

La prise en compte de la variabilité de sols lors de l'implantation des parcelles expérimentales

Taking into account soil variability in laying out
experimental plots

CHRISTIAN VALENTIN*

Résumé

Lors de l'implantation d'essais agronomiques, et au cours du traitement des données, il est généralement admis que le sol à l'intérieur des parcelles est homogène. En fait, il est bien rare de trouver ce type de terrain idéal dans la mesure où les sols tropicaux présentent le plus souvent une forte variabilité latérale. De ce fait, on tend à augmenter le poids de l'erreur résiduelle et à diminuer les chances de comparer correctement les différents traitements. De nouvelles méthodes ont été mises au point pour tenir compte de l'hétérogénéité des parcelles expérimentales. Elles consistent à dresser des cartes détaillées des différenciations pédologiques, ou de différents paramètres du sol à l'aide des techniques de krigeages. Il est alors possible d'utiliser tous les facteurs comme autant de covariables - à condition, bien sûr, que l'échelle de collecte des données agronomiques soit la même. Force est de constater en définitive qu'il est toujours nécessaire de trouver un

Abstract

The design and analysis of agricultural field experiments are classically based on the assumption that the soil within a plot is uniform, but homogeneous tracts of land occur rarely in the tropics, since most soils exhibit a high degree of lateral variability. As a result, the residual error is often high and the chances of obtaining satisfactory treatment comparisons are low. New methods of taking into account soil variability within experimental plots have been devised. They consist of mapping at a detailed scale either morphological soil differentiations, or, using kriging, various individual soil parameters. All these can then be used as covariables, provided that the agricultural data have been collected on the same scale. It must be recognized that a compromise has to be made between the objective of obtaining the most accurate and relevant data and the practical experimental constraints.

* ORSTOM, B.P. V-51, Abidjan, Côte d'Ivoire.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 27125

Cote : B

E+1

99

P29

compromis entre l'objectif d'obtenir les données les plus précises et les plus pertinentes et les contraintes expérimentales réelles.

Introduction

Au risque d'adopter un point de vue trop manichéen, deux attitudes relatives à l'hétérogénéité du sol peuvent être distinguées :

- La première correspond peu ou prou à celle des agronomes. Désireux de comparer les effets de plusieurs traitements, ils doivent se placer dans les conditions les plus uniformes possibles. Comme le souligne Van Wambeke (1988), la plupart des centres internationaux de recherche agronomique ont été implantés, à cet effet, sur des terrains homogènes, quitte à s'éloigner des conditions réelles du paysan.
- La seconde attitude devrait être celle du pédologue. La variabilité du sol ne constitue-t-elle pas son objet principal de recherche? Elle consiste à étudier l'effet de cette hétérogénéité sur les différentes composantes du rendement. Loin de fuir la complexité pédologique telle qu'elle se présente au paysan, il est nécessaire, et ceci constitue l'une des plus fortes originalités de l'IBSRAM, de prendre en compte la variabilité des sols lors de l'implantation d'essais agronomiques et lors du dépouillement de leurs résultats.

Ces deux démarches sont brièvement présentées en soulignant pour chacune la perception correspondante du sol, le choix d'implantation des parcelles qui en découle, le type d'information escomptée, ainsi que les principales critiques qu'elle suscite.

Introduction

At the risk of taking a point of view which may appear too Manichaeian, two different positions with regard to soil heterogeneity can be distinguished:

- The first is more or less the same as that of agronomists. Wishing to compare the effects of different treatments, they need to carry out their experiments under conditions which are as uniform as possible. As Van Wambeke (1988) has emphasized, this requirement explains why most international agronomic research centres have been established on homogeneous soils, even though by doing so they may distance themselves from the actual conditions the farmer has to cope with.
- The second point of view is that of the soil scientist. Is not soil variability the main focus of his research? His objective is to study the effect of soil heterogeneity on the various constituents of the yield. Far from avoiding the pedological complexity which confronts the farmer, soil variability - and this constitutes one of IBSRAM's most original features - has to be taken into account when setting up agronomic experiments and when analyzing the results.

This paper gives a brief account of these two different positions, emphasizing their respective attitudes with regard to the soil, the consequent choice of experimental plot layout, the type of information required, and the main criticisms which each provoke.

L'approche classique

La perception du sol

Quelle qu'en soit l'échelle, la carte des sols correspond à la juxtaposition d'unités définies par :

- des limites considérées comme verticales et abruptes,
- un contenu repéré par un sol orthotype dont la variabilité indiquée dans la notice cartographique se traduit en termes d'intervalles de variation, beaucoup plus rarement en termes d'organisations structurées (gradients selon la pente).

Mise en place des essais agronomiques

Les principes d'installation des parcelles d'essais en vue du traitement statistique des résultats ont été édictés, il y a une cinquantaine d'années, sur la station de Rothamsted en Grande-Bretagne par Fisher et Yates. Ils consistent à :

- répéter plusieurs fois chaque traitement,
- disposer chaque parcelle au hasard à l'intérieur de blocs,
- réduire les sources d'erreur en s'assurant de l'homogénéité du sol et du terrain à l'intérieur d'un même bloc.

Traitement des données

A ce type d'essai en blocs correspond l'analyse de variance qui permet de distinguer :

- la variation due aux traitements testés,
- la variation imputable aux différences entre les blocs,
- la variation résiduelle, inexpliquée, qui peut résulter d'erreurs de mesures ou, et c'est ce qui nous intéresse ici, d'éventuelles variations non prises en compte à l'intérieur des blocs réputés homogènes.

The conventional approach

The perception of the soil

Whatever its scale, a soil map represents a collection of juxtaposed units which are distinguished by:

- limits, which are considered vertical and abrupt;
- a content, defined by reference to a soil orthotype whose variability as indicated in the map key is defined in terms of ranges of variation, and much more rarely in terms of structural changes in space (gradients related to slope, etc.).

Setting up agronomic experiments

The principles governing the establishment of experimental plots in order to make a statistical analysis of the results were laid down fifty years ago at Rothamsted Experiment Station in Great Britain by Fisher and Yates. These principles are:

- repeat each treatment several times,
- arrange plots randomly inside blocks, and
- minimize sources of error by making sure that soil and terrain in each block are homogeneous.

Analysis of the data

Corresponding to this type of block experiment is the analysis of variance, which enables us to distinguish:

- the variation resulting from the treatments tested,
- the variation attributed to differences between the blocks,
- residual, unexplained variation, which could be due to errors of measurement or - of particular interest in the present context - to possible variations

not taken into account within supposedly homogeneous blocks.

Critiques

Incontestablement, la démarche classique a fourni des bases solides à l'expérimentation agronomique. Comme toute méthode, elle peut être améliorée. A cet effet, il convient d'en souligner les limites :

- a) L'étude cartographique qui précède la sélection d'un site expérimental se fonde, le plus souvent, sur les caractères invariants du sol. Elle ne glisse ainsi les caractères des horizons superficiels qui, pourtant, s'avèrent souvent limitants lors de la gestion des sols. Tel est le cas notamment de certaines caractéristiques physiques comme la sensibilité au tassement ou à la formation de croûtes superficielles.
- b) Si l'homogénéité de certains sols (Entisols, Inceptisols) peut être parfois vérifiée, elle est loin d'être assurée pour la plupart des sols tropicaux. Appartenant, en effet, à des couvertures pédologiques anciennes, ils présentent des différenciations non seulement verticales mais aussi latérales (Bocquier, 1971; Boulet, 1974; Chauvel, 1977).
- c) Les transformations pédologiques s'expriment, même sur de faibles pentes, sous forme de gradients. De ce fait, rares sont les limites abruptes entre les sols : la plus grande partie de la couverture pédologique est constituée de sols intergrades qui reflètent les divers stades d'évolution.
- d) Ignorer la variabilité à l'intérieur des blocs équivaut à augmenter l'erreur expérimentale, au risque de masquer l'effet des traitements. A titre d'exemple, un essai implanté dans le sud de la Côte d'Ivoire sur un site considéré comme homogène ne faisait apparaître aucune différence entre

Critical assessment

The conventional approach undoubtedly provided a solid basis for agronomic experiments, but like any other method, it can be improved. To do this, one should emphasize some of its limitations:

- a) The mapping which precedes the selection of an experimental site is generally based on the more permanent soil properties. As a result, the characteristics of the surface horizons are neglected even though frequently limiting in soil management. This is notably the case with respect to certain physical characteristics, such as the tendency for the soil to compact or to form surface crusts.
- b) Although certain soils (Entisols, Inceptisols, etc.) are sometimes homogeneous, this is far from being the case for most tropical soils. Derived mainly from ancient pedological material, they show not only vertical but also horizontal differentiation.
- c) Soil modifications which occur even on moderate slopes are influenced by the slight gradients involved. This means that it is extremely rare to find abrupt changes between soils: most areas are composed of intergrade soils reflecting various stages of evolution.
- d) If no account is taken of within-block variability, the chances of experimental error will increase, with the risk of obscuring the effect of treatments. An allegedly homogeneous experimental site in the south of Côte d'Ivoire, for example,

diverses techniques de préparation du sol sur la production du manioc. Ce n'est qu'après avoir pris en compte les variations des taux d'argile à l'intérieur des blocs que l'effet bénéfique du labour a pu être révélé (Bonzon et Boissezon, 1986).

- e) Au mieux, la variabilité du sol à l'intérieur des blocs est appréciée par la statistique de dispersion (moyenne, écart-type). Toutefois, celle-ci ne fournit aucune indication sur la distribution spatiale de la variabilité étudiée, considérée comme aléatoire. Ce faisant, on se prive d'informations concernant la relation entre la variabilité des sols et la production agricole.

Les approches plus récentes

La couverture pédologique

Trois grands principes sous-tendent la méthode cartographique récemment développée à l'ORSTOM (Boulet *et al.*, 1982) :

- a) Le sol correspond à un continuum dans les trois dimensions, constituées de volumes qui subissent des variations verticales et latérales (et dans le temps).
- b) Chaque paramètre de terrain (couleur, texture, structure, consistance) est étudié séparément. L'apparition, la disparition ou la variation d'un caractère (par exemple, le passage de la couleur 10YR à 7,5YR) sont repérées cartographiquement par la projection plane de ces limites tridimensionnelles : il s'agit de courbes d'isodifférenciation.
- c) Cette étude de la distribution spatiale des sols ne se réfère pas à

gave results which seemed to indicate that manioc yields were not affected by different soil preparation techniques. It was only when the clay content inside the blocks was taken into account that the beneficial effects of ploughing became apparent (Bonzon and Boissezon, 1986).

- e) At best, soil variability inside the blocks is appreciated by dispersion statistics (moderate, separating-type, etc.). However, these statistics do not indicate the spatial distribution of the variability studied, which is considered haphazard. By ignoring spatial distribution, we deprive ourselves of information which has a bearing on the relationship between soil variability and agricultural production.

More recent approaches

Soil cover

Three major principles underlie the cartographic method recently developed by ORSTOM (Boulet *et al.*, 1982):

- a) Soil should be seen as a three-dimensional continuum, made up of constituents which undergo both vertical and lateral modifications (and variations over time).
- b) Each soil parameter (colour, texture, structure, and consistency) is studied separately. The appearance, disappearance, or modification of a characteristic (as, for example, a colour change from 10YR to 7.5YR) should be noted cartographically by a flat projection of these three-dimensional limits: this implies the use of isodifferentiation curves.
- c) The study of soil spatial distribution is not *a priori* related to a taxonomic system.

priori à un système taxonomique.

A titre d'exemple, lors de l'étude d'un transect sur la station expérimentale de Misamfu (Zambie), Fritsch et Valentin (1988) ont pris en compte, pour l'étude du sol, la variation de la texture et de la couleur. Cette étude pédologique a révélé que les sols les plus limoneux de la partie centrale du transect s'étaient développés sur des schistes, maintenant presque complètement altérés, alors qu'ils étaient considérés comme issus de grès quartzitiques. De cet exemple (figure 1), on retiendra également qu'une place importante a été accordée aux variations, le long du transect, de la végétation, de l'utilisation du sol, des termitières et des contraintes physiques (croûtes superficielles et semelles de labour).

Implantation des parcelles expérimentales

Contrairement à l'approche précédente, les blocs sont implantés selon l'hétérogénéité la plus forte, c'est-à-dire perpendiculairement au plus grand nombre de lignes d'isodifférenciations possibles. Ainsi, dans l'exemple de Guyane (figure 2), les sols passent de gauche à droite le long des parcelles expérimentales d'un sol ferrallitique à un podzol de nappe (Boulet *et al.*, 1985). Il n'y a pas lieu de présenter ici la signification de chacune des neuf courbes d'isodifférenciation. Signalons cependant que la courbe 1 délimite vers l'amont (à gauche de la figure) le pôle le moins sableux, et vers l'aval un appauvrissement à partir de la surface qui se manifeste jusqu'à la courbe 7. Au-delà de la courbe 9, les horizons supérieurs, blancs, sont presque totalement dépourvus d'éléments fins. Toutefois la perméabilité, qui commence à diminuer fortement à partir de la courbe 8, est très réduite en saison des pluies.

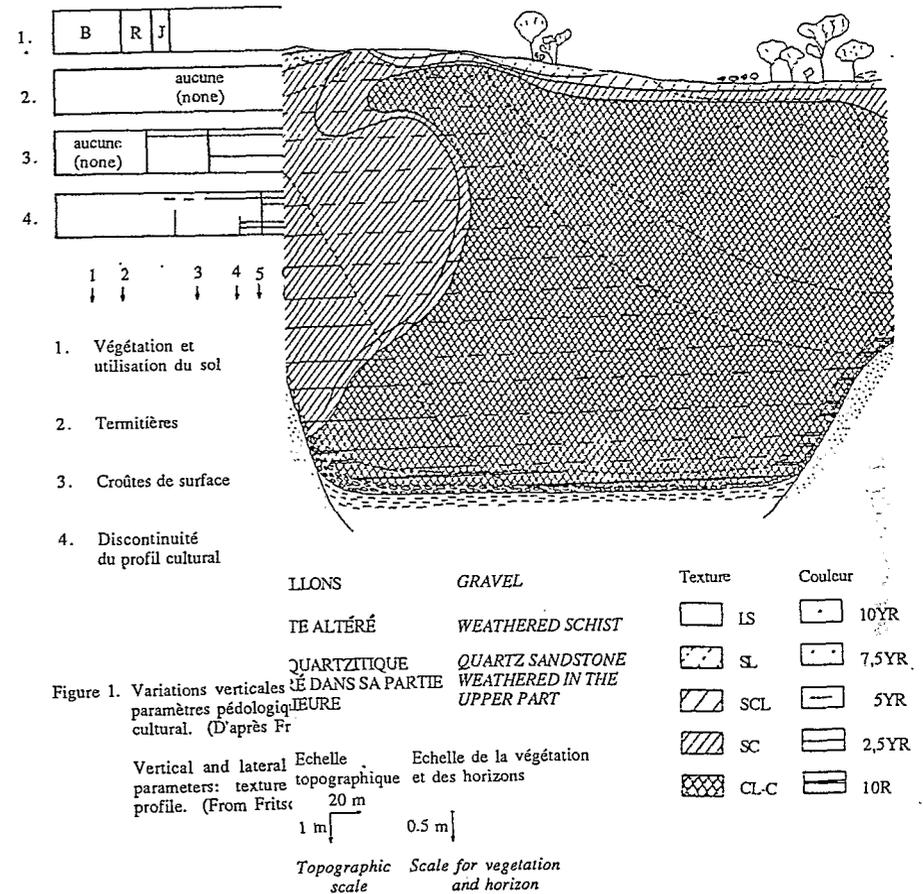
L'étude a porté sur les interactions entre trois types de préparation du sol : pulvérisateur à disques, scarificateur de

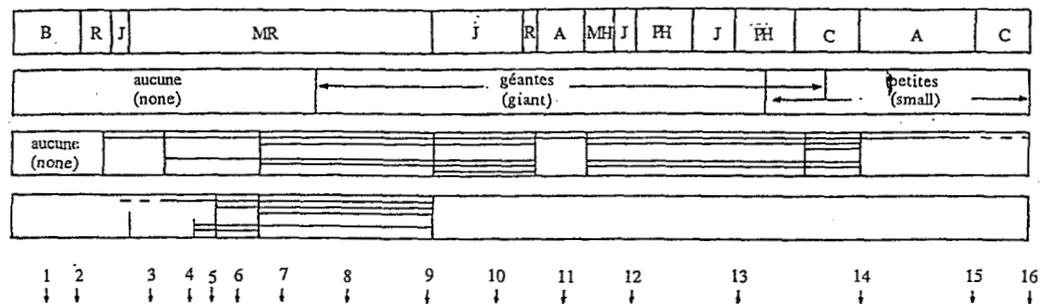
By way of example, when studying a soil transect at Misamfu Experiment Station in Zambia, Fritsch and Valentin (1988) took into account variations in soil texture and colour. This pedological study showed that the most loamy soils in the central part of the transect had developed on schists which had become almost completely weathered, whereas it had been thought that they had developed from quartzitic sandstone. It should also be noted that in this example (Figure 1) considerable importance was given to variations along the transect in vegetation, land-use, termite mounds, and physical constraints (surface crusts and plough pans).

Siting the experimental plots

Unlike the previous approach, the blocks are sited in relation to the maximum heterogeneity, which is to say they are sited at right angles to as many isodifferentiation lines as possible. In the case of the example in Guiana (Figure 2), the soils go from left to right along the length of the experimental plots from a ferralitic soil at one end to a groundwater podzol at the other (Boulet *et al.*, 1985). This is not the place to explain the significance of each of the nine isodifferentiation curves. It should be noted, however, that curve 1 near the summit (at the left of the figure) marks the least sandy pole, and near the lower end marks an impoverishment from the surface which continues until curve 7. Beyond curve 9, the upper, white horizons are almost totally deficient in fines. Permeability, however, which starts to diminish markedly from curve 8, is very much reduced in the rainy season.

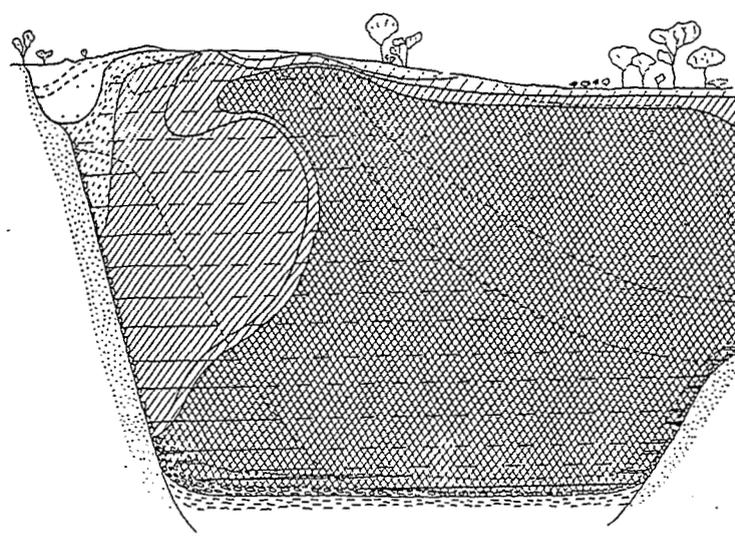
The study was concerned with the interactions between three types of soil





- | | | | |
|-------------------------------------|---|--|--|
| 1. Végétation et utilisation du sol | <i>Vegetation and land use</i> | A : végétation ligneuse haute
B : végétation ligneuse basse
C : végétation coupée à blanc
H : travaillé à la houe
MR : champ de maïs labouré et billonné | J : jachère
M : maïs
P : pois
R : route |
| 2. Termitières | <i>Termite mounds</i> | | |
| 3. Croûtes de surface | <i>Surface scaling</i> | A : tall, woody vegetation
B : short, woody vegetation
C : totally cleared of vegetation
H : hoe cultivation
MR : ploughed and ridged maize plot | J : fallow
M : maize
P : peas
R : road |
| 4. Discontinuité du profil cultural | <i>discontinuity of the cultivation profile</i> | | |

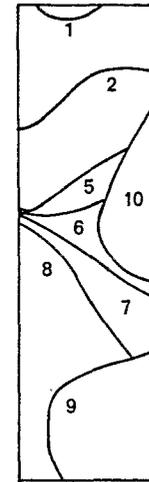
- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| — Croûte structurale | <i>Structural crust</i> |
| — Croûte de ruissellement | <i>Depositional crust</i> |
| — Lissage | <i>Plough crust</i> |
| — Semelle de labour | <i>Plough pan</i> |
-
- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| — Magnitude de la contrainte | <i>Degree of constraint</i> |
| --- très faible | <i>weak</i> |
| — faible | <i>slight</i> |
| — modéré | <i>moderate</i> |
| — fort | <i>severe</i> |



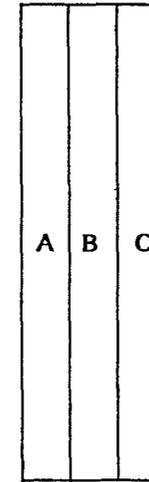
- | | | | | |
|--|--|--|---------|---------|
| | GRAVILLONS | GRAVEL | Texture | Couleur |
| | SCHISTE ALTÉRÉ | WEATHERED SCHIST | IS | 10YR |
| | GRÈS QUARTZITIQUE ALTÉRÉ DANS SA PARTIE SUPÉRIEURE | QUARTZ SANDSTONE WEATHERED IN THE UPPER PART | SL | 7,5YR |
| | | | SCL | 5YR |
| | | | SC | 2,5YR |
| | | | CL-C | 10R |
-
- | | |
|--------------------------|--|
| Echelle topographique | Echelle de la végétation et des horizons |
| 20 m | |
| 1 m | 0.5 m |
| <i>Topographic scale</i> | <i>Scale for vegetation and horizon</i> |

Figure 1. Variations verticales et laterales, le long d'un transect de la station agronomique de Misamfu (Zambie), de deux paramètres pédologiques : la texture et la couleur. Relations avec les états de surface et les discontinuités du profil cultural. (D'après Fritsch et Valentin, 1987.)

Vertical and lateral variations, along a transect of the agronomic station at Misamfu (Zambia), of two soil parameters: texture and colour. Relationships with the surface states and the discontinuities of the cultivation profile. (From Fritsch and Valentin, 1987.)



Lignes d'isodifférenciation
Isodifferentiation lines



Dispositif expérimental
Experimental layout

A : pulvérisateur à disques
B : scarificateur à dents de 65 cm
C : charrue à disques

A : disc pulveriser
B : scarifier with 65 cm teeth
C : disc plough

Figure 2. Exemple d'implantation de parcelles expérimentales selon l'hétérogénéité pédologique la plus marquée. (D'après Boulet *et al.*, 1984.)

Example of the siting of experimental plots in accordance with the most pronounced heterogeneity. (From Boulet *et al.*, 1984.)

65 cm et charrue à disques, les différenciations pédologiques et les différentes composantes du rendement du maïs et leur évolution au cours des temps. Notons que les mesures agronomiques effectuées à l'échelle du m² ont permis de tracer des courbes d'isodifférenciation dont la précision est identique aux courbes d'isodifférenciation pédologique. Cette même échelle d'analyse s'avère indispensable pour l'interprétation des données.

Les résultats ont été reportés sur la figure 3. Trois leçons en découlent :

- a) Certaines courbes d'isodifférenciation pédologique semblent reliées aux classes de production, d'autres non. A cet égard, on remarquera que ce sont les deux premières et les deux dernières courbes, c'est-à-dire celles qui expriment les variations les plus marquées, qui semblent les

preparation, using a disc pulverizer, a 65 cm scarifier, and a disc plough, with soil differences and with the different maize yield components and their changes in time. It should be mentioned that the agronomical measurements taken at m² level made it possible to determine isodifferentiation curves with exactly the same single precision as soil isodifferentiation curves. The use of a single scale in making the analysis proved indispensable in interpreting the data.

Results are reported in Figure 3. There are three lessons to be noted from this experiment:

- a) Whereas certain soil isodifferentiation curves seem to be associated with production classes, others are not. In this connection, it should be noted that the first two

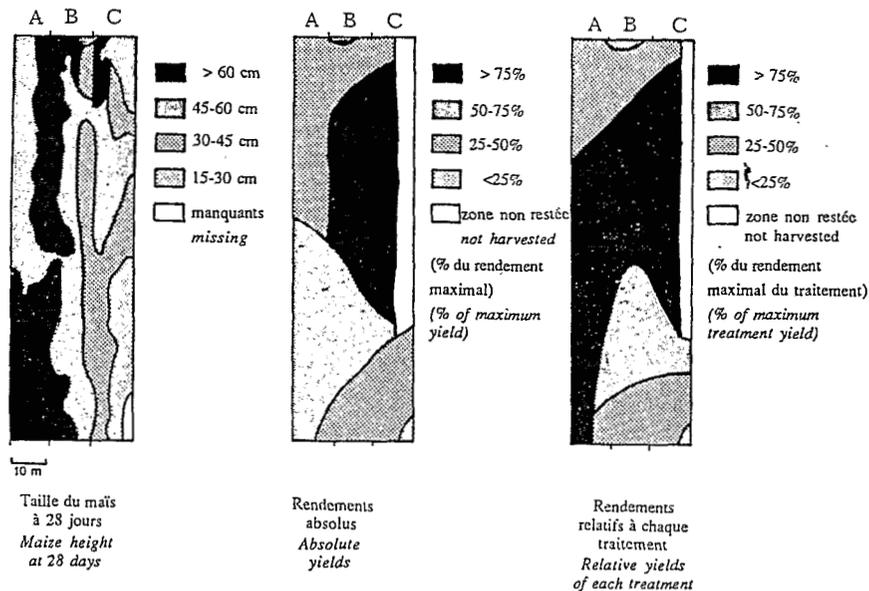


Figure 3. Evolution du comportement du maïs à différents stades. Influence des traitements et des différenciations pédologiques (cf. figure 3). (D'après Boulet *et al.*, 1984.)

Evolution of maize behaviour at different stages. Effects of treatments and soil differences (cf. Figure 3). (From Boulet *et al.*, 1984.)

plus pertinentes comme indicateurs édaphiques.

- b) L'influence des traitements, très sensibles au début du cycle cultural, tend à s'estomper avec la croissance racinaire au profit du facteur pédologique.
- c) Une telle approche permet une analyse fine des interactions traitement-sol-pente et de leur évolution au cours du temps.

and the last two - those with the strongest variations - are those which appear to be the most relevant as edaphic indicators.

- b) The influence of the treatments is very marked at the beginning of the cultivation cycle, but diminishes in favour of pedological factors as the root system develops.
- c) This approach makes it possible to analyze in detail treatment-soil-slope interactions, and their development with time.

Covariables et géostatistique

Comme nous l'avons déjà indiqué, l'absence d'information sur la variabilité des blocs expérimentaux tend à augmenter l'erreur résiduelle. Afin de limiter ce risque, on a généralement recours aux covariables : il s'agit d'observations réalisées sur chaque parcelle d'un même bloc avant les essais. Elles concernent généralement des paramètres physiques (texture, profondeur), chimiques (teneurs en N, P, K), mais aussi des données sur la production. Ainsi est-il souvent utile de disposer comme covariable des résultats du test d'homogénéité : les mêmes conditions de culture et de traitement sont appliquées à l'ensemble des parcelles afin d'en déceler la variabilité. L'analyse de la covariance permet de réduire l'erreur résiduelle et d'améliorer ainsi la précision de la comparaison entre les traitements. Dans l'exemple que nous donnons précédemment d'un essai mené en Côte d'Ivoire, c'est la covariable "taux d'argile" qui a permis la mise en évidence de l'effet "travail du sol". Notons que l'utilisation de covariables accroît le niveau d'hétérogénéité pris en compte : cette fois-ci, ce n'est plus le bloc qui est considéré comme homogène, mais la parcelle.

Grâce à une autre approche, il est possible d'affiner encore l'analyse de la variabilité. Il s'agit de la géostatistique. Point n'est besoin de s'étendre sur la présentation de cette méthode très clairement exposée par Trangmar, Yost et Uehara (1985). Rappelons qu'elle s'appuie sur la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965), développée à l'origine pour la prospection minière, en vue de résoudre le problème d'interpolation des teneurs en minéral entre deux sondages. Elle discerne deux types de variabilités : l'une aléatoire, l'autre dépendante de la position du point considéré. En d'autres termes, pour une distance donnée ("la portée"), il est possible d'estimer à partir d'un point la valeur d'un paramètre. L'analyse des variogrammes fournit les différentes

Covariables and geostatistics

As has already been pointed out, the lack of information on experimental block variability increases the residual error. In order to minimize this risk, use is often made of covariables, which involves making observations on each plot in a block before carrying out the experiments. These observations are generally concerned with physical parameters (texture, depth, etc.), and chemical parameters (levels of N, P, K, etc.), but also with production data. Thus it is often useful to have homogeneity test results available as a covariable: the same cultivation treatments are applied to all the plots so as to reflect their variability. An analysis of covariance helps to reduce residual error and hence to improve the precision of the treatment comparisons. In the Côte d'Ivoire experiment given as an example earlier, it was the clay content covariable which made it possible to show the effect of cultivation. It should be noted that the use of covariables increases the amount of heterogeneity which can be taken into account. By using covariables, it is not the block which is thought of as being homogeneous, but the plot.

Thanks to another approach, the analysis of variability can be even more refined. This approach involves the use of geostatistics. It is not necessary to present this method in detail, since it has already been very clearly outlined by Trangmar, Yost and Uehara (1985). It is based on the theory of regionalized variables (Matheron, 1965), first developed for prospecting in the mining industry to solve the problem of the interpolation of mineral contents between two borings. The method allows two types of variability to be discerned - one random and the other dependent

caractérisés (figure 4) : la portée, l'effet de pépite (= la variabilité qui reste aléatoire à l'échelle d'étude considérée, plus les erreurs expérimentales), le palier, le type de modèle. Le krigeage permet ensuite, à partir des données expérimentales et du variogramme, de dresser automatiquement des lignes d'isodifférenciation. Le type de modèle apparu sur le variogramme donne des indications précieuses sur le type de variabilité du paramètre considéré. C'est lui qui permet une interprétation pédologique de ces données statistiques pour peu, bien sûr, que l'organisation de la couverture pédologique ait été étudiée au préalable. Ainsi, l'étude des variogrammes calculés selon quatre directions permet la mise en évidence d'une éventuelle anisotropie. Dans le modèle linéaire, elle traduit une évolution régulière selon une direction qui peut être reliée, le cas échéant, à un gradient pédologique. Pour le modèle sphérique, il s'agit plutôt d'une transition, puisque la variabilité atteint un palier après une certaine distance (la portée).

Présentons un exemple : Iris (1986) a sélectionné deux hectares d'un petit bassin versant de savane en Côte d'Ivoire, sur lesquels il a réalisé des mesures de densité apparente de l'horizon (A)B tous les 10 m. Pour le premier hectare situé en amont du bassin, il obtient des variogrammes correspondant à un modèle sphérique avec un effet de pépite de 39% de la variance spatiale maximale et une portée de 56 m. Il en conclut qu'il s'agit d'un domaine où les transitions sont fortes sur des courtes distances. Cette variabilité semble liée à l'existence de clairières ouvertes dans la forêt claire. Pour le second hectare situé à l'aval du précédent, l'analyse des variogrammes orientés montre que l'essentiel des variations de la densité apparente se concentre le long d'un axe nord-sud. Elle s'exprime sous la forme d'un modèle linéaire que l'auteur attribue aux processus de transformation pédologique le long de cet axe (diminution progressive des teneurs en fer et en argile).

on the position of the point being considered. In other words, for a given distance ("the range"), it is possible to estimate the value of a parameter from a given point. The analysis of variograms gives the different characteristics (Figure 4), namely the range, the effect of the nugget (= the variability, which remains random at the scale of the study, plus experimental errors), the gradation, and the type of model. Using the experimental data and the variogramme, kriging then makes it possible to draw the isodifferentiation lines automatically. The type of model which appears on the variogramme gives valuable indications on the type of variability of the parameter in question. It is this model which enables us to make a pedological interpretation of the statistical data - as long as the organization of the soil cover has already been studied, of course. In this way, the study of variogrammes worked out in four directions makes it possible to indicate a possible anisotropy. In the linear model, the study might show a regular trend in a direction which could be connected to a soil gradient. In the case of the spherical model, it is more a matter of a transition, since after a certain distance ("the range") the variability levels off.

To give an example: Iris (1986) selected two hectares of a small savanna basin in Côte d'Ivoire in which measurements were taken of the bulk density of the (A)B horizon every 10 m. For the first hectare, in the upper part of the basin, he obtained variogrammes corresponding to a spherical model with a nugget effect of 39% of the maximum spatial variance and a range of 56 m. He concluded that the area was one with very marked transitions over short distances. This variability seems to be associated with the existence of clear-

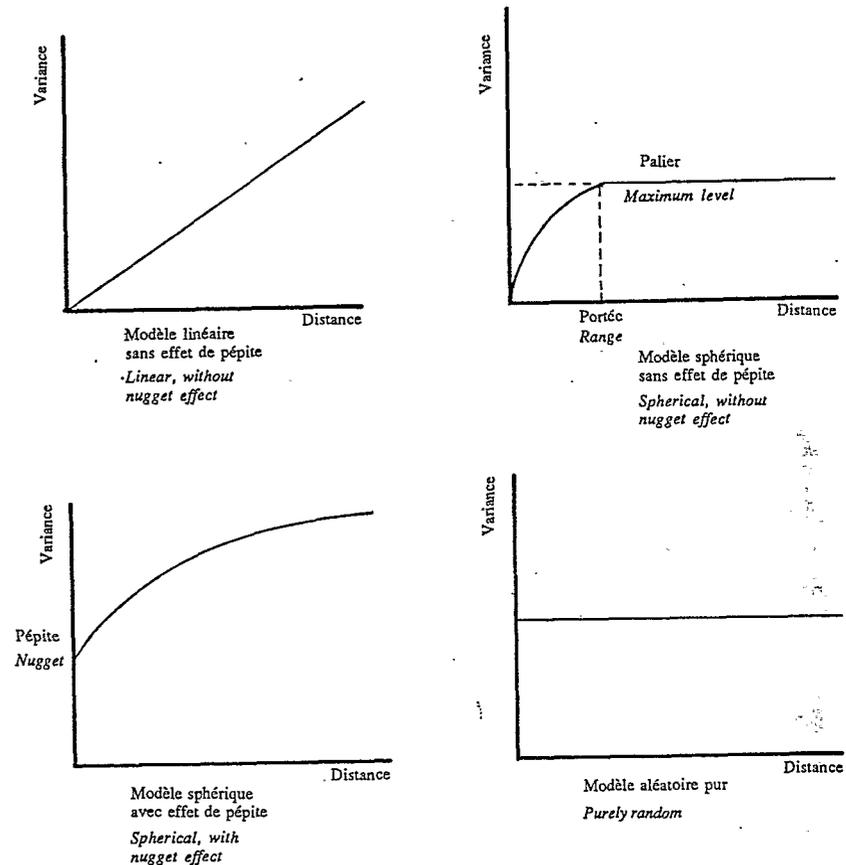


Figure 4. Exemples de variogrammes typiques. (D'après Delhomme, 1976, cité par Iris, 1986.)

Examples of typical variogrammes. (From Delhomme, 1976, in Iris, 1986.)

ings in the open forest. For the second hectare, below the first, an analysis of the orientated variograms showed that most of the variation in bulk density is concentrated along a north-south axis. The bulk density is expressed as a linear model which the author attributes to soil transformation processes along this axis (with gradually diminishing iron and clay contents).

Critiques

Il convient d'attirer l'attention sur certains écueils de ces démarches plus récentes :

- a) Nous avons signalé que toutes les courbes d'isodifférenciation pédologique ne correspondent pas systématiquement à des différences marquées dans la production. Par ailleurs, il est indéniable que le niveau d'analyse requis, tant pour la couverture pédologique que pour les différentes composantes du rendement, limite ce type d'essai à des études approfondies sur des aspects particuliers des relations eau-sol-plante.
- b) Pour utile qu'elle soit, l'analyse de la covariance ne doit pas faire perdre de vue le caractère transitoire de certaines covariables (figure 2). Selon les années, en fonction de la pluviométrie, l'influence de ces covariables peut varier. Il faut en outre rester vigilant quant à la part souvent déterminante de covariables autres que pédologiques : précédent cultural, attaque parasitaire, ...
- c) L'approche géostatistique, comme tout outil, ne doit pas pour le pédologue devenir une fin en soi. Elle offre un intérêt certain à condition de la relier à la connaissance des différenciations de la couverture pédologique.

Discussion

Attention is drawn to certain drawbacks in these recent procedures:

- a) As already mentioned, all the pedological isodifferentiation curves do not correspond systematically to differences in production. In addition, the level of analysis required, both for the soil cover and for the different components of yield, undoubtedly limits this type of experiment to fundamental investigations on particular aspects of water-soil-plant relationships.
- b) However useful an analysis of covariance may be, it should not let us lose sight of the transitory nature of certain covariables (Figure 2). Their influence might vary from one year to the next, depending on the rainfall. One should also be aware of the often determining role of nonpedological covariables - cultivation history, parasite attacks, etc.
- c) The geostatistical approach, like any other tool, should not become an end in itself for the soil scientist. It is certainly a useful approach, provided it is related to a knowledge of variations in the soil cover.

Conclusions

De cette rapide présentation, nous devons retenir principalement les points suivants :

- Contrairement à certains sols des pays tempérés, les sols tropicaux présentent fréquemment une forte variabilité latérale qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de la mise en place d'essais agronomiques.
- Afin de mettre en évidence d'éventuelles relations entre la variabilité des sols et l'hétérogénéité de la production, il convient d'effectuer les mesures agronomiques à la même échelle que les observations pédologiques.
- En tout état de cause, un compromis doit être trouvé en fonction des objectifs : mener une analyse aussi fine que possible des différents facteurs qui interviennent sur les composantes du rendement, effectuer les essais dans les conditions de milieu les plus proches de celles du paysan, et extrapoler aisément les résultats à l'échelle régionale, en fonction des différentes contraintes inhérentes à ces expérimentations : coût, durée, accessibilité.

Conclusions

The above brief presentation contains the following main points:

1. Unlike certain soils in temperate countries, tropical soils often exhibit high lateral variability, which needs to be taken into account when setting up agronomic experiments.
2. In order to show possible relationships between soil variability and heterogeneous yields, agronomic measurements need to be made at the same scale as pedological observations.
3. At all events, a compromise needs to be found in relation to objectives: we should carry out as detailed an analysis as possible of the different factors affecting yield components, undertake experiments under environmental conditions as close as possible to those experienced by the farmer, and extrapolate the results on a regional scale with regard to the various inherent constraints in this type of experiment - cost, durability, accessibility, etc.

Bibliographie

References

- BOCQUIER, G. 1971. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sciences, Strasbourg. ORSTOM, *Collection Mémoires ORSTOM*, n° 62, 1973. Paris : ORSTOM. 350p.
- BONZON, B. et BOISSEZON, P. de. 1986. Effet de l'apport de fumier sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique ivoirien. *Collection ORSTOM, série Pédologie* 22(3):329-355. Paris : ORSTOM.
- BOULET, R., HUMBEL, F.X. et LUCAS, Y. 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie, II: Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*. 19(4):323-339. Paris: ORSTOM.
- BOULET, R. 1974. Toposéquence des sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobiotique. Thèse Sciences, Strasbourg. ORSTOM, *Collection Mémoires ORSTOM*, n° 85, Paris: ORSTOM. 272p.
- BOULET, R., GODON, P., LUCAS, Y. et WOROU, S. 1985. Analyse structurale de la couverture pédologique et expérimentation agronomique en Guyane Française. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 21(1):21-32.
- CHAUVEL, A. 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans les zones tropicales à saisons contrastées. Thèse Sciences, Strasbourg. ORSTOM, *Collection Travaux et Documents*, n° 62. Paris: ORSTOM. 532p.
- FRITSCH, E. and VALENTIN, C. 1988. Characterization of a soil transect in Misamfu Research Station (Zambia). Pages 287-310 in: *AFRICALAND, Land development and management of acid soils in Africa, II*, eds. M. Latham and P. Ahn. IBSRAM Proceedings no. 7. Bangkok: IBSRAM.
- IRIS, J.M. 1986. Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité apparente dans trois matériaux ferrallitiques. *Sciences du Sol* 24(3):245-256.
- MATHERON, G. 1965. *Les variables régionalisées et leur estimation*, ed. Masson. 301p.
- TRANGMAR, B.B., YOST, R.S. and UEHARA, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38:45-94.
- VAN WAMBEKE, A. 1988. Site selection and soil variability. This publication.

Socioeconomic evaluations

KAREN DVORAK*

Abstract

Socioeconomic factors play an important role in the adoption of new technology, especially if the technology has been designed for a target group of farmers. Socioeconomists have provided guidelines for studying farmer perceptions, and have indicated some of the difficulties which can arise in collecting and evaluating socioeconomic data. The paper recommends some basic procedures for making a socioeconomic characterization, and some areas of interest which should be covered in questionnaires. Two questionnaires are given as examples in the appendixes.

Résumé

Evaluations socio-économiques

Les facteurs socio-économiques jouent un rôle important dans l'adoption de nouvelles technologies, spécialement lorsque ces technologies ont été préparées pour un groupe défini d'agriculteurs. Les socio-économistes ont fourni des directives pour l'étude de la perception des agriculteurs vis à vis de nouvelles techniques, et ont indiqué quelques-unes des difficultés qui peuvent être rencontrées au moment de la collecte et de l'évaluation des données socio-économiques. Cette présentation recommande des procédures pour la conduite d'une caractérisation socio-économique, et quelques zones d'intérêt qui devraient être couvertes dans les questionnaires. A titre d'exemple, deux questionnaires sont fournis en annexe.

* International Institute of Tropical Agriculture, Oyo Road, PMB 5320, Ibadan, Nigeria.