

APPLICATION D'UNE MÉTHODE DE LA STATISTIQUE APPROFONDIE A LA PÉDOLOGIE

par

Raymond VAN DEN DRIESSCHE* et Roger MAIGNIEN**

SUMMARY

The generalized distances D^2 of MAHALANOBIS have been obtained between 11 soil groups from West Africa on 11 laboratory variates from a single horizon. On the other hand, a straightforward approach to the clustering process has been followed. Further research is in progress. More D^2 distances, between groups and between subgroups of the French classification, are computed on another series of soil profiles, using data from several horizons.

Ces derniers temps ont vu une augmentation considérable des fiches morphologiques et analytiques établies par les pédologues de l'O.R.S.T.O.M. lors de leurs différentes études. Le nombre de données recueillies approche annuellement le million, et il ne peut aller qu'en augmentant dans les années à venir (nombre de chercheurs plus élevé, méthodes d'analyse plus rapides). L'utilisation et l'interprétation de cette multitude de données posent des problèmes méthodologiques ardues. Aussi a-t-il semblé intéressant d'introduire les méthodes de la statistique approfondie (RAO, 1952) dans la résolution de ces problèmes. Ces méthodes s'imposent d'autant plus que la conception que nous avons de la pédologie oblige à considérer chaque variable dans ses relations avec toutes les autres variables, le profil de sol étant une synthèse de toutes les variables.

Le souci de contribuer à l'évolution continue que connaît la classification française des sols intertropicaux et la volonté de déboucher sur une classification mondiale, sont à l'origine de la recherche des variables et des méthodes les plus appropriées à une dissociation, à la fois quantitative et qualitative, des unités supérieures.

* Chargé de Recherches

** Inspecteur général de Recherches

Services Scientifiques Centraux - 70,74 route d'Aulnay, BONDY (Seine).

Pour mener à bien ce travail, il est apparu intéressant de recourir à la méthode des D^2 de MAHALANOBIS. En effet, les D^2 sont plus qu'un test de l'hypothèse nulle "il n'y a pas de différence entre groupes" basé sur de nombreuses variables, puisque ce paramètre statistique mesure ces différences (MAHALANOBIS, 1925, 1927, 1930, 1936, 1937, 1948; RAO, 1952, 1954, 1958).

Le D^2 rend de grands services en anthropologie (MAHALANOBIS, 1928, 1930, 1931, 1949; MUKHERJEE, RAO et TREVOR, 1955; RAO, 1958), en zoologie (NAIR, 1953; BAILEY, 1956; BLACKITH, 1957), en botanique (BRIEGER, VENCOVSKY et PACKER, 1963) et en écologie (HUGHES et LINDLEY, 1955). Cette dernière étude de six sols et quatre variables analytiques constitue une initiative intéressante qui, à notre connaissance, n'a pas été suivie d'autres applications du paramètre D^2 à des sols.

Cette note expose les premiers résultats obtenus dans cette voie par les Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

I - MÉTHODE

Si $x_{p,k,t}$ est une donnée de la variable analytique p dans l'horizon de surface du profil t sur le groupe de sol k (le nombre de variables étant identique dans tous les profils), et si, de plus, n_k et n désignent, respectivement, le nombre de profils par groupe et le nombre de groupes de sol,

moyenne et écart-type intra-groupe

$$m_{p,k} = \sum x_{p,k,t} / n_k \quad s_{p,k} = \left[\sum (x_{p,k,t} - m_{p,k})^2 / n_k - 1 \right]^{1/2}$$

et paramètres correspondants pour l'ensemble des groupes

$$m_p = \sum m_{p,k} / n \quad s_p = \left[\sum (n_k - 1) s_{p,k}^2 / \sum n_k - n \right]^{1/2}$$

donnent les moyennes centrées réduites intra-groupe

$$x_{p,k} = (m_{p,k} - m_p) / s_p$$

Celles-ci, de concert avec les corrélations totales d'ensemble,

$$r_{p,p-1} = \left[\sum (\sum x_{p,k,t} x_{p-1,k,t} - n_k m_{p,k} m_{p-1,k}) / \sum n_k - n \right] / s_p s_{p-1}$$

sont soumises à un processus de transformation (RAO, 1952) donnant des fonctions $y_{p,k}$ non corrélées et de variance unitaire. Les $(n-1)n/2$ distances généralisées intergroupes sont les sommes des carrés :

$$D_{k,k-1}^2 = (y_{p,k} - y_{p,k-1})^2 + (y_{p-1,k} - y_{p-1,k-1})^2 + \dots + (y_{1,k} - y_{1,k-1})^2$$

Le processus de transformation des $x_{p,k}$ est facilité par l'obtention, pour l'ensemble des groupes de sols, de valeurs intermédiaires $a_{p,p-1}$ et $b_{p,p-1}$. Sans entrer dans le détail de la transformation, on peut en esquisser les premières lignes et les formules générales :

$$\begin{aligned}
Y_{1,k} &= x_{1,k} \\
a_{2,1} &= b_{2,1} / V(Y_1) = r_{2,1} / 1 \\
y_{1,k} &= Y_{1,k} \\
Y_{2,k} &= x_{2,k} - a_{2,1} Y_{1,k} \\
a_{3,1} &= b_{3,1} / V(Y_1) = r_{3,1} / 1 \\
a_{3,2} &= b_{3,2} / V(Y_2) = r_{3,2} - a_{2,1} b_{3,1} / 1 - a_{2,1}^2 \\
y_{2,k} &= Y_{2,k} / \sqrt{V(Y_2)} \\
Y_{3,k} &= x_{3,k} - a_{3,2} Y_{2,k} - a_{3,1} Y_{1,k} \\
&\dots \\
a_{4,3} &= b_{4,3} / V(Y_3) = r_{4,3} - a_{3,2} b_{4,2} - a_{3,1} b_{4,1} / 1 - a_{3,2} b_{3,2} - a_{3,1}^2 \\
&\dots \\
y_{3,k} &= Y_{3,k} / \sqrt{V(Y_3)} \\
&\dots \\
a_{p,p-1} &= b_{p,p-1} / V(Y_{p-1}) = \frac{r_{p,p-1} - a_{p-1,p-2} b_{p,p-2} - a_{p-1,p-3} b_{p,p-3} - \dots - a_{p-1,1} b_{p,1}}{1 - a_{p-1,p-2} b_{p-1,p-2} - a_{p-1,p-3} b_{p-1,p-3} - \dots - a_{p-1,1}^2} \\
y_{p-1,k} &= Y_{p-1,k} / \sqrt{V(Y_{p-1})} \\
Y_{p,k} &= x_{p,k} - a_{p,p-1} Y_{p-1,k} - a_{p,p-2} Y_{p-2,k} - \dots - a_{p,1} Y_{1,k} \\
a_{p+1,p} &= b_{p+1,p} / V(Y_p) = \frac{r_{p+1,p} - a_{p,p-1} b_{p+1,p-1} - a_{p,p-2} b_{p+1,p-2} - \dots - a_{p,1} b_{p+1,1}}{1 - a_{p,p-1} b_{p,p-1} - a_{p,p-2} b_{p,p-2} - \dots - a_{p,1}^2} \\
y_{p,k} &= Y_{p,k} / \sqrt{V(Y_p)}
\end{aligned}$$

La mécanisation de ces calculs est intervenue en 1964 : les $y_{p,k}$ et $D_{k,k-1}^2$ ont été programmés par Mme MASBOU ; les $x_{p,k}$ et $r_{p,p-1}$ par M. et Mme HANS. La capacité des programmes permet d'étendre les études de distances généralisées à 30 groupes de sol, 999 profils par groupe de sol et 20 variables continues. Notre sincère gratitude va à ces analystes du Laboratoire de Calcul Numérique du C.N.R.S., tant pour la programmation que pour les calculs sur ordinateur I.B.M. 704.

II - DONNÉES

A ce premier stade d'application, il a été difficile d'utiliser l'ensemble des données recueillies qui diffèrent souvent profondément d'un profil à l'autre. De plus, la valeur de certains résultats obtenus par des techniques non standardisées peut être mise en doute ; aussi l'étude a-t-elle été volontairement limitée aux horizons de surface, ne retenant que les caractéristiques analytiques le plus fréquemment déterminées. La méthode ne permettant que le traitement de variables continues, il a, de plus, été fait abstraction des données morphologiques du profil.

Naturellement, ces impératifs limitent la portée des premiers résultats. Mais l'ampleur de l'étude a été sacrifiée, provisoirement, à la diffusion de la méthode.

En 1964, les travaux ont porté sur l'ensemble des données suivantes :

11 variables analytiques : argile, limon fin, sable fin (20 à 200 μ), sable grossier en 10^{-3} ; carbone et azote en 10^{-5} ; calcium, magnésium et potassium en 10^{-2} m.e. ; capacité d'échange en 10^{-1} m.e. ; pH eau en 10^{-1} ; déterminées, par des méthodes identiques, au Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, dans les Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. et dans les Laboratoires de la S.O.G.R.E.A.H.

1008 profils décrits, en Afrique de l'Ouest, par MM. AUDRY, BERGER, BOCQUIER, DABIN, DELHUMEAU, GAVAUD, GOFFRE, JONGEN, MAIGNIEN, PEREIRA-BARRETO, ROSSETTI, SOBERON, TURENNE, VAN ES, VIZIER, VOLKOFF et WILLAIME.

11 groupes de la classification des sols, mise à jour en 1964, sont représentés par des effectifs différents : sols peu évolués d'apport, sigle PEA (137 profils), vertisols hydromorphes à structure massive VHM (53 profils), sols bruns sub-arides BSA (68 profils), sols brun-rouge sub-arides BRS (61 profils), sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés FTN (123 profils), sols ferrugineux tropicaux lessivés FTL (78 profils), sols faiblement ferrallitiques FFA (46 profils), sols ferrallitiques lessivés FAL (45 profils), sols hydromorphes moyennement organiques humiques à gley HMG (117 profils), sols hydromorphes minéraux à gley HXG (48 profils) et à pseudo-gley HXP (232 profils). Les différences d'effectifs intra-groupe ne sont pas le reflet de la représentativité des sols ; on a éliminé des profils insuffisamment analysés, décrits ou identifiés. Quant aux groupes de sols africains qui ne sont pas mentionnés, bien que décrits par les pédologues de l'O.R.S.T.O.M., leur retrait momentané de l'étude est motivé par la rareté de fiches complètes dans les dossiers compulsés.

Le choix des transformées qui assurent, le mieux, la normalisation des fonctions de répartition intra-groupe et l'homogénéité intergroupes des variances n'est pas résolu, car il implique des effectifs plus nombreux ($n_k > 200$) se prêtant au test de la dissymétrie g_1 et de l'aplatissement g_2 . La transformation logarithmique décimale est en conséquence appliquée aux dix premières variables et le pH eau reste non transformé.

III - RÉSULTATS

Le tableau 1, présenté sous forme de 11 colonnes de 10 distances intergroupes, est obtenu sur ces données.

Tableau 1 - Distances généralisées intergroupes D²

Du groupe des PEA aux groupes des	Du groupe des VHM aux groupes des	Du groupe des BSA aux groupes des	Du groupe des BRS aux groupes des	Du groupe des FTN aux groupes des	Du groupe des FTL aux groupes des	Du groupe des FFA aux groupes des	Du groupe des FAL aux groupes des	Du groupe des HMG aux groupes des	Du groupe des HXG aux groupes des	Du groupe des HXP aux groupes des
BSA 1,45	HXP 3,19	PEA 1,45	FTN 1,29	BRS 1,29	PEA 3,36	FTL 6,61	FTL 14,09	HXG 5,69	HXP 1,28	HXG 1,28
FTL 3,36	HXG 4,07	FTN 6,26	PEA 5,64	PEA 3,87	HXP 4,29	HXP 10,14	HXG 14,83	HXP 7,27	VHM 4,07	VHM 3,19
HXP 3,62	PEA 7,59	BRS 6,57	BSA 6,57	FTL 4,49	FTN 4,49	PEA 10,25	HMG 14,93	VHM 10,63	PEA 4,91	PEA 3,62
FTN 3,87	FTL 9,68	FTL 7,13	FTL 8,41	BSA 6,26	HXG 5,02	FTN 10,53	HXP 15,06	FTL 14,28	FTL 5,02	FTL 4,29
HXG 4,91	HMG 10,63	HXP 8,29	HXP 11,79	HXP 7,95	FFA 6,61	HXG 10,62	FFA 17,37	FAL 14,93	HMG 5,69	HMG 7,27
BRS 5,64	BSA 11,10	HXG 9,40	HXG 12,13	HXG 8,34	BSA 7,13	VHM 11,56	VHM 21,60	PEA 16,29	FTN 8,34	FTN 7,95
VHM 7,59	FFA 11,56	VHM 11,10	FFA 13,53	FFA 10,53	BRS 8,41	BSA 11,58	PEA 22,84	FFA 16,68	BSA 9,40	BSA 8,29
FFA 10,25	FTN 15,27	FFA 11,58	VHM 18,63	VHM 15,27	VHM 9,68	BRS 13,53	FTN 25,96	FTN 20,56	FFA 10,62	FFA 10,14
HMG 16,29	BRS 18,63	HMG 22,34	HMG 25,24	HMG 20,56	FAL 14,09	HMG 16,68	BSA 29,31	BSA 22,34	BRS 12,13	BRS 11,79
FAL 22,84	FAL 21,60	FAL 29,31	FAL 32,43	FAL 25,96	HMG 14,28	FAL 17,37	BRS 32,43	BRS 25,24	FAL 14,83	FAL 15,06

Dans chaque colonne, l'ordre des D² est croissant. C'est ainsi que par rapport aux sols brun-rouge sub-arides, dont le sigle BRS surmonte la quatrième colonne, les dix D², du plus faible au plus fort, sont lus : distance du groupe des BRS au groupe des FTN = 1,29 ; des BRS aux PEA = 5,64 ; des BRS aux BSA = 6,57 ; des BRS aux FTL = 8,41 ; des BRS aux HXP = 11,79 ; des BRS aux HXG = 12,13 ; des BRS aux FFA = 13,53 ; des BRS aux VHM = 18,63 ; des BRS aux HMG = 25,24 et, enfin, des BRS aux FAL = 32,43.

Il convient de se demander, lors de l'interprétation du tableau 1, à quel point ces D² différencient les groupes étudiés ou, pour prendre un cas concret, si des groupes tels que les BRS, les FTN, voire les PEA, reliés par les distances les plus faibles ne forment pas, en réalité, des ensembles indissociables (appelés constellations). La difficulté réside dans l'absence de règles, et des méthodes faisant appel au jugement n'ont guère donné satisfaction, car il semble bien difficile de décider quel D² ou quel rapport de D² doit être considéré comme appréciable. Une approche numérique du problème a été tentée (VAN DEN DRIESSCHE, 1965). Les conditions

\bar{D}^2 interconstellations > \bar{D}^2 intra-constellation

et

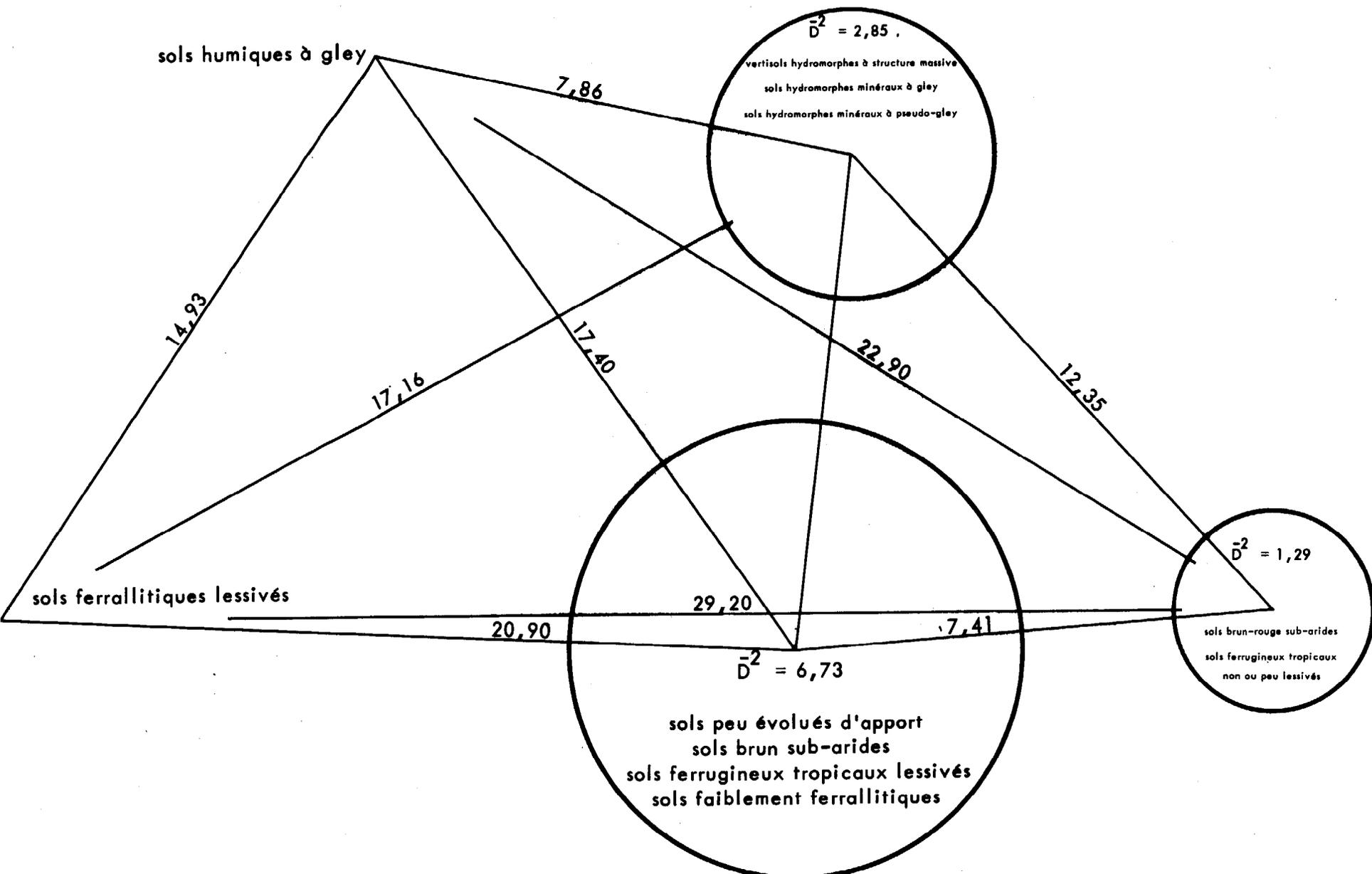
\bar{D}^2 intra-extra-constellation > \bar{D}^2 intra-constellation

sont imposées, conjointement, aux D² du tableau 1. S'en dégagent les constellations VHM + HXG + HXP, BRS + FTN, PEA + BSA + FTL + FFA, ainsi que l'individualisation des groupes FAL et HMG. Des distances moyennes \bar{D}^2 relient ces ensembles de sols ; elles sont présentées sous forme matricielle dans le tableau 2.

Tableau 2 - Distances moyennes intra- et interconstellations

Groupes de sols	VHM + HXG + HXP	BRS + FTN	PEA + BSA + FTL + FFA	FAL	HMG
VHM + HXG + HXP	2,85	12,35	8,02	17,16	7,86
BRS + FTN	12,35	1,29	7,41	29,20	22,90
PEA + BSA + FTL + FFA	8,02	7,41	6,73	20,90	17,40
FAL	17,16	29,20	20,90	0	14,93
HMG	7,86	22,90	17,40	14,93	0

Figure 1
Distances moyennes interconstellations sur la base de
11 variables analytiques de 1008 horizons de surface



Si le nombre élevé de dimensions rend toute représentation graphique exacte impossible, celle-ci a néanmoins été ébauchée de façon approximative. Elle permet de constater rapidement les affinités entre sols ou les dissociations les plus nettes.

Cette propriété est d'autant plus utile qu'à l'avenir les recherches s'étendront à plusieurs lots de variables et à d'autres horizons.

Déjà l'analyse par les D^2 a été reconduite sur les mêmes profils sans tenir compte de la capacité d'échange. La somme des 55 D^2 passe de 627 à 566, ce qui représente une réduction de 9% par rapport aux 11 variables. Il n'est donc pas opportun de négliger cette variable.

IV - DISCUSSION

La méthode utilisée fait apparaître cinq regroupements. Deux groupes de sols sont parfaitement individualisés : les sols humiques à gley et les sols ferrallitiques lessivés. Par contre, les autres sols se ventilent entre trois constellations de dimensions différentes :

- Sols brun-rouge sub-arides et sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés : $\overline{D^2}_{intra} = 1,29$;
- Vertisols hydromorphes à structure massive, sols hydromorphes minéraux à gley et à pseudo-gley : $\overline{D^2}_{intra} = 2,85$;
- Sols peu évolués d'apport, sols bruns sub-arides, sols ferrugineux tropicaux lessivés et sols faiblement ferrallitiques : $\overline{D^2}_{intra} = 6,73$.

Ces premiers résultats sont très instructifs. Si l'on considère l'ensemble des sols étudiés, on remarque que certains d'entre eux peuvent être définis par leur seul horizon organique à l'aide des variables utilisées ; d'autres, au contraire, demandent pour leur différenciation soit l'emploi de nouvelles variables des horizons de surface, soit des données concernant des horizons plus profonds. La méthode peut donc être reprise en prenant en considération ces autres caractéristiques.

Par approches successives, on peut ainsi déterminer quels sont les éléments diagnostiques des sols. Ainsi, par exemple, le rapprochement des horizons de surface des sols brun-rouge sub-arides et des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés a déjà été signalé par THOMANN (1964), dans ses travaux sur les types de matière organique des sols tropicaux. Mais il est aussi établi que la différenciation entre ces deux groupes porte essentiellement sur l'épaisseur des horizons humifères et sur les caractéristiques des horizons B (MAGNIEN, 1962). Il est donc indispensable de préciser ces dernières données.

De même, les conditions d'évolution de la matière organique en milieu hydromorphe peu humifère aident à comprendre les rapprochements entre vertisols hydromorphes, sols hydromorphes minéraux à gley et à pseudo-gley.

L'examen du tableau 1 permet une étude encore plus fouillée des relations qui lient, à travers les seules variables considérées, les différents horizons de surface.

Ces résultats demandent à être développés. Il faudra en particulier confronter les données d'horizons comparables (A_1 , A_2 , B_2 , etc..) et les horizons d'un même profil les uns par rapport aux autres. De plus, à l'intérieur de chaque constellation, les recherches ultérieures pourront se placer au niveau des sous-groupes de sols.

L'ampleur du travail ainsi abordé est actuellement limitée par le regroupement des données recueillies par les pédologues de l'O.R.S.T.O.M. œuvrant outre-mer. Un gros effort doit être entrepris par tous dans ce sens.

Plusieurs solutions sont à l'étude qui tendent à faciliter la reproduction et la compilation des données, mais dès maintenant, il est indispensable que la Section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M., au même titre qu'elle reçoit toutes les études de synthèse, reçoive également,

répertoriées sur fiches, toutes les données d'observation et d'analyse qui ont servi de base à leur rédaction.

V - CONCLUSIONS

Une première application des D^2 de MAHALANOBIS (1925, 1927, 1930, 1936, 1937, 1948) aux résultats d'analyse physico-chimique de sols africains a pour objectif principal de rappeler l'utilité de cette méthode dans tous les problèmes de classification des sols.

De nombreuses applications doivent se succéder. De nouvelles séries de données servent actuellement au calcul des D^2 à deux niveaux de la classification française et se prêtent à l'étude des différents horizons du profil.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILEY (D.W.) - Re-examination of the diversity in *Partula taeniata*. *Evolution*, 1956, 10, 360-366.
- BLACKITH (R.E.) - Polymorphism in some Australian locusts and grasshoppers. *Biometrics*, 1957, 13, 183-196.
- BRIEGER (F.), VENCOVSKY (P.) et PACKER (I.U.) - The biometrical analysis of phylogenetic distances within and between populations. 5ème Conférence internat. Biométrie, Cambridge, mult., 1963, 12 p.
- HUGHES (R.E.) et LINDLEY (D.V.) - Application of biometric methods to problems of classification in ecology. *Nature*, 1955, 175, 806-807.
- MAHALANOBIS (P.C.) - Analysis of race mixture in Bengal (Presidential address, Anthropology Section, Indian Science Congress, Benares, 1925). *J. Asiatic Soc. Bengal*, 1927, 23, 301-333.
- MAHALANOBIS (P.C.) - A statistical study of the Chinese head. *Man in India*, 1928, 8, 107-122.
- MAHALANOBIS (P.C.) - On tests and measures of group divergence. Part 1 : Theoretical formulae. *J. Asiatic Soc. Bengal*, 1930, 26, 541-588.
- MAHALANOBIS (P.C.) - A statistical study of certain anthropometric measurements from Sweden. *Biometrika*, 1930, 22, 94-108.
- MAHALANOBIS (P.C.) - Anthropological observations on the Anglo-Indians of Calcutta. Part II, Analysis of Anglo-Indian head length. *Rec. Indian Museum*, 1931, 23.
- MAHALANOBIS (P.C.) - On the generalized distance in statistics. *Proc. Nat. Inst. Sci. India*, 1936, 2, 49-55.
- MAHALANOBIS (P.C.) - Normalization of statistical variates and the use of rectangular co-ordinates in sampling distributions. *Sankhyā*, 1937, 3, 35-40.
- MAHALANOBIS (P.C.) - Historical note on the D^2 -statistic. *Sankhyā*, 1948, 9, 237-240.
- MAHALANOBIS (P.C.), MAJUMDAR (D.N.) et RAO (C.R.) - Anthropometric survey of the United Provinces, 1941 : a statistical study. *Sankhyā*, 1949, 9, 89-1234.
- MAIGNIEN (R.) - Tropical sub-arid brown soils of West Africa. *Soil Correl. Seminar for South and Central Asia, F.A.O.*, 1962, 4, 36-44.

- MUKHERJEE (R.), RAO (C.R.) et TREVOR (J.C.) - *The ancient inhabitants of Jebel Moya (Sudan)*. Cambridge, Univ. Press, 1955.
- NAIR (K.R.) - A biometric study of the desert locust. *Union internat. Sci. biol., série B*, 1953, 12, 61-70.
- RAO (C.R.) - *Advanced statistical methods in biometric research*. New York et Londres, Wiley, 1952.
- RAO (C.R.) - On the use and interpretation of distance functions in statistics. *Bull. Inst. internat. Statist.*, 1954, 34, 90-97.
- RAO (C.R.) - Bengal anthropometric survey, 1945 : a statistical study. II. Statistical analysis. *Sankhyā*, 1958, 19, 217-287.
- RAO (C.R.) - On some computational aspects of transforming correlated variables to an uncorrelated set. *Sankhyā*, 1958, 19, 290-295.
- THOMANN (C.) - Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest africain. *Cah. O.R.S.T.O.M., Pédol.*, 1964, 11, 3, 43-79.
- VAN DEN DRIESSCHÉ (R.) - La recherche des constellations de groupes à partir des distances généralisées D^2 de Mahalanobis. *Biom.-Prax.*, 1965, 6, 36-47.

Source et numéro des données

- AUDRY (P.) - Etude pédologique du cercle du Guidimaka, Mauritanie. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 246 p. (418 à 632).
- AUDRY (P.) - Etude pédologique du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra-Djoloff, Sénégal. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1962, 171 p. (69 à 130, 1536).
- AUDRY (P.) - Dahra-Djoloff. Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. (Bondy), mult., 1961, 32 p. (647 à 657).
- AUDRY (P.) et ROSSETTI (C.) - Observations sur les sols et la végétation en Mauritanie du sud-est et sur la bordure adjacente du Mali. F.A.O., Rome, mult., 1962, 267 p. (1395 à 1457).
- BOCQUIER (G.) et GAVAUD (M.) - Etude pédologique du Niger oriental. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1964, 747 p. (1300 à 1394).
- DABIN (B.) - Etude pour la reconversion des cultures de caféier dans la République de Côte d'Ivoire. B.D.P.A. et O.R.S.T.O.M., Paris, mult., 1963, 332 p. (298 à 331, 1587, 1588).
- DELHUMEAU (M.) - Prospection pédologique au Gabon. Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. (Bondy), mult., 1963, 26 p. (755 à 768).
- GAVAUD (M.) - Les sols de la région de Bereba, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 31 p. (380, 381, 1589).
- GAVAUD (M.) et BERGER (J.M.) - Les plaines de la région de Katana, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 133 p. (382 à 407, 1590 à 1593).
- GAVAUD (M.) et PEREIRA-BARRETO (S.) - La vallée de Mogtedo, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 34 p. (363 à 365).
- GAVAUD (M.) et PEREIRA-BARRETO (S.) - La vallée de Dakiri, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 32 p. (366 à 372).
- GAVAUD (M.) et PEREIRA-BARRETO (S.) - La vallée de Louda, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 25 p. (373 à 376).
- GAVAUD (M.) et SAKHO (A.) - Le bassin versant de Lantaogo, Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 37 p. (377 à 379).

- MAIGNIEN (R.) - Contribution à l'étude des sols à pâturage du cercle du Gorgol, Mauritanie. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1961, 125 p. (408 à 417, 1594 à 1600).
- MAIGNIEN (R.), GOFFRE (P.) et GAVAUD (M.) - Etude pédologique de diverses vallées et cuvettes de la Haute-Volta. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1960, 70 p. (131 à 297, 1537 à 1586).
- PEREIRA-BARRETO (S.) - Profils de sols observés dans le secteur sud de la surface d'études pédologiques au Fouta-Djalon, Guinée. C.C.T.A. et O.R.S.T.O.M., Paris, mult., 1962, 140 p. (658 à 718).
- PEREIRA-BARRETO (S.) - Etudes pédologiques des Niayes méridionales, Sénégal. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1962, 150 p. (769 à 860, 1462 à 1513).
- SOBERON (M.) et JONGEN (P.) - Etude pédologique dans la vallée de la Maggia, Niger. S.O.G.E.T.H.A., Paris, mult., 1964, 150 p. (1 à 68, 1536).
- TURENNE (J.F.) - Etude pédologique d'une zone inondable dans la région de Pira, Haute Casamance. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1963, 61 p. (633 à 637, 1601).
- VAN ES - Description des profils de sols observés dans le sud de la surface d'études du Fouta-Djalon, Guinée. C.C.T.A. et O.R.S.T.O.M., Paris, mult., 1962, 17 p. (719 à 731).
- VIZIER (J.F.) - Etude d'une toposéquence au sud de la Kayanga, Haute Casamance. Centre O.R.S.T.O.M. de Dakar-Hann, mult., 1963, 66 p. (638 à 646).
- VOLKOFF (B.) - Etude des sols de la région littorale Guézin-Ouidah, Dahomey. Centre O.R.S.T.O.M. de Cotonou, mult., 1963, 145 p. (1619 à 1621).
- VOLKOFF (B.) - Etude des sols de la région des Dongas, nord Dahomey. Centre O.R.S.T.O.M. de Cotonou, mult., 1964, 89 p. (1514 à 1534).
- VOLKOFF (B.) et WILLAIME (P.) - Notice explicative de la carte des sols au 1/1 000 000 de la République du Dahomey. Rapport annuel 1962, Centre O.R.S.T.O.M. de Cotonou, mult., 1963, 91 p. (1622 à 1626).
- WILLAIME (P.) - Etude pédologique de Boukombe, Dahomey. Centre O.R.S.T.O.M. de Cotonou, mult., 1962, 119 p. (332 à 362).
- WILLAIME (P.) - Etude pédologique de la région d'Agame, Dahomey. 4ème partie. Centre O.R.S.T.O.M. de Cotonou, mult., 1962, 50 p. (1602 à 1618).