

SÉDIMENTOLOGIE. — *Etude de cortèges de minéraux lourds par l'analyse factorielle des correspondances : application aux formations superficielles du Sud-Ouest de Madagascar.* Note (*) de MM. Michel Sourdat et Joël Mahé, présentée par M. Jean Wyart.

L'analyse factorielle des correspondances est une méthode mathématique multivariable propre à l'exploitation de fichiers à nombreuses données. Elle est particulièrement adaptée aux comptages de minéraux lourds : son application aux formations superficielles du Sud-Ouest de Madagascar donne d'excellents résultats et débouche sur une synthèse morpho-pédologique régionale.

PRINCIPES DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES. — L'analyse factorielle des correspondances (AFC), mise au point par Benzecri (¹), est l'une des méthodes mathématiques les plus propres au traitement informatique des ensembles de données relatifs à de nombreux individus définis par un nombre élevé de variables. Ces données s'inscrivent dans des espaces multidimensionnels qui ne sont pas directement accessibles à l'esprit humain : leur exploitation se réduisait naguère à des comparaisons empiriques.

Soit n individus définis par p variables : on peut leur faire correspondre n points-observations dans un espace des variables à p dimensions et, réciproquement, p points-variables dans un espace des observations à n dimensions. L'AFC revient à projeter ces deux espaces associés sur des axes factoriels hiérarchisés, avec une déformation minimale. La combinaison de ces axes permet de définir des espaces factoriels à dimensions d'ordre peu élevé, représentations simplifiées, directement accessibles, des espaces multidimensionnels. Les distances entre points représentatifs traduisent les degrés de similitude entre individus et les degrés de corrélation entre variables, ou entre individus et variables.

Ayant précédemment illustré l'intérêt de l'AFC en paléontologie (²) et en géochimie (³), nous nous proposons d'appliquer cette méthode aux comptages de minéraux lourds des formations superficielles du Sud-Ouest de Madagascar, matériel pédologique d'interprétation particulièrement délicate. Seuls les principaux résultats seront exposés (⁴).

LES DONNÉES. — *Le Sud-Ouest de Madagascar.* — Cette région est constituée par un bassin sédimentaire adossé à un socle et soumis à un climat tropical. Trois fleuves la drainent : Manombo, Fiherenana et Onilahy. L'étude a porté principalement sur trois paysages naturels :

- les reliefs de l'Isalo sur grès continentaux,
- les plateaux de calcaires marins avec interstratifications de basaltes,
- la plaine côtière avec sa frange dunaire littorale.

Etagés de l'intérieur (altitude 1 304 m) à la mer, ils ont été plus ou moins totalement fossilisés par des sables détritiques plio-quaternaires épandus d'Est en Ouest (⁵).

Dans ce contexte, il est peu de formations superficielles qui n'héritent des formations préexistantes et ne remettent en jeu les mêmes cortèges minéraux : d'où la

= 7 MARS 1975
O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence
n° 7405 P. 60

monotonie de ces cortèges et l'indétermination fréquente des conditions de leur mise en place. C'est pour mieux connaître les matériaux, leurs origines, leurs cheminements, leurs transformations et leurs contributions respectives à la genèse des sols que cette investigation a été entreprise.

Composition de l'échantillon. — 300 prélèvements ont été récoltés dans un domaine d'environ 20 000 km². Séparation et comptage des minéraux ont été effectués par une méthode classique (6). Une sélection raisonnée, à partir d'analyses partielles a permis de retenir un *échantillon global réduit*, limité à 110 individus (prélèvements) et 14 variables (espèces minérales), représentatifs de l'ensemble régional. Des échantillons partiels ont permis de préciser par ailleurs les relations existant entre les éléments d'ensembles locaux (grès, dunes, karsts, etc.).

Les variables ont été codées comme suit :

PRX	pyroxènes	STR	staurotide	RUT	rutile
HRN	hornblendes	GRN	grenat	CRN	corindon
AND	andalousite	EPI	épidote	MNZ	monazite
SIL	sillimanite	ZRC	zircon	ANA	anatase
DST	disthène	TRM	tourmaline		

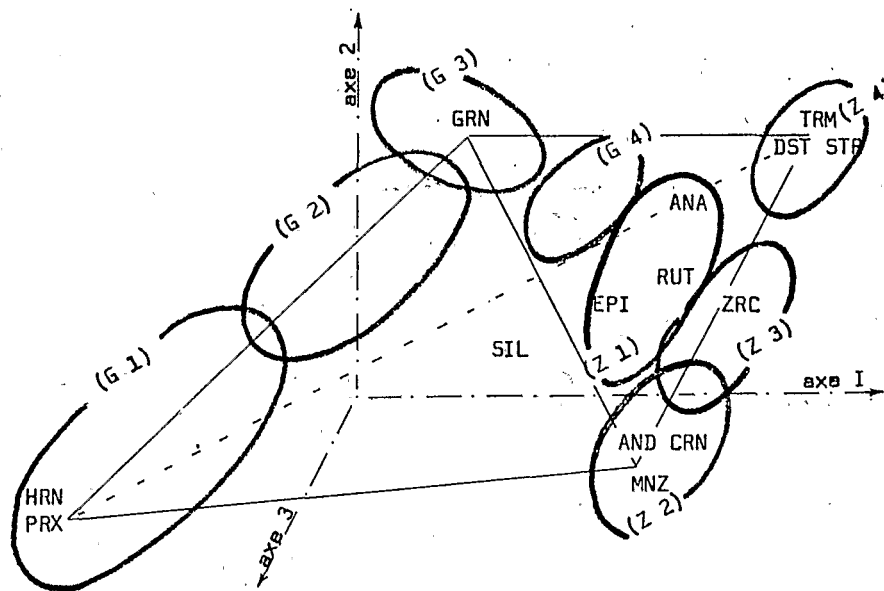


Fig. 1. — Distribution schématique des points représentatifs des variables et des individus dans l'espace factoriel

ANALYSE DES DIAGRAMMES AFC. — Dans le premier espace factoriel (axes 1, 2 et 3), qui cumule 69 % de l'information, les points-variables se distribuent schématiquement suivant les sommets, milieux d'arêtes et centres de faces d'un tétraèdre gauche (fig. 1).

Les points-individus forment deux ensembles de nuages antagonistes G [1, 2 et 3] et Z [2, 3 et 4], alignés le long des arêtes orthogonales et opposées HRN-GRN

et MNZ-TRM, tandis que les nuages G 4 et Z 1 occupent les positions intermédiaires entre ces arêtes, suivant la médiane GRN-ZRC.

Les nuages G [1, 2 et 3] englobent les points représentatifs des matériaux liés au socle, aux lits des fleuves (sauf Manombo) et à la frange dunaire littorale ; ils sont caractérisés par la prédominance du couple hornblende-grenat. Les nuages Z [2, 3 et 4] représentent tous les matériaux liés aux épandages d'interfluves et sont caractérisés par la présence du zircon. Les autres nuages témoignent de mélange de stocks. Ainsi, en G 4, les matériaux d'interfluves à zircon contaminent ceux à hornblende et grenat du littoral. En Z 1 se regroupent les matériaux calcaires et les hornblende et grenat du littoral. En Z 1 se regroupent les matériaux calcaires et les horizons profonds de « sols rouges sur calcaires » : la prédominance du zircon y est tempérée par un cortège accessoire varié où figure notamment le grenat.

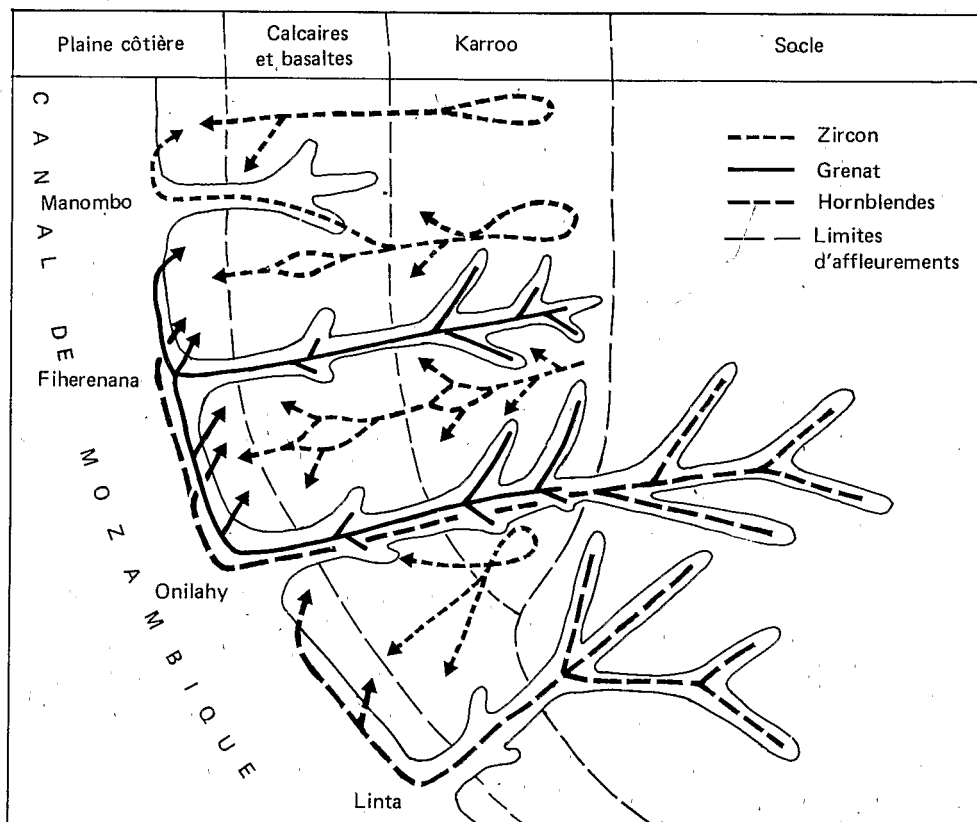


Fig. 2. — Schéma de cheminement des quelques minéraux lourds le long des fleuves et des côtes, ou sur les interfluves du Sud-Ouest

Un gradient bien marqué s'exprime le long de l'arête HRN-GRN et discrimine les nuages G [1, 2 et 3] selon l'abondance relative du couple hornblende-pyroxène par rapport au grenat. Les cortèges à hornblende-pyroxène sont liés au socle par l'intermédiaire de l'Onilahy et de la dérive littorale tandis que les cortèges à grenat sont liés aux couches profondes du sédimentaire par l'intermédiaire du Fiherenana.

Le long de l'arête MNZ-TRM s'exprime un gradient plus complexe car il discrimine les nuages Z [2, 3 et 4], non seulement selon l'abondance relative des groupes

monazite-andalousite-corindon ou tourmaline-staurotide-disthène, mais aussi selon la prédominance plus ou moins constante du couple zircon-rutile augmenté de l'appoint de l'épidote. Ces nuages correspondent aux matériaux de l'Isalo, intensément ferrallitisés ou non, aux épandages pliocènes, et aux horizons superficiels des « sols rouges » sur calcaires.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE MORPHO-PÉDOLOGIQUE DU SUD-OUEST. — Les *cortèges spécifiques* des couches géologiques profondes s'opposent aux *cortèges résiduels* des couches superficielles. Les premiers, exportés tels quels par l'érosion linéaire puis par la dérive littorale et la déflation, se retrouvent dans les vallées et le long des côtes. Les seconds, sélectionnés sur place par l'évolution morpho-pédologique, sont réduits aux espèces les plus résistantes et envahissent les interfluves.

Ainsi, l'Onilahy, qui draine le socle et le sédimentaire, exporte la hornblende et le grenat ; le Fiherenana, ne drainant que le sédimentaire, n'exporte que le grenat ; quant à la Manombo qui draine les plateaux calcaro-basaltiques et les épandages littoraux, elle n'exporte que le zircon bien que des corrélations calcaire-grenat et basalte-pyroxène soient apparues par ailleurs : les cortèges spécifiques correspondants, pondéralement insuffisants, ont été *dilués* au contact des cortèges d'interfluves et ne laissent pas de *trace* (fig. 2).

La prédominance de cortèges à hornblende, grenat ou zircon dans les dépôts dunaires de la plaine de Tulear témoigne des influences antagonistes de 3 sources de sédiments et des variations de ces influences au cours du Quaternaire.

Entre autres problèmes plus strictement pédologiques, l'association de cortèges superficiels liés aux nappes détritiques, et de cortèges profonds liés aux calcaires, au sein des « sols rouges » des karsts, manifeste les contributions conjointes des apports et de la décarbonatation en place à la genèse des sols.

CONCLUSION. — Les difficultés inhérentes à la comparaison des résultats de nombreux comptages freinaient l'essor des études de minéraux lourds, limitées — en pédologie notamment — à un aspect qualitatif et partiel. Les méthodes d'analyse multivariable ouvrent le champ aux exploitations quantitatives et globales. L'AFC se montre particulièrement bien adaptée au problème ; son application à un matériel d'interprétation délicate conduit à une synthèse morpho-pédologique satisfaisante.

(*) Séance du 28 octobre 1974.

(1) J. P. BENZECRI, *L'analyse des données*, Dunod, Paris, I et II, 1973, 615 et 619 pages.

(2) J. MAHÉ, *Thèse Sc. Paris*, 1972, Mém. Mus. Nation. Hist. nat., Série C, 32 (à paraître).

(3) J. P. KARCHE et J. MAHÉ, *Rev. Géol. dyn.* (à paraître).

(4) M. SOURDAT et J. MAHÉ, *Cah. ORSTOM sér. Géol.*, 1975, vol. VII, n° 1 (à paraître).

(5) M. SOURDAT, *C. R. Sem. Géol. Madagascar*, 1970, p. 25-29, pl. IV.

(6) S. DUPLAIX, *Détermination microscopique des minéraux des sables*, Lib. polytech. Béranger, Paris et Liège, 1958, 96 pages et 69 figures.

Services Scientifiques Centraux ORSTOM,
70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy ;
Centre Universitaire Scientifique,
33, rue Pasteur, 84000 Avignon.