

SYNTHESE CARTOGRAPHIQUE REGIONALE A PARTIR DE DONNEES D'ANALYSES DE TERRE

A. LELEUX⁽¹⁾, P. AUROUSSEAU⁽²⁾ et A. ROUDAUT⁽³⁾

RESUME

Plus de 340 000 résultats d'analyses de sols correspondant à 71 000 sites de prélèvement ont été transmis par les laboratoires d'analyse de terre de Bretagne pour être l'objet d'une synthèse cartographique. Deux modes de représentation ont été choisis : quand les données le permettaient, on a choisi de les représenter par cartes en courbes d'isovaleur ; dans le cas contraire, on a choisi une représentation en cartes communales. Ce travail montre la faisabilité de telles synthèses cartographiques à partir d'un grand nombre de données d'analyses de sol et de référentiels agronomiques. Il donne des images à des échelles inhabituelles de caractères agronomiques comme teneur en argile, pH, besoin en chaux, teneur en matière organique, phosphore assimilable et potassium échangeable.

INTRODUCTION

L'un des buts poursuivis par le Plan de Relance Agronomique concerne l'augmentation du nombre d'analyses de terre et une meilleure valorisation des résultats. On peut distinguer dans la valorisation des résultats d'analyse de sol : la valorisation individuelle, c'est-à-dire l'interprétation de l'analyse, et la valorisation collective, c'est-à-dire les synthèses statistiques et cartographiques d'un grand nombre de résultats d'analyses. Si l'on dispose d'une expérience certaine dans le domaine de l'interprétation, que ce soit manuelle ou automatique des résultats d'analyse de terre, en particulier, depuis la réalisation du programme CERES (Rémy et Marin-Laflèche, 1974), il n'en est pas de même en ce qui concerne les synthèses statistiques et cartographiques. C'est la raison pour laquelle la région Bretagne a décidé qu'une expérience méthodologique serait menée sur ce sujet, afin de préciser quel pourrait être l'apport d'une banque régionale de données analytiques et quelle serait la contribution d'une telle banque à l'élaboration d'un référentiel agro-pédologique régional (P. Arousseau, 1987).

I. LE CONTEXTE REGIONAL

A) Les données traitées

Notre objectif n'a pas été de mettre en place une banque régionale de données d'analyses de terre, mais de donner aux gestionnaires chargés du développement agri-

MOTS CLEFS : Analyses de terre, synthèses cartographiques, cartes communales, cartes en courbes d'isovaleur.

(1) Adresse actuelle : S.A.S. - Ardon - 45160 Olivet.

(2) Chaire et Laboratoire de Science du Sol - 65 rue de Saint-Brieuc - 35042 Rennes Cédex.

(3) S.U.A.D. - Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine - 22 avenue Janvier - 35042 Rennes Cédex.

cole de la région et aux scientifiques qui sont soucieux de découvrir un vaste territoire à une échelle inhabituelle, des images cartographiques établies à partir des données d'analyse de terre.

En conséquence, nous avons demandé aux six laboratoires d'analyse de terre de la région Bretagne de nous transmettre leurs résultats déjà stockés par voie informatique sur le support magnétique qui leur convenait le mieux. Selon les laboratoires, les données nous ont été transmises sur bande magnétique, sur disquette 8 pouces au format IBM ou CPM, ou sur disquettes 5 1/4 pouces au format CPM. Nous avons donc pris en charge les différents problèmes de transfert de données. De même, nous n'avons pas imposé de format de transfert pour que la contrainte soit la plus légère possible pour les laboratoires.

Plus de 340 000 données analytiques correspondant à 71 000 sites nous ont été transmises (tableaux 1 et 2). Ces données comportaient principalement les informations suivantes : code INSEE de la commune du corps de l'exploitation, teneur en matière organique, CaCO_3 total, pH, Ca échangeable, échangeable, Mg échangeable, P_2O_5 assimilable.

Le tableau 2 donne une image assez fidèle de la politique d'analyse de terre menée en Bretagne : c'est une région où l'on réalise un nombre assez important d'analyses de terre (30 000 analyses par an environ, soit 1/10^e des analyses réalisées en France, alors qu'il y a 25 régions administratives). Par contre, une proportion beaucoup trop grande des analyses réalisées sont des analyses simples, très incomplètes (43 000 analyses ne comportent que le pH, P_2O_5 et K). 3 000 analyses sont « complètes », elles comportent les déterminations suivantes : granulométrie, pH, P_2O_5 , K, Mg, matière organique. 25 000 analyses sont de type intermédiaire (pH, matière organique, K, Mg, P_2O_5).

Tableau I : Origine et répartition du nombre d'analyses traitées.

Origin and repartition of the analytical data studied.

Département	Laboratoire	Nombre d'analyses transmises
22	Saint-Brieuc	11 000
29	Landerneau	3 000
29	Morlaix	800
29	Quimper	3 200
35	Combourg	38 000
56	Vannes	15 000

Tableau II : Nature et nombre des déterminations analytiques qui ont été transmises.

Type and number of transmitted analytical data.

Pourcentage de terre fine	32 300
Teneur en matière organique	28 600
CaCO_3 total	110
pH	71 000
Ca échangeable	15 700
K échangeable	71 000
Mg échangeable	37 000
P_2O_5 Dyer et Joret-Hebert	65 800
Cuivre	11 000
Manganèse	2 900
Zinc	1 800
Bore	150
Granulométrie	3 700

B) Le matériel informatique utilisé

Le traitement informatique a été réalisé sur le DPS 8 du Centre Interuniversitaire de Calcul de Bretagne (CICB) sous système d'exploitation MULTICS.

Le matériel de transfert des données émanant des différents laboratoires de la région Bretagne jusqu'au MULTICS est composé :

- d'un lecteur de disquettes 8 pouces compatible avec les standards IBM et CII sur le Mini 6 de l'ENSAR-INRA.

- d'un lecteur de bandes magnétiques au CICB.

- d'un micro-ordinateur sous CPM, au CICB, qui lit des disquettes 5 pouces et 8 pouces écrites sous des systèmes d'exploitation variés et qui retranscrit les informations sur bande magnétique.

La variété des supports magnétiques qui ont été utilisés pour le transfert des données laisse imaginer aisément les difficultés techniques qui ont été rencontrées au cours de cette phase de transfert de données. Ces difficultés ont été particulièrement grandes avec les disquettes écrites sous système CPM, en effet, la plupart du temps, les constructeurs de matériel informatique ne respectent pas les normes de ce système d'exploitation.

La base graphique des cartes communales a été obtenue en faisant numériser une carte administrative muette de la région Bretagne. Cette numérisation a été réalisée par scanner optique chez la société SCET-AGRI. L'image RESTER obtenue, a été vectorisée et ce sont les fichiers en mode vecteur qui nous ont été transmis.

Les retouches de la base graphique ont été réalisées sur une table à numériser ALTEK et les sorties graphiques sur une table traçante BENSON 1342 au CICB.

Il convient d'insister sur le fait que dans une région donnée, comme la Bretagne, tant qu'une politique d'harmonisation des matériels informatiques, des supports et des formats de transfert n'aura pas été entreprise, on ne pourra pas parler de banque de données et des synthèses comme celle présentée ici, ne pourront avoir qu'un caractère méthodologique. Si l'on souhaite réaliser périodiquement de telles synthèses — tous les ans, par exemple — il sera nécessaire de mettre en place une véritable banque de données avec tout ce que cela signifie en termes d'harmonisation. Il faut bien noter que sans une structure de banque de données, de telles synthèses resteront longues et assez couteuses.

C) Les logiciels utilisés

Deux types de logiciels ont été utilisés :

- a) Le logiciel SPSS qui est un outil de dépouillement statistique simple (histogramme, moyenne, écart-type, corrélation, test),

- b) Une chaîne de programmes de cartographie assistée par ordinateur. Cette chaîne a été réalisée par A. Leleux (1984) sur le Mini-6 de l'ENSAR-INRA. Elle fait appel à des programmes des bibliothèques BENSON 1 et 2, à la bibliothèque CARTOLAB (Mallet, 1976). Cette chaîne a été transférée sur le MULTICS du CICB et adaptée aux problèmes particuliers de la cartographie communale.

II. LES METHODES DE TRAITEMENT

DES RESULTATS ANALYTIQUES

Après leur recueil, les données ont été organisées d'une façon homogène ; nous avons utilisé deux méthodes de projection cartographique, l'une privilégiant l'hypothèse d'une continuité des phénomènes : la cartographie en courbes d'isovaleur, l'autre s'appuyant simplement sur des limites administratives : la cartographie communale.

Ces deux types de méthodes ont été utilisées, l'une sur l'ensemble de la Bretagne, l'autre sur le département de l'Ille-et-Vilaine (fig. 1).

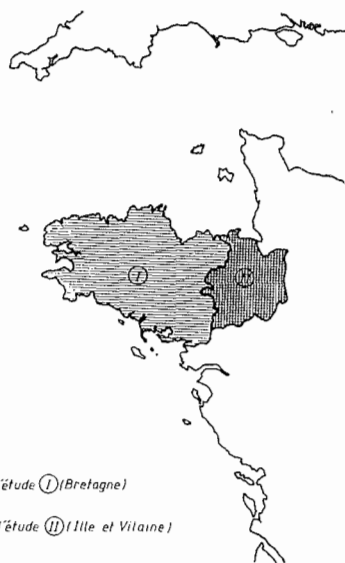


Figure 1 : Situation de la région étudiée : zone d'étude I (cartes communales de l'ensemble de la Bretagne), zone d'étude II (cartes en courbes d'isovaleur de l'Ille-et-Vilaine).

Situation of the studied area : study area I (small scale district sketch maps of Brittany), study area II (iso-composition contour maps of Ille-et-Vilaine).

A) Organisation des données

Notre objectif étant de réaliser une synthèse cartographique, il nous était nécessaire de traiter un ensemble complet de données et non de réaliser une interrogation ponctuelle nécessitant des sélections. En conséquence, les données analytiques ont été rangées dans un fichier séquentiel non indexé : il n'y a donc pas d'accès direct sur un résultat analytique donné et pour accéder à un résultat, il faut balayer l'ensemble du fichier depuis son commencement jusqu'à l'enregistrement cherché. Ceci indique une différence essentielle entre le mode de travail qui a été choisi dans le cadre de ce travail et une véritable base de données où le temps d'accès aux données est optimisé grâce à un accès direct à n'importe quel endroit du fichier.

B) Les cartes en courbes d'isovaleur

Il est possible de réaliser des cartes en courbes d'isovaleur ou en courbes de niveau à certaines conditions :

— les échantillons doivent être parfaitement référencés dans l'espace géographique c'est-à-dire qu'il faut disposer du couple de coordonnées Lambert du lieu de prélèvement. Cinq cents échantillons seulement, émanant du seul Laboratoire de Combourg, ont cette information.

— la variable étudiée doit avoir une « structure » (1) à l'échelle étudiée et elle doit avoir une faible dispersion géographique. C'est le cas de deux variables : le taux

(1) On dira d'une variable, ou d'une carte, ou d'une image qu'elle est structurée s'il y a un déterminisme dans l'organisation spatiale de cette variable ou de cette image. On parlera de variable structurée, ou de la régionalisation d'une variable, ou de l'organisation spatiale d'une variable. De même, on parlera d'image structurée ou organisée. La notion d'aspect structuré qui est donc lié à un déterminisme, s'oppose à la notion d'aspect chaotique qui présente un caractère aléatoire. Sur le plan mathématique, la structure ou le déterminisme peut être formalisé par un « système de relations existant entre les éléments ou les parties de cet ensemble ou de ce phénomène ». (Mathéron, 1965)

d'argile et le besoin en chaux qui ont une faible dispersion (moyenne/écart type = 1/10). Nous n'avons pas vérifié l'existence d'une structure, nous nous sommes limités à utiliser les méthodes d'estimation des variables régionalisées pour obtenir une représentation spatiale par courbes d'isovaleur des variables étudiées. L'étude de la structure de ces variables par analyse du variogramme (Webster et Burgess, 1983, Delhomme, 1978 et 1979, Gascuel-Oudou, 1984) sera reprise dans le cadre d'un autre travail.

Ayant sélectionné les variables qui pourront faire l'objet d'une cartographie en courbes d'isovaleur, il s'agit d'estimer la valeur de cette variable aux nœuds d'un réseau régulier constitué par deux familles de droites sécantes et orthogonales. Ce travail est réalisé en utilisant le sous-programme REZO2D de la bibliothèque CARTOLAB (J.L. Mallet, 1976). Ensuite, les courbes d'isovaleur sont dessinées par interpolation entre les nœuds du réseau régulier en utilisant le sous-programme ISOVAL.

C) Les cartes communales

Pour la très grande majorité des résultats d'analyse, la seule référence géographique dont on dispose est le code INSEE de la commune où se trouve le corps de l'exploitation. Le nombre d'échantillons étudiés dans une commune variant entre 0 et 250, on a calculé pour chaque variable, la moyenne et l'écart-type pour chaque commune.

Ensuite, on entreprend une classification des communes en fonction de la moyenne et de l'écart type de la variable pour chaque commune. Pour cela on choisit le nombre de classes en s'aidant de l'analyse de l'histogramme de la variable et on définit les bornes et l'étendue de chacune des classes (fig. 2).

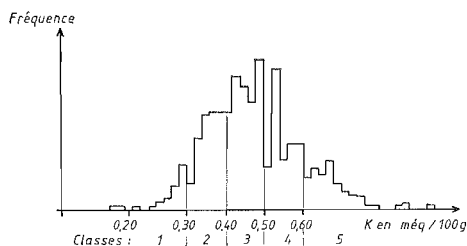


Figure 2 : Histogramme des déterminations de K échangeable et visualisation des bornes des classes utilisées dans la cartographie communale.

Histogram of exchangeable potassium data and position of the class limits used in the small-scale district maps.

Enfin on attribue à chaque classe un figuré en jouant sur la couleur et une éventuelle famille de hachures superposées à la couleur en à-plat. On reporte pour chaque commune ce figuré, faisant l'hypothèse d'une absence de discontinuité majeure au sein des communes.

La chaîne de programmes constitue enfin les fichiers de dessin qui seront traduits par la table traçante BENSON et dessinée sur papier. Au cours de cette dernière phase, on peut choisir entre deux options :

- avec la première option, on obtient un dessin en couleur en un exemplaire,
- avec la deuxième option, on obtient autant de sélections couleurs qu'il y a de couleurs. Ces sélections couleurs sont envoyées à l'imprimeur qui n'a plus qu'à tirer des clichés, réaliser la photogravure et l'impression en couleurs.

N'ayant pas la maîtrise de l'échantillonnage des données, les deux méthodes de protection cartographique que nous avons utilisées ne prétendent pas reproduire fidèlement la réalité mais simplement constituer un outil de travail permettant d'interpréter une variabilité spatiale.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

A) Les cartes en courbes d'isovaleur

Ces cartes présentent le contour du département d'Ille-et-Vilaine avec en surcharge les coordonnées de la projection « Lambert zone centrale étendue ». On y observe des blancs qui correspondent à des zones où on ne dispose pas de données. Ailleurs, les variables représentées sont « structurées ».

Sur la carte de teneur en argile (Fig. 3) on observe des minima locaux :

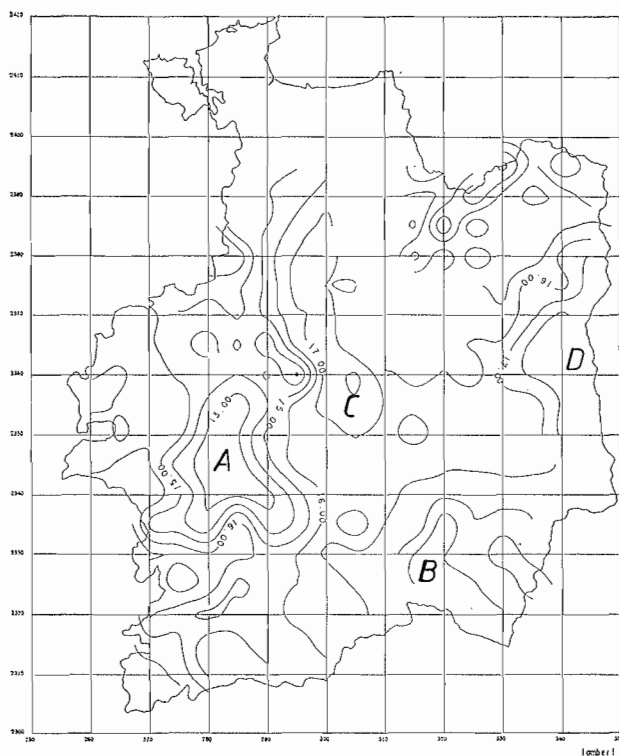
— dans l'ouest du département : région de Baulon, Goven, Saint-Thurial, Talensac, Le Verger (zone A).

On observe aussi des maxima locaux :

— dans le sud du département : région du Theil-de-Bretagne, Coesmes, Martigné-Ferchaud (zone B),

— dans le centre du département : région de Cesson, Betton, Melesse, Guipel, Dingé (zone C),

— dans l'est du département : région d'Erbrée, Balazé, Chatillon-en-Vendelais (zone D).



carte de l'ille et vilaine

0 10 km

Figure 3 : Carte en courbes d'isovaleur du taux d'argile en % d'argile.

Isopourcentage of clay content.

Association Française pour l'Etude du Sol - www.afes.fr - 2010

Cette structure repose sur l'existence d'une teneur moyenne en argile de l'ordre de 15-16 %, de minima locaux aux environs de 12 % et de maxima locaux vers 19 % d'argile.

Les cartes d'isovaleur du pH (Fig. 4) et du besoin en chaux (Fig. 5) (quantité de chaux mesurée au laboratoire, nécessaire pour atteindre un pH souhaité) font apparaître la structure de ces deux variables, avec des minima locaux de pH autour de 5,5 et des maxima locaux de 7 et 7,25.

Les besoins en chaux se répartissent dans l'espace entre 1200-1400 kg/ha et 2400 kg/ha. La comparaison entre cette carte et la carte de pH montre qu'il n'y a qu'une relation approximative entre les minima et les maxima locaux de ces deux variables. Nous avons là un argument spatial comme quoi il serait utile de substituer dans les méthodes d'interprétation manuelle ou automatique des analyses, l'estimation du besoin en chaux à partir du pH par une nouvelle méthode s'appuyant sur des données autres que le pH, comme par exemple sur le taux d'insaturation du complexe adsorbant (T-S).

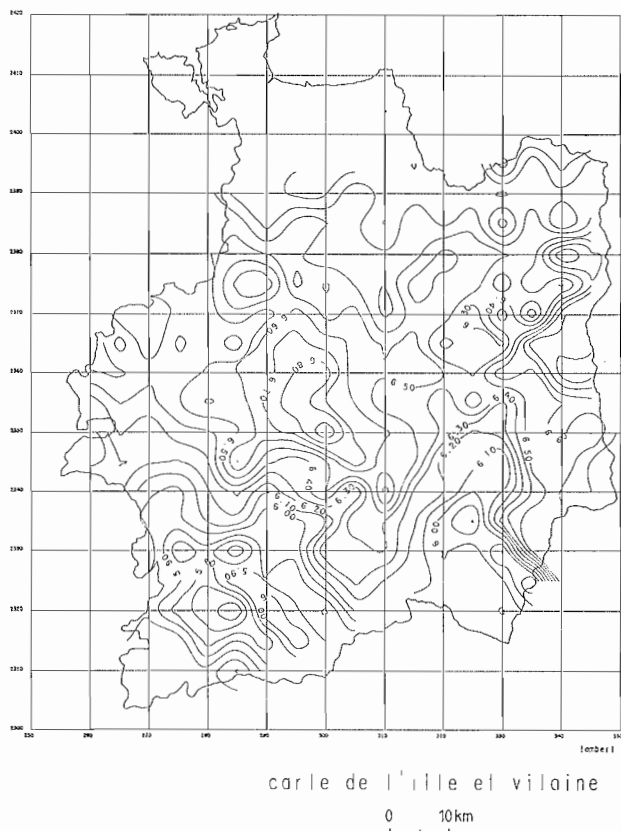


Figure 4 : Carte en courbes d'isovaleur du pH en unités pH.
Isorythm of pH in pH units.

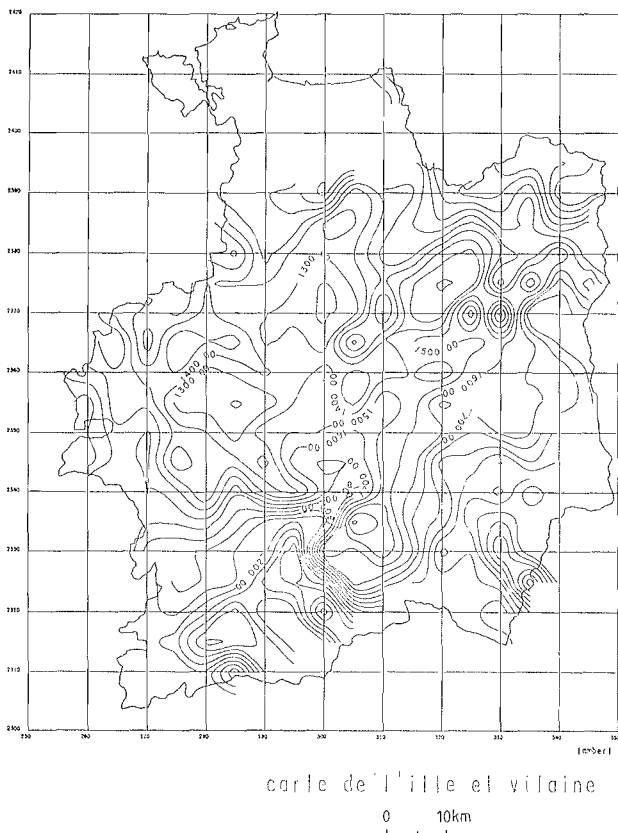


Figure 5 : Carte en courbes d'isovaleur du besoin en chaux en kg/ha.
Isorythm of chalking requirement in kg/ha.

B) Les cartes communales

Quatorze cartes communales ont été réalisées sur sept variables analytiques :

- taux de matière organique,
- P_2O_5 assimilable,
- K échangeable en meq./100 g
en % de K_2O
- Mg échangeable en meq./100 g
en % de MgO
- rapport Mg/K en meq./100 g

Pour chaque variable on dispose de la carte communale de la moyenne et de la dispersion communale et d'une carte du nombre de déterminations par commune.

Nous ne présenterons ici que trois cartes : celle du taux de matière organique, celle du P_2O_5 assimilable et celle du K échangeable.

1. Carte de la matière organique

La carte communale du taux moyen de matière organique (carte hors texte) met en évidence un gradient croissant du taux de matière organique du nord-est de la Bretagne à l'ouest-sud-ouest. Les minima moyens communaux sont inférieurs

à 2 %, les maxima supérieurs à 6,5 %. Les agronomes et pédologues avaient partiellement reconnu cette structure : le centre Finistère et le centre Morbihan sont réputés pour leurs taux élevés de matière organique, le nord de l'Ille-et-Vilaine est, de son côté, réputé pour ses taux de matière organique égaux ou inférieurs à 2 %, comme dans le Bassin Parisien. Ces observations ont en particulier conduit les pédologues à définir des unités de sols riches en matière organique comme par exemple les sols bruns humiques (J.M. RIVIERE, communication personnelle). Ce type d'unité de sol est largement représenté sur la carte au 1/100 000° d'Auray (levés terminés par J.M. RIVIERE en 1981), sur les cartes au 1/50 000° de Concarneau et Rosporden (LE CALVEZ et al., 1983 et 1984).

D'une façon générale, en Bretagne, les zones de transition ont été le plus souvent mal diagnostiquées. En effet, des sols présentant des taux de matière organique de l'ordre de 3 % demandent une observation très détaillée pour être distingués de ceux qui n'ont que 2 % de matière organique. En général, les zones de transition avec des taux de matière organique entre 2 et 3,5 % ont donc été mal reconnues ou d'une façon hétérogène selon les auteurs.

La carte communale du taux de matière organique montre une transition progressive du centre Morbihan au nord de l'Ille-et-Vilaine. On passe donc de plus de 6,5 % à moins de 2 % de matière organique en 110 km. Dans le nord Finistère, la transition est beaucoup plus rapide : on passe de plus de 6,5 % à moins de 2 % sur environ 30 km.

Cette répartition de la matière organique est le plus souvent attribuée à la « dynamique atlantique » de la matière organique. Cette dynamique spécifique est liée à des climats océaniques très tempérés et à humidité atmosphérique forte et permanente. C'est à cette dynamique atlantique de la matière organique qu'est attribuée la genèse des rankers atlantiques décrits sur toute la façade atlantique de l'Europe, du nord à la Galice (DUCHAUFOR, 1976, CARBALLAS et al., 1978, JACQUIN et al., 1978).

Une autre explication de la répartition de la matière organique peut être avancée, elle est liée à la répartition des limons sur la Bretagne. Les limons ont une épaisseur qui décroît du nord-est au sud-ouest de la Bretagne et le grain moyen varie dans le même sens de 40 μ dans le nord de la Bretagne (MONNIER, 1973) à 30 μ en centre Bretagne (PLIHON, 1974) et à 20 μ en sud Bretagne (LE CALVEZ, 1979).

2. Phosphore et potassium

La carte communale du taux moyen en phosphore (carte hors texte) est aussi une carte structurée. On y distingue les zones à forte concentration d'élevage hors-sol (exemple du canton de Locminé avec des teneurs moyennes supérieures à 500 mg/kg) et des zones à faibles densités d'élevage hors-sol (Est du département d'Ille-et-Vilaine). L'image offerte par le Finistère est à interpréter avec précaution. Le faible nombre d'analyses exploitées pour ce département est responsable de la grande variabilité d'une commune à l'autre. Il est certain que la notion de moyenne communale perd sa signification quand cette moyenne est calculée sur un nombre deux à quatre fois plus faible de résultats que dans les autres départements.

L'observation de cette carte de phosphore peut aussi surprendre dans le département des Côtes-du-Nord. Le canton qui présente la plus forte concentration d'élevages hors-sol de Bretagne (canton d'Hénanbihen) et qui est l'objet d'épandages dont la valeur moyenne est très importante (plusieurs centaines de m³ de lisier de porcs par hectare et par an), n'apparaît pas avec des teneurs élevées en phosphore. Cette anomalie vient du fait que les échantillons proviennent d'exploitations principalement tournées vers la polyculture-élevage sans élevage hors-sol ; les éleveurs n'étant pas des habitués de l'analyse de terre. Il est intéressant de signaler que sur le lot de 65 800 déterminations de P₂O₅ traitées, de très nombreux échantillons présentent une teneur supérieure à 1 000 mg/kg et que le maximum enregistré est à 5 000 mg/kg.

La carte communale de teneur en potassium (carte hors texte) est très comparable à celle de phosphore. La corrélation entre ces deux variables est liée à l'existence ou non des élevages hors-sol. Sur la carte de potassium, le canton de Locminé se signale là aussi avec des teneurs supérieures à 0,6 meq/100 g ou 300 mg de K₂O par kg de sol.

CONCLUSIONS

Ce travail qui s'est inscrit dans le cadre du plan de Relance Agronomique de la Région Bretagne a montré, s'il était nécessaire, la faisabilité de synthèses cartographiques sur la base d'un très grand nombre de données analytiques. Cette étude a aussi montré l'insuffisance des informations stockées par les Laboratoires d'analyse de terre. On peut insister, en particulier, sur la quasi absence de références géographiques précises des échantillons, l'absence d'information agronomique sur le passé culturel des parcelles. Notre retard est considérable par rapport aux bases de données existant en Belgique, en Irlande, en Angleterre (NORR, 1985). Certaines de ces bases de données étrangères remontent à 1954. Citons l'exemple de la base de données irlandaises (Soil analyses data) qui est enrichie chaque année de 100 000 résultats analytiques précisément positionnés dans l'espace géographique.

Ce type de synthèse cartographique que nous présentons ici, est le plus souvent utilisé à l'étranger dans une optique de référentiel agro-pédologique, c'est dans cette optique que cet essai méthodologique a été réalisé en Bretagne. En effet, un certain nombre d'outils de conseil aux agriculteurs, comme les programmes d'interprétation d'analyses de terre, nécessitent la connaissance de la variabilité spatiale de paramètres agro-pédologiques qu'on ne peut trouver que dans des référentiels régionaux.

L'autre motivation de telles bases de données est la collection des informations cartographiques et analytiques. Il est, en effet, important pour la collectivité que ces informations ne soient pas perdues pour une utilisation ultérieure.

Reçu pour publication : Août 1987

Accepté pour publication : Janvier 1988

REGIONAL SOIL ANALYSIS MAPPING USING A COMPUTERIZED DATABASE

More than 340,000 soil analysis results have been compiled from 71,000 sampling sites throughout Brittany, using soil survey laboratory data. These results have been brought together to enable a cartographic treatment of the database. Two different styles of presentation are chosen according to the type of data : wherever possible, iso-composition contour maps have been drawn up, but sometimes the data can only be presented as small-scale district sketch maps. This study shows the feasibility of cartographic presentation for a large database and also demonstrates the possibility of handling soil analysis using a relational system which includes parameters of interest in the soil science and agronomic fields. The present database yields maps on a scale not usually seen in soil survey work and provides an image of the distribution of certain parameters such as organic matter content, available phosphorus, exchangeable potassium, chalking requirement and clay content.

BIBLIOGRAPHIE

- AUROSSEAU P., 1987. — Analyses de terre et banques de données régionales. L'exemple du référentiel agro-pédologique de l'Ille-et-Vilaine, 16 p. Les premières Journées de l'Analyse de terre. Publication GEMAS.
- CARBALLAS M., CARBALLAS T., JACQUIN F., 1978. — Biodégradation et humification de la matière organique des sols humifères atlantiques. An. Edafol. Agriobiol. 37, 205-212.
- JACQUIN F., CARBALLAS M., CARBALLAS T., 1978. — Interaction entre les ions aluminium et la minéralisation de la matière organique dans les sols humifères atlantiques. C.R. Acad. Sc. Paris, 286, 511-514.
- DELHOMME J.P., 1978. — Kriging in hydrosciences. Adv. Water Resour., 1 (5) 251-266.
- DELHOMME J.P., 1979. — Spatial variability and uncertainties in ground water flow parameters : a geostatistical approach. Water Resour. Res., 15 (2) : 269-280.
- DUCHAUFOR P., 1979. — Atlas écologique des sols du Monde. Masson.
- GASCUEL-ODOUX C., 1984. — Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse de doc. ing., ENSMP, Fontainebleau, 235 p.
- LE CALVEZ L., 1979. — Genèse des formations limoneuses de Bretagne centrale : essai de modélisation. Thèse univ. de Rennes.
- LE CALVEZ L. et LE CALVEZ Y., 1983. — Notice de la carte des sols de la feuille au 1/50 000^e de Concarneau. Publication APR Rennes.
- LE CALVEZ L., LE CALVEZ Y. et MARHIC Y., 1984. — Notice de la carte des sols de la feuille au 1/50 000^e de Rosporden. Publication APR Rennes.
- LELEUX A., 1984. — Mise au point de deux chaînes de dessin automatique de cartes pédologiques et de carte thématiques (application à deux exemples). Mem. de DEA ENSAR, 67 p.
- MALLET J.L., 1976. — Programmes de cartographie automatique : présentation de la bibliothèque Cartolab. Sciences de la Terre, série « informatique géologique », n° 7, 184 p., Nancy.
- MATHERON G., 1965. — Les variables régionalisées et leurs estimation. Une application de la théorie des fonctions aléatoires aux sciences de la nature. Ed. Masson, 305 p.
- MONNIER J.L., 1973. — Contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la région de Saint-Brieuc. Thèse 3^e cycle, Rennes, 259 p.
- NORR A.H., 1985. — Computurized land evaluation data bases in the European Communities. Ministry of Agriculture, Veggle, Denmark.
- PLIHON G., 1974. — Les formations meubles sur les granites de Bonnemain et de Quintin (Massif Armoricaïn). Arènes (arènes remaniées et limons. Thèse 3^e cycle, Rennes, 138 p.
- REMY J.C. et MARIN-LAFLECHE A., 1974. — L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. Ann. Agron., 1974, 25 (4), 607-632.
- WEBSTER R. et BURGESS T.M., 1983. — Spatial variation in soil and the role of kriging. Agric. water Management, 6 : 111-122.

our l'Etude du