

Un service offert aux pédologues :
Représentation automatique élaborée d'un caractère spatial

Anne-Marie AUBRY, Yves BOULVERT et Patrick SECHET
O.R.S.T.O.M., Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, (F) 93140 Bondy

RÉSUMÉ

L'établissement de cartes thématiques constitue un travail que les pédologues doivent fréquemment réaliser. L'objectif poursuivi dans l'article ci-après est de présenter un processus d'obtention de tracés automatiques, comparables à ceux dressés manuellement, à la fois économiques et rapides. L'exposé détaillé de la méthode utilisée répond au souci de divulguer les quelques fondements, parfois mal connus, de la cartographie assistée par ordinateur. Son étude n'est toutefois pas essentielle à l'utilisation de ce service dont le mode d'emploi fait l'objet de la dernière partie de cette note.

ABSTRACT

Thematic cartography is one of the activities supervised by the soil scientist. This paper presents an automated procedure for mapping a bivariate continuous function.

Contours are comparable to those drafted manually. Low-cost line-printer output occurs almost immediately after data are keyed-in. The detailed algorithm (from E. DAVAUD, 1974), is presented in order to favour the dissemination of basic principles of automated cartography. This chapter may be overlooked by readers who are more interested by the actual output.

RESUMO

A elaboração de mapas temáticos é uma tarefa freqüente para os pedólogos. A finalidade deste artigo é de apresentar um processo de obtenção de traçados automáticos, comparáveis às estabelecidos na mão, ao mesmo tempo econômicos e rápidos. A explanação detalhada do método usado foi realizada no objetivo de vulgarização dos princípios básicos, as vezes pouco conhecidos, da cartografia assessorada pelo computador.

Entretanto o seu estudo não é essencial para o uso desse serviço, cujo manual do usuário consta da última parte deste relatório.

Introduction

En tant que scientifiques naturalistes, de nombreux chercheurs de l'Office sont amenés à dresser des cartes, que ce soit l'objectif de leurs travaux, ou simplement une étape utile dans leurs recherches. Les pédologues, quant à eux, sont concernés par la cartographie à deux niveaux : l'élaboration de la carte pédologique proprement dite — qui reste une fonction essentielle — mais aussi le tracé de cartes thématiques diverses, nécessaires à des études locales, intégrées ou non, dans le cadre d'une action régionale pluridisciplinaire.

L'établissement d'une carte à partir d'un ensemble de relevés ponctuels constitue une tâche qui se prête, sous certaines hypothèses, à une automatisation. La présente note rend compte de la méthode adoptée, élaborée à partir d'un programme de traçage automatique de cartes d'isovaleurs, dû à E. DAVAUD de l'Université de Genève (DAVAUD, 1975) et adapté au contexte scientifique de l'O.R.S.T.O.M.

La procédure interne de calcul consiste à générer une succession de grilles d'interpolation de plus en plus serrées, permettant de créer progressivement des valeurs interpolées complémentaires autour de valeurs observées. Au cours d'une étape, la valeur prise par le caractère en chaque nœud de la grille est calculée par interpolation locale à partir de l'ensemble des points les plus voisins (situés dans un cercle de rayon donné).

L'utilisation de toute méthode automatique présente les avantages de l'objectivité du tracé et de la rapidité d'exécution. La méthode retenue est en outre applicable quelle que soit la distribution spatiale des points connus et, d'autre part, son coût d'exploitation est très réduit.

La première partie de cet article est consacrée à la description de l'algorithme, définissant son domaine d'application et soulignant ses caractéristiques. La souplesse de la méthode est ensuite illustrée à la faveur d'un exemple simple pour lequel on a fait varier les divers paramètres dont on dispose. Une dernière partie précise les conditions d'accès au produit offert, en fonction de la situation de l'utilisateur potentiel vis-à-vis de ses moyens de calcul automatique.

1. MÉTHODE

De nombreuses méthodes ont été proposées pour la cartographie automatique d'une variable sur un domaine limité à partir d'un ensemble quelconque de données d'observations ponctuelles. Pour la plupart elles sont basées sur le calcul, par interpolation, de la valeur de la fonction en chaque

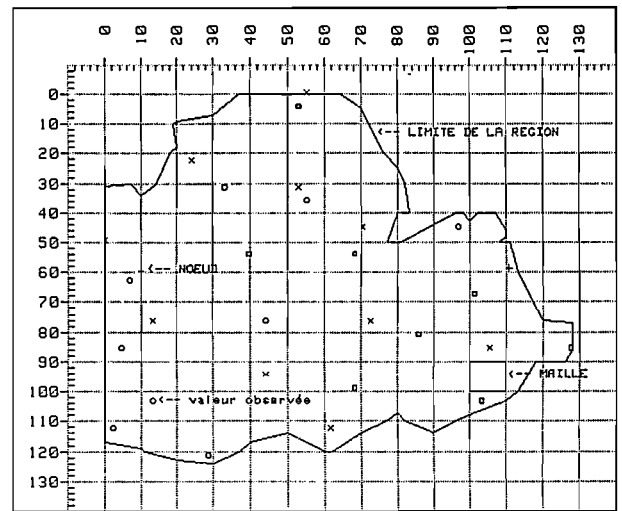


Fig. 1. — Quelques définitions : les points observés extrêmes, situés à l'intérieur de la région à étudier, fixent les dimensions maximales de la grille d'interpolation à maille carrée. La valeur de la fonction est alors calculée sur chacun des nœuds de cette grille, à partir des valeurs observées les plus proches du point considéré.

nœud d'une grille superposée à la région considérée (fig. 1).

La méthode présentée n'échappe pas à cette règle et possède, entre autres avantages, une remarquable souplesse d'utilisation qui devrait lui permettre de servir à la représentation des thèmes les plus divers, pourvu que les hypothèses initiales soient respectées.

1.1. Hypothèses fondamentales

Du point de vue formel, on s'intéresse dans cet article à une fonction z , définie et continue en tout point M , de coordonnées orthogonales (x, y) , d'un domaine D . On traduira en outre mathématiquement le fait que la surface représentative ne présente pas de variations brutales en supposant que les dérivées partielles des premiers ordres de la fonction sont également continues. Bien entendu ces conditions très restrictives peuvent être affaiblies, moyennant certaines précautions à l'emploi de la méthode dont l'étude déborde le cadre de cet exposé.

En pratique le caractère à cartographier est connu en quelques points de mesure irrégulièrement distribués, sans exclure la possibilité d'existence de parties du domaine vides de données.

Le problème posé consiste donc à trouver une méthode d'interpolation d'une fonction à deux variables à partir d'un nombre limité de valeurs de

cette fonction. Le résultat obtenu pourra s'exprimer, soit graphiquement par le moyen d'une carte d'isovaleurs, soit encore numériquement par une distribution uniforme de valeurs calculées.

1.2. Diverses méthodes

La première méthode utilisable pour ajuster une surface sur un ensemble de points consiste à représenter celle-ci par une équation dont les paramètres sont calculés par la méthode des moindres carrés. Pour obtenir un bon ajustement il est nécessaire d'utiliser une équation dont le degré est d'autant plus élevé que la surface est supposée plus irrégulière. Corrélativement, dans les zones où l'on ne dispose pas de points observés, la fonction ainsi obtenue peut prendre des valeurs totalement inattendues.

Une autre technique consiste à décrire la surface avec une grille uniforme de valeurs interpolées à l'aide d'une fonction polynomiale ajustée localement. Si la maille de la grille est choisie suffisamment fine, la fonction obtenue représente une surface qui passe effectivement par tous les points observés. C'est par la procédure de calcul des valeurs du thème en chaque nœud de la grille que les méthodes diffèrent. Toutes néanmoins réalisent une sélection des points observés à utiliser pour l'interpolation locale, en pondérant ceux-ci en fonction de la distance qui les sépare du point à interpoler (BATCHA et REESE, 1964; DAVAUD, 1975; OJAKANGAS et BASHAM, 1964; PEUCKER, 1972).

La méthode mise au point par E. DAVAUD apparaît comme étant celle qui dispose de la plus grande souplesse d'utilisation et par conséquent convient le mieux à l'objectif visé.

1.3. Méthode retenue

Cette dernière méthode présente la particularité d'être itérative. L'algorithme génère en effet une succession de grilles dont la maille carrée est de plus en plus fine : en chaque nœud d'une nouvelle grille la valeur de la fonction est calculée tant à partir des points voisins initialement observés que des valeurs interpolées au cours d'une étape précédente.

Dans les autres méthodes étudiées, le choix d'un critère de sélection des points observés à prendre en compte pour le calcul en un nœud de la grille, impose un procédé de calcul différent pour les points « entourés » — ou non — d'observations.

Ici, lorsque le nombre de points de mesure rencontrés au voisinage d'un nœud est insuffisant, l'interpolation est simplement abandonnée, et la valeur en ce point sera calculée au cours d'une étape ultérieure.

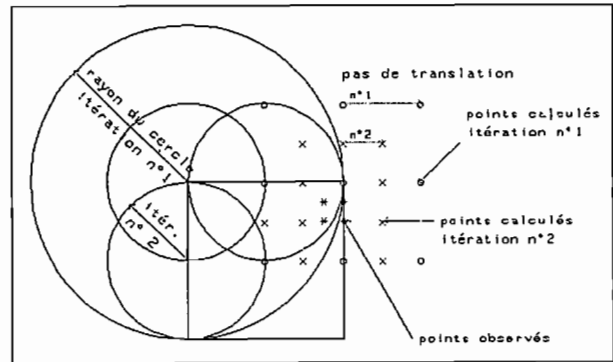


Fig. 2. — Exemple de propagation de l'interpolation locale : à partir de quatre points observés (*), on obtient les points représentés par le symbole 'o' au cours d'une première itération, puis lors d'une seconde itération, les points représentés par le symbole 'x'.

Une telle procédure permet de créer progressivement des valeurs complémentaires « réalistes » dans les zones où la densité des points de mesure initiaux est faible.

Le calcul de la valeur du paramètre z en chaque nœud des différentes grilles successives est réalisé en trois temps :

- sélection des données « voisines » qui serviront au calcul. Ne sont pris en compte que les points situés dans un cercle, dont le rayon est choisi proportionnel à la maille de la grille, centré sur le nœud considéré (fig. 2);
- les données ainsi sélectionnées sont pondérées suivant leur distance au centre du cercle, de manière à donner une influence plus importante aux points les plus voisins;
- on ajuste finalement à ces données un polynôme du premier degré en x et y (représentatif d'un plan), qui fournit la valeur de la fonction cherchée au nœud de la grille considéré.

Une fois l'interpolation réalisée (ou abandonnée) pour tous les nœuds de la grille, on définit une nouvelle grille en divisant chaque segment en deux. Lorsque les dimensions de la maille équivalent aux caractéristiques topographiques de l'imprimante de l'ordinateur, on obtient une valeur de la fonction en chaque emplacement physique de la carte à imprimer, qu'il suffit alors de remplacer par un symbole graphique pour aboutir au résultat recherché.

1.4. Quelques précisions

Le choix du rayon du « cercle de voisinage », égal à la dimension de la maille de la grille, est dicté par le

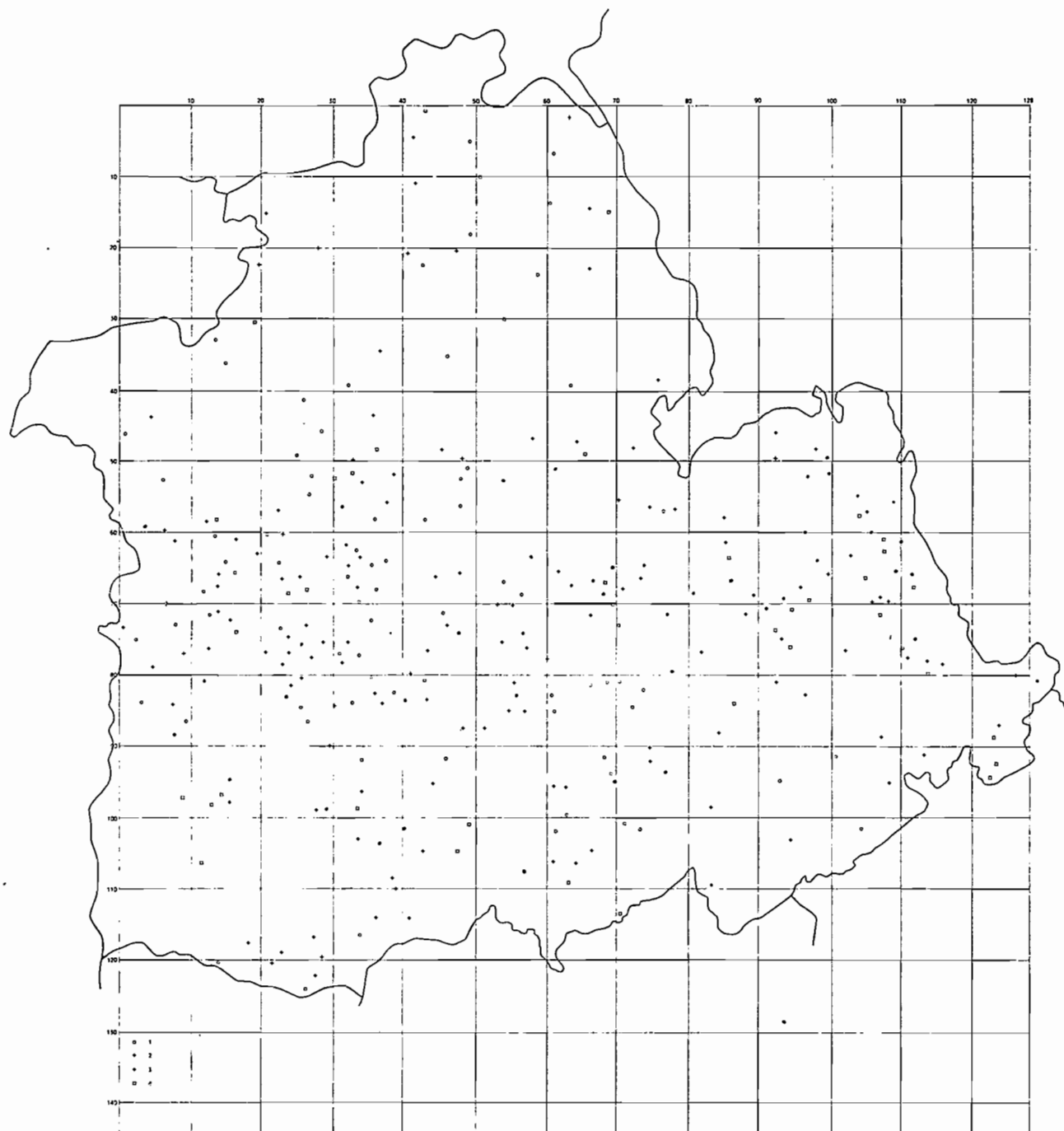


Fig. 3. — Jeu d'essai : localisation des observations.

souci de réduire progressivement — à chaque itération — l'influence des points les plus éloignés.

En effet, lors de la définition d'une nouvelle grille, ce rayon se trouve réduit de moitié et, par consé-

quent, la tendance générale de la surface n'est plus représentée que par les nœuds de la grille précédente, situés dans le cercle, à côté des observations initiales locales, jamais altérées.

Afin de couvrir l'ensemble des positions de la carte à l'issue de la dernière itération, la grille est déplacée selon les deux axes d'un pas qui varie en fonction de l'itération considérée.

Les points à prendre en compte sont affectés d'un poids inversement proportionnel au carré de la distance qui les sépare du nœud étudié, ce qui garantit la continuité des dérivées partielles de la fonction (PELTO, ELKINS, BOYD, 1968), tout en assurant une influence plus importante aux points situés plus près du nœud. Tous les points interpolés sont recalculés à chaque nouvelle itération; toutefois, ils ne sont pris en compte dans le calcul d'un nœud voisin que lors des itérations ultérieures.

En deçà de quatre points dans le cercle, l'interpolation locale est abandonnée, en raison de la dégénérescence de la méthode des moindres carrés.

Afin de supprimer la distorsion de la carte inhérente aux caractéristiques physiques de l'imprimante de l'ordinateur, une correction d'échelle est introduite, calculée en fonction du rapport des dimensions d'un caractère.

Enfin, on peut souligner que la maille initiale est une puissance de deux de la maille finale, qui a été fixée dans cette application à cinq largeurs (ou trois hauteurs) de caractère typographique.

2. EXEMPLE INTRODUCTIF

L'objectif poursuivi dans cet article n'est pas de démontrer que les tracés obtenus sont équivalents à ceux réalisés à la main par des spécialistes: pour cela, il conviendrait de se reporter aux travaux des auteurs cités en bibliographie, et, en particulier, à l'article d'E. DAVAUD qui illustre abondamment l'adéquation de l'algorithme, quelle que soit la répartition des données initiales.

Compte tenu de la diversité des applications potentielles, il a été par contre jugé intéressant d'insister sur la souplesse d'emploi introduite par les paramètres disponibles.

2.1. Jeu d'essai

Il a été choisi comme exemple un ensemble de 300 observations, irrégulièrement réparties sur un domaine plan. La variable ainsi représentée peut y prendre toutes les valeurs comprises dans l'intervalle fermé (1, 4). La figure 3 présente le domaine considéré, la localisation des points observés et la position initiale de la grille minimale. En vraie grandeur, c'est-à-dire pour un tracé s'étendant sur la largeur de la page d'imprimante, la maille de cette grille couvre une superficie d'un pouce carré (10 colonnes,

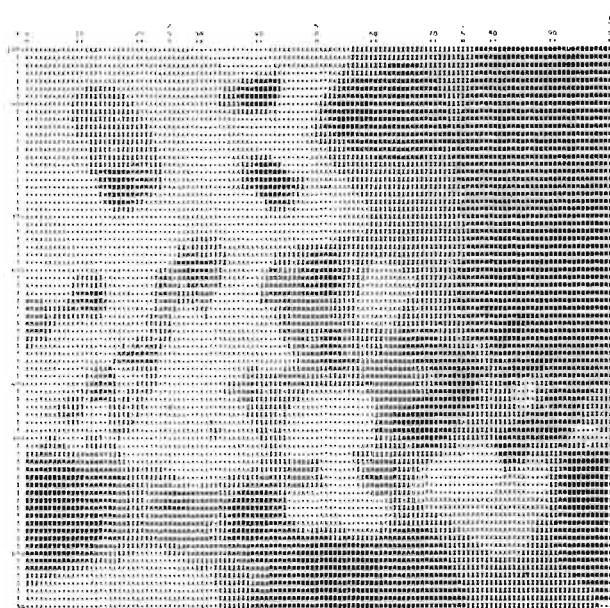


Fig. 4. — Surface obtenue sur une page d'imprimante.

6 lignes), et se déplace d'une position selon chacun des axes pour permettre l'interpolation en tous les nœuds du rectangle maillé, limité aux points extrêmes d'observation.

2.2. Résultat obtenu

La carte présentée sur la figure 4 montre la configuration que l'on obtient pour un ensemble de valeurs choisies des paramètres. La représentation sous la forme de zones de valeurs comprises dans un même intervalle est réalisée par l'emploi de symboles graphiques, dont le taux d'obscurcissement varie proportionnellement avec la valeur à figurer. Ce tracé a été établi avec cinq itérations, une pondération dans le rapport 100/1 pour les valeurs observées, six classes d'isovaleurs et toute la région à étudier sur une page d'imprimante.

2.3. Action sur les paramètres

La méthode, telle qu'elle a été conçue à l'origine, met à la disposition des utilisateurs de nombreux paramètres. En dépit de la souplesse d'utilisation que permettent les diverses combinaisons possibles, le foisonnement de listages résultants ne facilite en rien la mise au point du tracé définitif. Dans le double objectif de limiter le nombre d'essais infructueux d'une part, d'orienter les utilisateurs vers un ensemble de combinaisons usuelles plus plausibles d'autre part, certains de ces paramètres ont été fixés à des valeurs

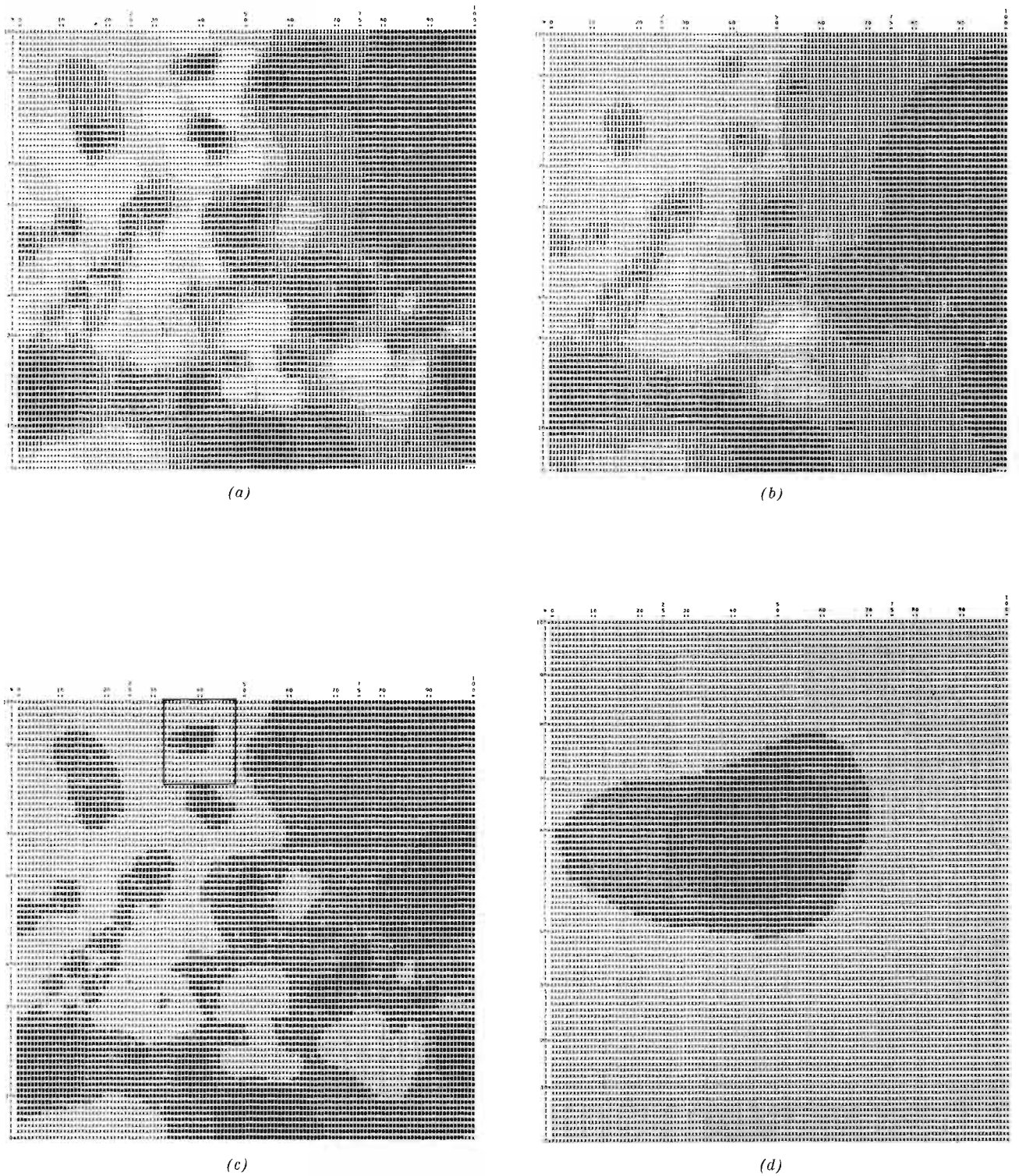


Fig. 5. — Exploitation des paramètres : (a) Poids = 100, classes = 6, échelle = 1. (b) Poids = 1, classes = 6, échelle = 1. (c) Poids = 100, classes = 3, échelle = 1. (d) Poids = 100, classes = 3, échelle = 6.

dont le choix a été dicté par l'expérience. Les paramètres à considérer restent néanmoins nombreux :

— les dimensions du graphique ont été choisies de telle sorte que celui-ci occupe toute la largeur disponible, tout en restant inscrit dans une double page. Cela conduit à fixer le nombre de colonnes à 128 et le nombre de lignes à 110, ce qui n'impose aucune restriction sur les valeurs réelles des coordonnées, étant entendu qu'il est possible de permuter les axes;

— le nombre d'itérations, compte tenu des dimensions choisies pour le tracé et de la remarque concernant la maille initiale (voir alinéa 1.4), doit être fixé de telle manière que l'on obtienne une couverture complète de la région sans calculs superflus. Généralement des résultats excellents sont obtenus avec quatre ou cinq itérations;

— la pondération à attribuer aux observations constitue un moyen de traduire sur le tracé les caractéristiques de « relief » de la surface. En effet, l'attribution d'un poids élevé aux valeurs observées, par rapport aux valeurs interpolées environnantes, contraint la surface obtenue à passer par tous les points de mesure, alors qu'un poids faible produit une surface plus éoussée. Les deux valeurs de poids choisies (1 et 100) sont illustrées sur les figures 5 a et b. Entre ces deux valeurs extrêmes, l'utilisateur peut faire varier l'intensité de cette pondération à son gré;

— le nombre de classes d'isovaleurs a été volontairement limité à six, de façon à obtenir une hiérarchie optimale dans le contraste entre zones. On notera que l'utilisation d'un nombre de classes inférieur (comparer les figures 5 a et c) schématise les tendances générales de la fonction à cartographier, ce qui peut constituer une esquisse souvent bien utile et parfois suffisante;

— les limites des classes d'isovaleurs doivent être fixées par l'utilisateur, à chaque travail. Bien entendu un choix judicieux de celles-ci est nécessaire pour obtenir un bon résultat : l'établissement d'un histogramme pourra alors quelquefois y aider;

— l'échelle de la représentation peut enfin être modifiée en séparant la région à étudier en plusieurs aires distinctes, ou encore pour préciser un détail (voir l'exemple de la figure 5 d, agrandissement de la zone encadrée en 5 c).

3. EXEMPLE D'APPLICATION

Le but poursuivi dans le présent chapitre est de présenter un exemple d'application de la méthode proposée à des données de sols. En particulier, on

s'intéresse principalement à la comparaison des représentations obtenues pour un ensemble de variables observées en divers points d'une même région géographique.

La réalisation pratique des différentes cartes à une même échelle impose de légères modifications de la version de base du programme, de même que la superposition automatique du contour de la région étudiée, qui constitue une aide précieuse pour l'exploitation visuelle des tracés.

L'interprétation des résultats obtenus s'appuie essentiellement sur l'examen des tendances de chaque caractère cartographié. L'attention du chercheur doit être attirée sur l'éventuelle hétérogénéité des points de mesure entre eux, due, par exemple, à des modes opératoires différents pour certaines données de laboratoire.

Néanmoins, l'expérience acquise à la faveur de cette étude particulière montre que la réalisation de cartes thématiques constitue un outil de synthèse intéressant et objectif, permettant d'argumenter les conclusions formulées dans les domaines les plus divers (détection d'erreurs, recherche des unités cartographiques, analyse de corrélation, aide à la classification...).

3.1. Les données

Le plateau de Gadzi, situé à l'ouest de la République Centrafricaine, a été retenu en raison de l'homogénéité de son matériau : sables de décomposition des grès de Carnot du Continental Intercalaire, recouvert au sud, selon les géologues, de placages sableux tertiaires (sables de Bambio).

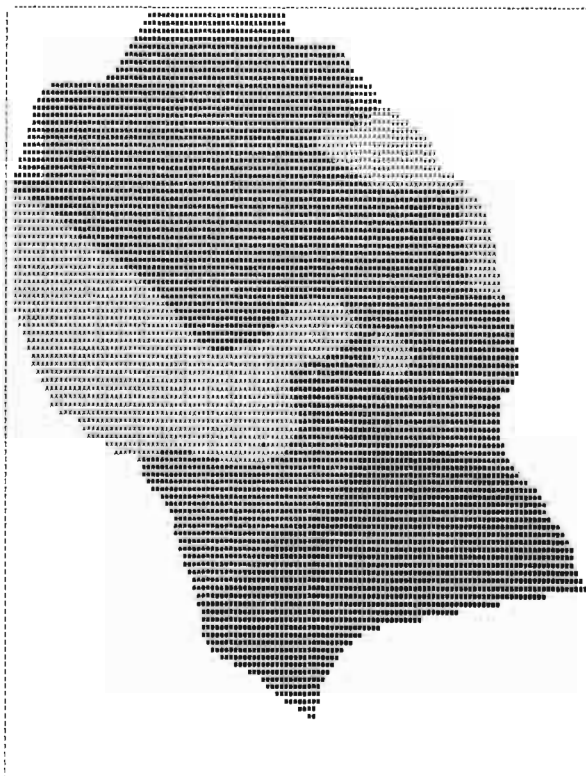
Le couvert végétal est constitué au sud d'une forêt dense humide semi-caducifoliée, qui remonte près de Carnot le long d'une vallée (fig. 6 f). Une savane soudano-guinéenne à *Burkea-Lophira*, recouvre la moitié nord de cette région. On constate dans cette zone de savane un léger déficit de la pluviométrie (inférieure à 1400 mm), le climat étant tropical humide à deux saisons tranchées. La pluviométrie croît normalement vers le sud et la forêt équatoriale, mais aussi à l'extrémité nord, où l'escarpement de Bouar correspond au prolongement oriental du plateau camerounais de l'Adamaoua.

Le plateau de Gadzi, qui se présente sous l'aspect de larges interfluves multiconvexes, apparaît basculé. Relevé au niveau 900-1000 mètres près de Bouar, il s'enfonce progressivement vers la cuvette congolaise. Sur la frontière du Congo (limite sud-est de l'étude), il se situe au niveau 600 mètres.

Une première étude pédologique d'ensemble a été consacrée à ces grès par P. BENOIT-JANIN en 1959; elle concerne 41 profils caractéristiques publiés. Par



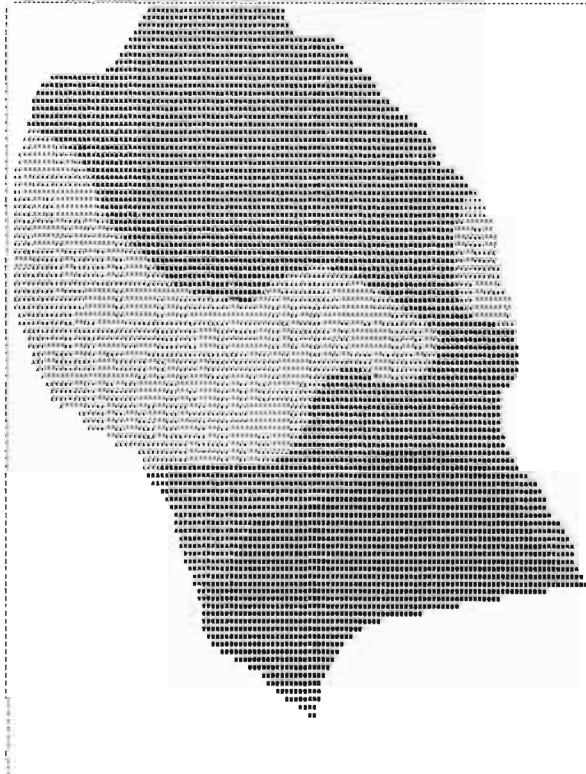
(a)



(b)

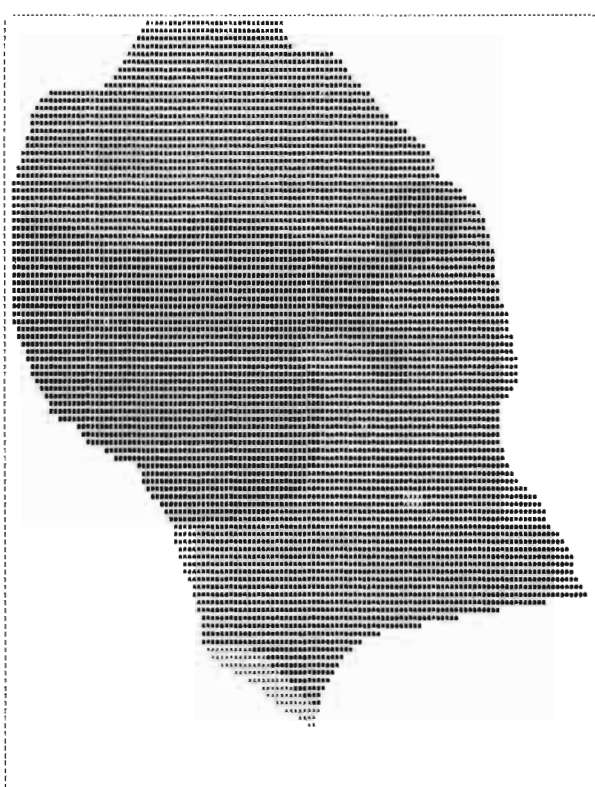


(c)

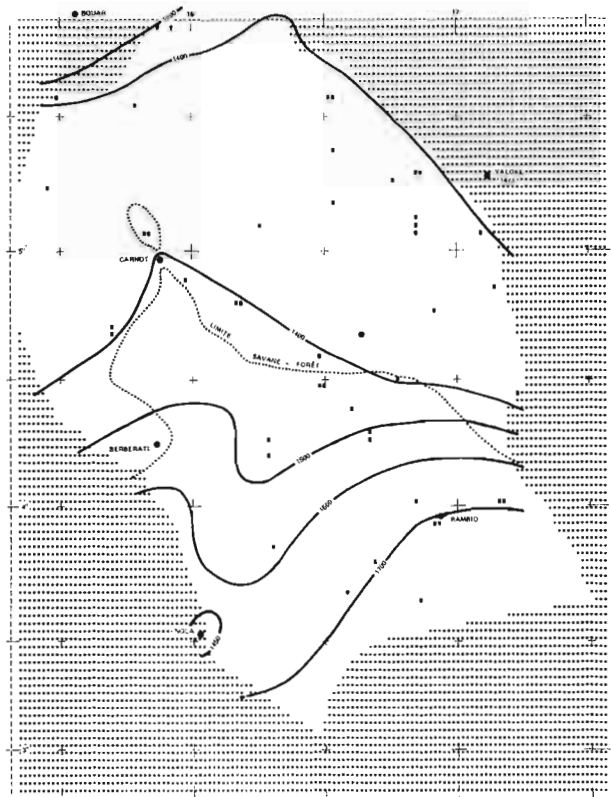


(d)

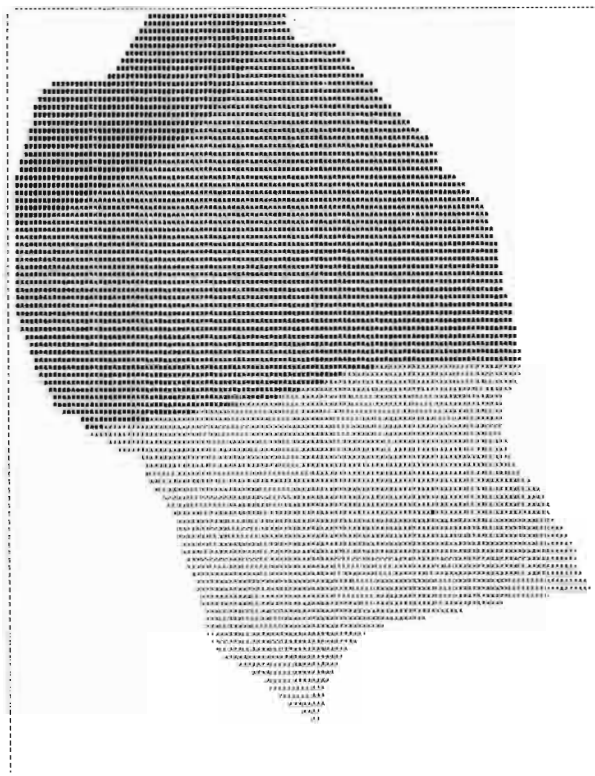
Fig. 6. — Traitement cartographique des profils sur Grès de Carnot : (a) Taux de sable grossier en A₁. (b) Taux de sable grossier en A₂. (c) Taux de sables grossier en B₁. (d) Taux moyen de sable grossier. (e) Moyenne des bases échangeables. (f) Plan de situation et isohyètes. (g) Moyenne de (pH eau - pH KCl). (h) Taux de saturation moyen.



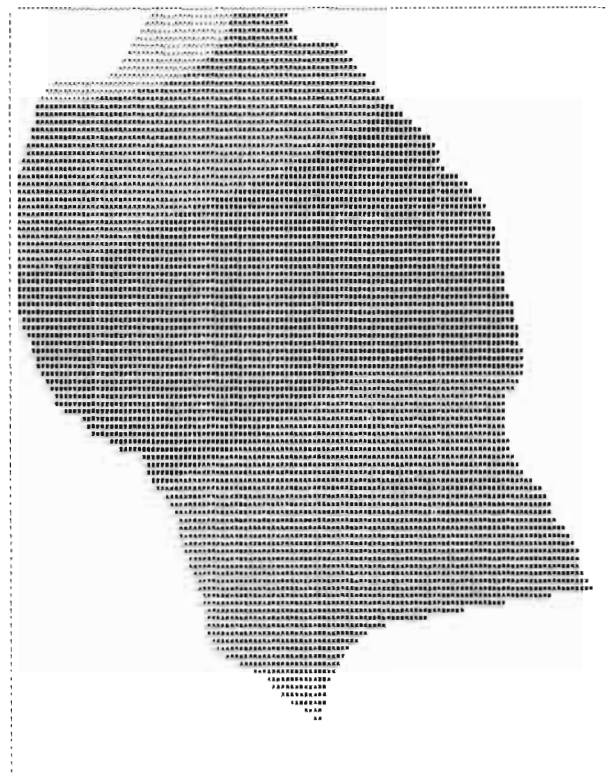
(e)



(f)



(g)



(h)

la suite, des études analytiques plus approfondies ont été effectuées par Y. CHATELIN (2 profils : séquence de Kourou) et Y. BOULVERT (13 profils : séquences de Tedo, Bambio et M'baere).

Pour chaque point d'observation on a retenu pour ce travail, en plus des données caractéristiques du profil (coordonnées géographiques, altitude et végétation environnante, en distinguant savane, forêt dense humide et forêt dégradée), un ensemble de résultats d'analyses des échantillons prélevés dans trois horizons A1 (0-10 cm), A3 (vers 25 cm) et B1 (vers 1 m) : pourcentage de sables totaux et de sable grossier, taux de matière organique, pH et différence entre le pH-eau et le pH-KCl, somme des bases échangeables, taux de saturation et rapport C/N.

3.2. Adaptation du programme

La version du programme destinée à permettre la cartographie de plusieurs paramètres sur une même région diffère quelque peu de la version de base utilisée dans l'exemple précédent, et dont la liste est fournie en annexe. Il est en effet indispensable d'adopter des valeurs standards pour les paramètres, de façon à comparer des tracés établis selon des critères uniformes.

Ainsi, pour chaque carte, les dimensions maximales de la grille d'interpolation sont fixées automatiquement par les points observés extrêmes (fig. 1). Donc, lorsque l'on utilise la méthode pour plusieurs paramètres, pas toujours observés aux mêmes points, il est nécessaire de figer les dimensions maximales du tracé pour conserver l'échelle.

L'introduction du contour de la région à étudier ne pose guère de problèmes, surtout lorsque, comme c'est le cas ici, ce contour est simple, c'est-à-dire lorsque chaque ligne horizontale ne coupe la frontière qu'en deux points au plus.

Dans la mesure où l'on s'intéresse beaucoup plus à une analyse de tendance générale pour chacun des paramètres, plutôt qu'à une cartographie détaillée (pour laquelle d'ailleurs, le nombre de points observés serait très probablement insuffisant), il a été choisi de réaliser les tracés avec une fonction de pondération de 1/1 et un nombre de classes d'isovaleurs limité à 3, afin de ne pas mettre en évidence des hétérogénéités locales, sans intérêt pour cette étude. Toutefois il peut être intéressant de réaliser quelques tracés avec le poids 100, de façon à déceler rapidement d'éventuelles incohérences dans les données.

Le choix des limites de classes est délicat, et doit être réservé au pédologue qui se laissera orienter par l'interprétation qu'il compte mener. Ainsi, si la préoccupation majeure de celui-ci est la classification des sols de cette région, il est tout naturel de choisir

les limites de séparation des groupes de sols. Dans cet exemple précis on a choisi d'effectuer une analyse en fréquences de chaque échantillon (en utilisant le logiciel BMDP), pour définir comme limites de classes les valeurs correspondantes aux tiers de la surface de l'histogramme.

Enfin, le programme a dû également être modifié pour permettre la cartographie des paramètres intégrés le long d'un profil, de manière à obtenir une valeur moyenne locale.

3.3. Exploitation des résultats

En première approximation, ces sols semblent très homogènes. Ce sont des sols ferrallitiques appauvris psammitiques, qui contrastent avec ceux du socle précambrien ancien environnant, par l'absence quasi générale de nodules ferrugineux et de cuirasses.

P. BENOIT-JANIN distingue deux grandes séries : la série de Gadzi, sous savane et la série de Bambio, sous forêt. A partir des résultats analytiques, on peut considérer les sols de la première série comme moyennement désaturés, les sols de la seconde série comme fortement désaturés, le taux moyen de sable grossier s'élevant par ailleurs de l'une à l'autre de 50 à 65 %.

Le traitement informatique montre que la réalité est plus complexe. Parmi les données traitées, seules certaines ont été retenues. A titre d'exemple, les teneurs en sable grossier ont été comparées dans les trois horizons A1, A3 et B1. Des effectifs semblables se regroupent en trois classes de valeurs maximales respectives : 47, 60 et 87 % pour A1 ; 46, 60 et 81 % pour A3 ; 41, 55 et 80 % pour B1 soit en moyenne 45, 58 et 83 %. La comparaison des figures correspondantes (voir fig. 6 a, b, c et d) met en évidence la similitude de différenciation des profils à l'intérieur de la zone d'étude. Elle confirme certes que les taux de sable grossier sont très élevés sous vieille forêt au sud (teinte sombre), mais il apparaît de plus que ces taux sont plus faibles dans les zones de défrichement récent, en lisière forestière et sur les bordures des grès (teinte claire).

Ce type de représentation se confirme sur la figure 6 e, où est cartographiée la valeur moyenne, dans le profil, de la somme S des bases échangeables. Ainsi, les sols de cette région, en général moyennement désaturés ($S < 2$ meq), n'apparaîtraient fortement désaturés ($S < 1$ meq) que très localement autour de Bambio et au sud de Nola. Par contre, dans la zone centre-ouest des grès, ils seraient faiblement désaturés : la somme des bases échangeables est plus élevée dans les sols qui contiennent le moins de sable grossier (donc plus d'éléments fins). En dépit d'un nombre de points de mesure restreint, on peut tirer des conclusions intéressantes des tracés

représentés sur les deux dernières figures (voir fig. 6 g et h). On relève un net gradient d'accroissement du sud vers le nord pour la différence des pH-eau et pH-KCl. Sous forêt dense les sols sont acides; à proximité du point isoélectrique les valeurs observées pour ce paramètre sont plus faibles. Quant à l'extrémité nord, l'accroissement de la différence des pH est à relier à la baisse du taux de saturation près de l'escarpement.

Sur le graphique des moyennes de $V = S/T$, il semblerait que le taux de saturation, par rapport à une zone centrale faiblement désaturée, diminue normalement vers le sud, en forêt dense, mais aussi vers le nord et l'escarpement de Bouar.

Ces derniers résultats s'accordent assez bien avec la carte des isohyètes annuelles. Ils montrent que la désaturation ne correspond pas à des critères schématiques simples du type savane tropicale ou forêt dense équatoriale. La réalité, plus complexe, montre la difficulté de faire intervenir ce critère à un niveau élevé en cartographie pédologique.

4. UTILISATION

Cette dernière partie traite plus particulièrement des différentes façons d'utiliser ce système. Schématiquement il y a deux façons de procéder, selon les moyens de calcul dont dispose le chercheur sur son site de travail.

Dans le premier cas, le traitement correspondant est en tout (ou partie) exécuté à Bondy, ce qui implique certaines sujétions dans la démarche, dues à l'éloignement. Au contraire, si on peut implanter le programme sur place, des résultats plus rapides pourront être obtenus grâce à l'interprétation menée en temps réel.

4.1. Version BDP

La version mise au point aux Services Scientifiques Centraux utilise un programme codé en Fortran IV (niveau II), pour être exécutée sur un ordinateur IBM-370/168 (ou apparenté), sous système opérationnel OS-MVS. Dans ces conditions d'exploitation, le programme a été optimisé de telle sorte que le prix de revient de chaque tracé soit le plus faible possible. A titre d'exemple, on peut signaler qu'un tracé sur double-page, tel que celui présenté sur la figure 4, coûtait moins de 20 F en décembre 1980.

4.2. Mode d'emploi

En pratique, pour utiliser la méthode, il convient de disposer d'une — ou plusieurs — variable à cartographier, sur une région déterminée, variable

connue en un certain nombre de points de mesure repérés par des coordonnées rectangulaires. En principe, l'hypothèse de continuité peut être contournée si l'on ne s'intéresse qu'à une tendance générale à partir de points d'observation caractéristiques.

Les seules données nécessaires à l'exécution sont les coordonnées de ces points, associées aux valeurs observées. Celles-ci peuvent être fournies sous forme manuscrite (ou dactylographiée), ou sur support directement utilisable par l'ordinateur. Dans un premier temps une analyse statistique de l'échantillon, comprenant en particulier le tracé automatique de l'histogramme, sera systématiquement réalisée afin d'orienter le choix des limites de classes, bien entendu seulement si celles-ci n'ont pas été initialement fournies par le demandeur.

Il est bien évidemment souhaitable que les données soient présentées sous la forme directement acceptable par le programme : pour chaque point, on fournira les deux coordonnées x et y , puis la valeur du (des) paramètre(s) à cartographier. Exemple : x , y , paramètre 1 (paramètre 2...). La largeur de chaque champ de codification est laissée au choix de l'utilisateur. L'exécution du programme peut être réalisée dès que ce fichier se trouve sur un support admissible par l'ordinateur.

4.3. Transportabilité

Le programme, dont la liste est donnée en annexe, a été soigneusement dépouillé de toute instruction spécifique d'un compilateur donné. La taille mémoire nécessaire à l'exécution de la version présentée est de 260 K octets. Néanmoins elle peut être facilement réduite (à 150 K environ), sans modification d'échelle, grâce à l'utilisation de supports externes comme mémoires de travail. Suivant les critères adoptés pour la facturation dans les différents centres de calcul (coût des entrées-sorties, des montages de volumes, de l'occupation en mémoire centrale, du temps de CPU...), toute solution intermédiaire entre ces deux extrêmes peut être envisagée.

A noter que le programme doit être légèrement modifié lorsque l'on prévoit l'utilisation d'imprimantes qui ne permettent pas la surimpression (imprimante électrostatique, par exemple).

Conclusion

La seule utilisation d'imprimantes alphanumériques, en tant que périphériques de sortie pour le tracé de cartes, astreint à quelques limitations. En particulier, la différenciation des zones repose sur les contrastes entre caractères, ce qui limite le nombre de classes d'isovaleurs utilisables; la résolution est fixée par les dimensions d'un caractère typogra-

phique, ce qui diminue la précision du tracé et interdit pratiquement la représentation par contours.

Ces derniers inconvénients peuvent être éliminés par l'utilisation de périphériques graphiques (ensembles écran+imprimante de type « hard-copy » ou encore traceurs de courbes) à haute résolution. Dans ces conditions, la méthode doit être modifiée (une fois la grille finale obtenue) pour le tracé des contours d'isovaleurs, par interpolation entre les

points de la grille de basse résolution (BATCHA et REESE, 1964).

Toutefois, la méthode avec sortie graphique n'offre pas aisément la possibilité d'ombrer graduellement les surfaces comme le procédé proposé. En outre, l'avantage essentiel de ce dernier réside dans sa portabilité, liée à l'universalité de l'imprimante conventionnelle. L'utilisation de ce matériel standard, qui reste de loin le plus répandu, s'accompagne de surcroît d'un faible coût de réalisation des tracés.

BIBLIOGRAPHIE

- BATCHA (J. P.) and REESE (J. R.), 1964. — Surface determination and automatic contouring for mineral exploration, extraction and processing. *Colorado School Mines Quart.*, 59(4) : 1-14.
- BENOIT-JANIN (P.) et KOEHLIN (P.), 1959. — Étude Pédobotanique de la région des grès de Carnot. O.R.S.T.O.M.-Bangui, *multigr.*, 71 p.+tab.
- BENOIT-JANIN (P.), 1960. — Les sols formés sur les grès de Carnot. III. Conférence Interafricaine des sols, (2) : 459-462.
- CHATELIN (Y.), BOULVERT (Y.) et BEAUDOU (A. G.), 1972. — Typologie sommaire des principaux sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux étudiés en République Centrafricaine. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. X, (1) : 59-75.
- DAVAUD (E.), 1975. — Le traçage automatique des cartes d'isovaleurs : un algorithme simple en Fortran IV. *Can. J. Earth Sci.*, 12 : 1069-1077.
- DAVIS (J. C.) and McCULLAGH (M. J.), 1974. — Display and analysis of spatial data. Wiley. New York.
- OJAKANGAS (D. R.) and BASHAM (W. L.), 1964. — Simplified computer contouring of exploration data. *Stanford Univ. Publ. Geol. Sci.* 9 (2) : 757-770.
- PELTO (C. R.), ELKINS (T. A.) and BOYD (H. A.), 1968. — Automatic contouring of irregularly spaced data. *Geophysics* 33, (3) : 424-430.
- PEUCKER (T. K.), 1972. — Computer cartography. Assoc. American Geographers, Commission on college geography, *Resource Paper* 17, 75 p.