant à caractériser les poussières et sédiments, elle implique qu'une attention particulière soit portée aux processus de fourniture, aux dynamiques de mobilisation et de transport, et aux modalités de la sédimentation au Sahara et sur ses confins. Il convient de préciser les zones-sources désertiques favorables à la fourniture des poussières. Il faut identifier les dépôts et sédiments ayant enregistré leur contribution. On doit reconstituer les conditions paléo-environnementales ayant présidé à la mise en place de dépôts qu'il faut replacer dans la chronostratigraphie du Quaternaire saharien et nord-africain.

De nombreux travaux généraux ont déjà concerné la mobilisation, le transport ou la sédimentation des poussières désertiques et tout particulièrement des poussières sahariennes (mises au point *in* Morales [2], Coudé-Gaussen [3, 4], Coudé-Gaussen et Rognon [5], Pye [6]). Tou-

tefois, embrassant rarement la totalité du cycle, ils se sont peu consacrés à la *perspective d'approche sédimentologique* développée ici.

La principale difficulté d'une telle approche, conforme dans ses principes à la méthode naturaliste, réside dans l'énorme *variété des dimensions, durées et échelles* qu'il faut maîtriser. D'ordre spatial tout d'abord, car le travail de terrain s'exerce sur un territoire désertique et péri-désertique considérable allant du Sud du Hoggar aux littoraux de la Méditerranée et du Moyen Orient aux rives de l'Atlantique (*Fig. 1*). D'ordre scalaire aussi, car il faut appréhender les objets et phénomènes depuis la taille submicronique, celle de l'aérosol, à l'échelle macro-régionale voire continentale, celle par exemple du lithométéore (*Pl. 1*). D'ordre temporel enfin, car la durée du phénomène étudié peut être instantanée, telle la mise en suspension du grain de poussière, ou de temps géologique, telle la constitution d'un sédiment.

Une telle recherche thématique implique un *large éventail de méthodes et techniques* permettant de saisir globalement le phénomène des poussières sahariennes et d'en comprendre les implications (*cf. Annexe*). A côté des techniques sédimentologiques classiques, une attention particulière se concentre sur la perception visuelle des objets et sur les méthodes permettant d'en maîtriser qualitativement et quantitativement l'image. Ainsi, l'observation micromorphologique des particules et celle de la microstructure des sédiments sont significatives de l'histoire pré- et post-dépositionnelle du matériel. A une toute autre échelle, l'observation de l'imagerie satellitaire en diachronie permet de percevoir l'extension et l'évolution du lithométéore. Par ailleurs, un traitement informatique s'impose pour contrôler, exploiter et corréler la multitude des données analytiques et mesures morphométriques, comme pour dresser cartes et croquis assistés par ordinateur.

Dans cette optique principalement sédimentologique, notre objet est donc d'*améliorer la connaissance des sédiments d'origine éolienne* au sens large. En effet, si de nombreux travaux se sont déjà consacrés à l'étude des sables éoliens désertiques, il est tout aussi important d'apprécier, à travers le modèle saharien actuel, la contribution des poussières éoliennes aux diverses sédimentations désertiques et péri-désertiques [7].

## Bibliographie

- [1] Rognon P. (1989). Biographie d'un désert. Plon, Paris, 347 p.
- [2] Morales C., Ed., (1979). Saharan dust : Mobilization, Transport, Deposition. Scope Report 14, Wiley, Chichester, 297 p.
- [3] Coudé-Gaussen G. (1982). Les poussières éoliennes sahariennes : mise au point. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 31, 2 : 49-70.
- [4] Coudé-Gaussen G. (1984). Le cycle des poussières éoliennes désertiques actuelles et la sédimentation des loess péri-désertiques quaternaires. *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 8, 1 : 167-182.
- [5] Coudé-Gaussen G., Rognon P. (1983). Les poussières sahariennes. *La Recherche*, 147 : 1050-1061.
- [6] Pye K. (1987). Aeolian dust and dust deposits. Academic Press, London, 352 p.
- [7] Coudé-Gaussen G. (1989). Les poussières sahariennes et leur contribution aux sédimentations désertiques et péri-désertiques. Th. Sciences, Univ. P. et M. Curie, 721 p.