

Sols, états de surface et rendements du cotonnier en station expérimentale (Togo central)

Alain AUDEBERT (1), Didier BLAVET (2)

(1) Section d'Agronomie ; station IRCT Cirad, Anié-Mono, Togo.

(2) Laboratoire de science du sol ; centre Orstom, Lomé, Togo.

RÉSUMÉ

Dans une station expérimentale agronomique, le comportement des plantes cultivées peut dépendre autant des variations liées au support que des différences de techniques culturales. Sur huit parcelles agronomiques de la station de Dalanda, au Togo central, des variations édaphiques ont été comparées avec celles du rendement du cotonnier au cours de la campagne 1989.

Les variations édaphiques ont été déterminées par l'observation de coupe de sol, et par la cartographie du microrelief et des états de surface. Les hétérogénéités du rendement ont été mesurées en se basant sur un traitement agronomique homogène. La méthode employée permet de cartographier le comportement du cotonnier et de comparer les cartes obtenues avec les variations spatiales des caractéristiques du support.

Des corrélations ont été établies entre des caractéristiques du sol, les états de surface et le rendement en coton-graine.

MOTS CLÉS : Variabilité Spatiale – Sols – État de surface – *Gossypium hirsutum* L. – Rendement – Togo.

ABSTRACT

SOIL AND COTTON YIELD VARIABILITY ON AN EXPERIMENTAL STATION (CENTRAL TOGO)

The behaviour of cultivated plants on an experimental station may depend on variations in soil properties as much as on differences in tillage practices.

On the experimental station of Dalanda in Central Togo variations in soil properties and cotton yield were compared on eight plots planted with cotton.

Soil variability was assessed through the observation of soil profiles as well as the mapping of the soil microrelief and surface features. Yield variability was measured, following a homogeneous agronomic treatment on the eight plots. This methodology allowed the mapping of the behaviour of the cotton plants and the subsequent comparison of these maps with the spatial variations in soil properties.

During the 1989 growing season, correlations between soil properties and the yield of cotton seeds and fiber were found. Mechanical, chemical and water-related factors constraining plant development were suggested. The observed correlations emphasize the importance of variations in soil properties along a slope on a granitogneissic platform and the ensuing variations in cotton yield.

KEY WORDS: Spatial Variation – Soil – Surface features – *Gossypium hirsutum* L. – Yield – Togo.

INTRODUCTION

Les essais comparatifs menés en station agronomique expérimentale consistent souvent à chercher les facteurs de l'élaboration des rendements qui sont indépendants des conditions du milieu : caractéristiques génétiques de la plante cultivée, techniques culturales et intrants. En pratique, il s'agit de faire varier les traitements au sein de parcelles où l'hétérogénéité du sol est suffisamment réduite pour autoriser l'interprétation statistique des résultats.

L'interprétation de tels essais s'avère hasardeuse, voire impossible, lorsque l'hétérogénéité pédologique intra-parcellaire est d'ordre métrique ou décimétrique. En effet, dans ces conditions, le facteur sol peut masquer tout effet lié au traitement agronomique. Or, ce cas s'observe fréquemment tant en milieu tropical (BOULET *et al.*, 1985 ; BOIVIN et TOUMA, 1988) qu'en milieu tempéré (COURAULT et GIRARD, 1988 ; GASTON *et al.*, 1990 ; HABECKER *et al.*, 1990 ; KLINK *et al.*, 1990).

Dans ces conditions, il apparaît préférable d'exploiter l'hétérogénéité du sol au lieu de la considérer comme une interférence non contrôlée dans l'expérimentation : en appliquant un traitement identique sur toute la surface d'essai (même type d'intrants et même technique culturale), il est possible de comparer les variations du comportement des plantes avec celles des propriétés du sol. Des informations sur les relations sol-plante peuvent ainsi être obtenues sans préjuger du rapport de cause à effet (BOULET *et al.*, 1985 ; BRUCE *et al.*, 1990).

Cet article tente d'illustrer l'intérêt de ce type d'approche à l'aide de résultats obtenus sur la station cotonnière expérimentale de Dalanda (Togo central) au cours de la campagne de 1989 (juin-décembre). Ces premiers résultats concernent principalement les corrélations spatiales observées entre certaines caractéristiques édaphiques (sols et états de surface) et les rendements en coton-graine.

LOCALISATION ET APERÇU GÉNÉRAL DU SITE

La station cotonnière expérimentale IRCT de Dalanda est située dans la région centrale du Togo (8°38' de latitude nord ; 1°00' de longitude est). Cette région est soumise à un climat tropical de plaine, de type soudano-guinéen (AUBREVILLE, 1949). Une saison sèche de 7 mois alterne avec une saison pluvieuse (juin à octobre). Pour les douze dernières années, la pluviométrie moyenne

sur le site de Dalanda est de 1 160 mm (Section d'agronomie IRCT).

Pour le versant englobant la station, un affleurement rocheux et les isaltérites observées dans des fosses pédologiques révèlent la présence d'un gneiss à deux micas, conformément à l'étude géologique régionale (Anonyme, 1986). Il s'agit d'un faciès du socle granito-gneissique antécambrien (AICART, 1957).

Le versant comporte 5 unités de modelé (cf. fig. 1) : U1— une butte témoin à sommet cuirassé et tabulaire qui correspondrait à un haut glacis fini-tertiaire ou quaternaire (MICHEL, 1970) ; U2— un escarpement d'érosion court mais à forte pente (25 %) ; U3— un glacis d'érosion plan avec une pente moyenne de 3 % ; U4— un glacis colluvial concavo-plan à pente moyenne (1,5 %). Ce glacis est séparé de l'unité U3 par une légère rupture de pente (de 2 à 3 % sur 10 mètres) ; U5— une terrasse alluviale.

L'étude d'un transect pédologique selon l'axe interfluve-talweg (MATHE et BLAVET, 1992) permet de confirmer l'existence d'une organisation pédologique toposéquentielle fréquemment observée sur le socle granito-gneissique togolais (LÉVÊQUE, 1979 a). Cette organisation serait produite lors du façonnement des versants (LÉVÊQUE, 1973 et 1979 b), par le maintien à l'amont d'anciennes et épaisses formations kaolinitiques (sols ferrallitiques), et la formation à l'aval de sols déferifiés et appauvris en argile (sols ferrugineux et hydromorphes).

Schématiquement, la coupe pédologique observée sur le site comporte 8 horizons majeurs associés selon la figure 2. Ces horizons majeurs présentent des variations d'épaisseur et de constitution. Ainsi, dans l'unité de modelé U3, l'épipédon est plus ou moins épais (0 à 40 cm) et sa charge grossière augmente lorsque son épaisseur diminue. En même temps, l'horizon Bsm carapacé est plus induré lorsque l'épipédon est absent ou très peu épais. Dans la partie aval de l'unité de modelé U4, l'horizon E est plus éluvié que vers l'amont tandis que l'horizon BTg s'argilifie davantage et constitue alors un véritable plancher imperméable favorisant la formation d'une nappe perchée en saison pluvieuse.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Choix des parcelles d'essai

La station comporte 24 parcelles expérimentales de 2 500 m² (25 m x 100 m) orientées approxima-

tivement selon l'axe de plus forte pente du versant (nord-sud). Ces parcelles sont situées exclusivement sur les unités de modelé U3 et U4 (cf. fig. 1). Sur le plan pédologique, l'examen de la figure 2 montre que le passage entre ces unités de modelé correspond à deux événements majeurs :

- la disparition de l'horizon Bsm carapacé peu profond ;
- l'apparition de l'horizon E éluvial.

Pour englober au mieux toutes les variations pédologiques observables sur la station proprement dite, deux groupes de parcelles agronomiques situés de part et d'autre de la station expérimentale, et traversés chacun par la limite entre les unités de modelé U3 et U4 (cf. fig. 1 : groupe n° 1 : soles 3, 4, 9 et 10 ; groupe n° 2 : soles 20, 21, 25 et 26), ont été choisis. Les deux parcelles situées à l'extrémité ouest (soles 25 et 26) ont été créées et mises en culture à l'occasion de cette étude. Six des huit parcelles (parcelles 3, 4, 9, 10 et 21) ont été utilisées de 1981 à 1987 pour des essais agronomiques, entomologiques et génétiques. Le travail du sol a toujours été manuel. Il n'y a jamais eu de restitution des résidus de récolte pour la culture cotonnière. Pour tenter de limiter l'effet éventuel des antécédents culturaux, toutes ces parcelles ont été cultivées en cotonnier de manière homogène durant la campagne précédant l'étude (techniques

recommandées par la Société togolaise de commercialisation du coton). Malgré cette précaution, l'effet possible d'antécédents culturaux restera évidemment à prendre en considération pour l'interprétation des résultats.

Choix du matériel végétal et des techniques culturales

La variété de cotonnier utilisée pour cette étude est *Gossypium hirsutum* L., Stam 45E mise au point à la station IRCT d'Anié-Mono (Section de génétique, 1980-1990). Son rendement fibre est élevé (poids fibre / poids fibre + graine = 42 %) et son *seed index* (poids de 100 graines = 8 g) permet une utilisation économiquement rentable des graines.

La culture a été conduite de juin (deuxième quinzaine) à décembre 1989 avec un traitement agronomique homogène sur l'ensemble des parcelles d'essai (cf. tabl. I). Les techniques culturales sont basées sur les recommandations effectuées en milieu paysan par la Société togolaise du coton (SO.TO.CO., 1986), avec toutefois certains aménagements au niveau des doses d'intrants (engrais et protection phytosanitaire). Celles-ci ont en effet été augmentées pour atteindre l'optimum physiologique moyen établi sur l'ensemble des sites d'essai IRCT au Togo (Sections d'agronomie et d'entomologie IRCT, 1948-1988).

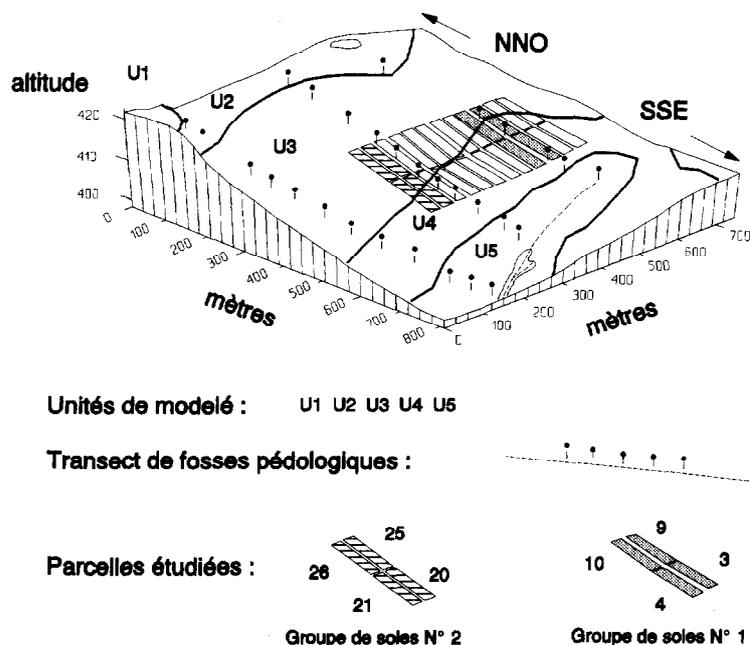
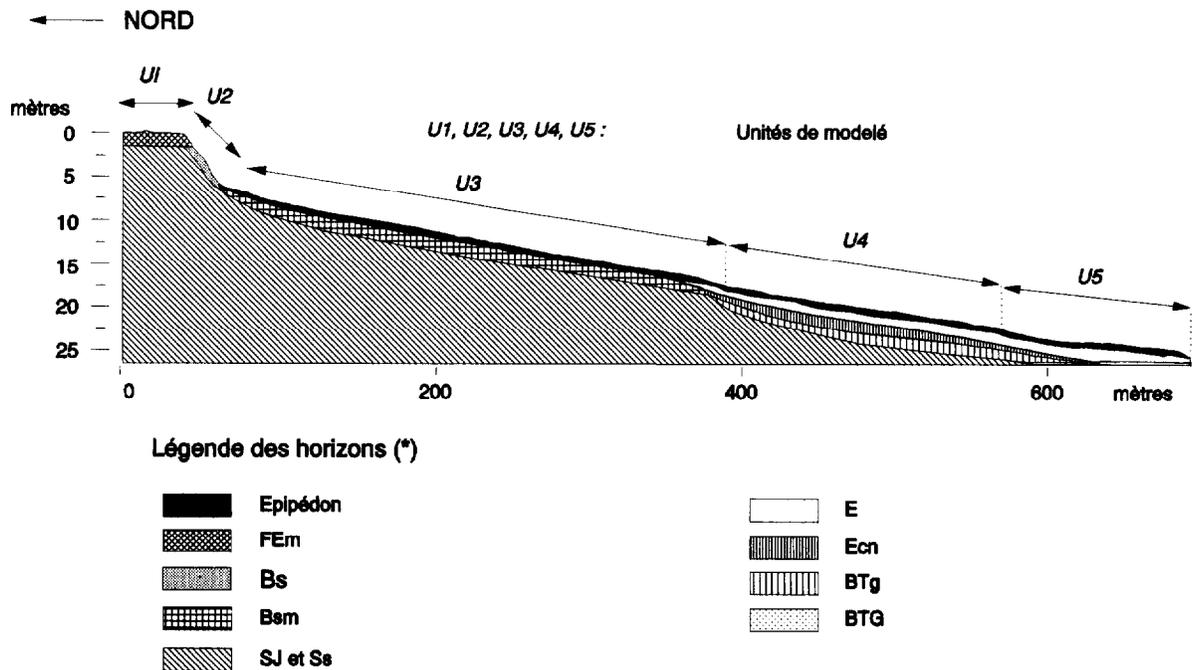


FIG. 1. - Site expérimental de Dalanda.
Experimental site of Dalanda.



(*) cf lexique définition des horizons

FIG. 2. – Coupe pédologique du site.
Soil section of the site.

Caractérisation des parcelles et du comportement de la culture cotonnière

Chacune des 8 parcelles a été découpée en 120 carrés élémentaires ou « quadrats » de 16 m², avec une densité théorique de 80 plants. Hors quadrillage, une bordure cultivée de deux mètres a été laissée sur chaque côté des parcelles. Le rendement a été déterminé sur la population totale de chaque quadrat et a été obtenu par la pesée des récoltes successives. Il correspond au poids par unité de surface du coton-graine issu des capsules arrivées à maturité après 160 jours de culture. À partir des mesures effectuées, le regroupement des quadrats en différentes classes a permis la réalisation de cartes à l'échelle de 1/400.

Un relevé altimétrique a été effectué à l'aide d'une maille de 4 mètres sur les 8 parcelles de l'étude. Afin de visualiser la microtopographie, une double correction altimétrique a été effectuée : 1°) atténuation par redressement de 2 % de la pente longitudinale ; 2°) exagération de l'échelle altimétrique par un facteur de 20.

Deux transects pédologiques (profils pédologiques + sondages) ont été décrits et échantillonnés au niveau des allées traversant chacun des deux

groupes de parcelles. En moyenne, une observation tous les 30 mètres a été effectuée pour chacun des groupes. Cette caractérisation horsparcelle a été

TABLEAU I
Techniques culturales employées
Tillage practices used

Force de travail :	manuelle
Mode semis sur parcelle :	en ligne (interbillon de 0,8 m)
Mode semis en ligne :	en poquet (distance de 25 cm)
Date de semis :	du 18 au 28 juin 1989
Densité :	50 000 /ha (1 plant/poquet)
Type 1 ^{er} apport engrais :	12-22-12-5-1.1 NPKSB + KCl
Dose 1 ^{er} apport engrais :	300 kg ha ⁻¹ + 50 kg ha ⁻¹
Localisation 1 ^{er} apport :	saignée refermée
Date 1 ^{er} apport :	15 ^e jour
Type 2 ^e apport engrais :	urée
Dose 2 ^e apport engrais :	75 kg ha ⁻¹
Localisation 2 ^e apport :	saignée refermée
Date 2 ^e apport :	40 ^e jours
Types sarclages :	manuels à la houe
Type buttage :	manuel à la daba (grande houe)
Type traitement insecticide :	pyréthriné + organophosphoré
Nbre traitements insecticides :	12 (hebdomadaire)
Dose traitement insecticide :	3 l ha ⁻¹
Date 1 ^{er} traitement :	45 ^e jour
Récoltes :	130, 145, 160 jours
Gestion des résidus :	exportation (brulis)

choisie pour éviter la destruction de la surface d'expérimentation agronomique. L'analyse de ces transects a été appuyée par la description très détaillée, sur le même versant, d'un transect hors station distant de 200 mètres latéralement.

Une ligne de piézomètres a été installée le long de chaque transect pédologique. Un relevé quotidien des hauteurs de nappe a été effectué au cours de la campagne.

Au sein des huit parcelles, 26 profils culturaux (60 cm de profondeur en coupe transversale du billon et de l'interbillon) ont été décrits pour observer les caractéristiques de l'épipédon au sein de zones où les variations de comportement du cotonnier étaient très rapides.

En fin de campagne et avant l'arrachage des plants, chaque parcelle a fait l'objet d'une carte au 1/400 des états de surface selon la notion définie par CASENAVE et VALENTIN (1989). Les éléments du milieu observés à la surface du sol sont le microrelief, la couverture végétale par les adventices, l'activité mésofaunique, l'aspect des billons, la texture, la structure et la porosité des horizons de surface, les réorganisations superficielles.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans les conditions expérimentales retenues, les écarts de rendement observés entre les quadrats sont principalement fonction de composantes physiologiques (poids de fibres et de graines par capsules et nombre de capsules par plants). En effet, le rendement dépend en principe de composantes physiologiques, de composantes agronomiques (densité des plants) et de variables météorologiques influant sur l'hygrométrie du coton au moment de la pesée. Mais la densité dans les quadrats (75 plants) s'est avérée uniforme à la récolte (à l'exception de 4 cas sur les 960 quadrats). Par ailleurs, la récolte du coton fibre et les pesées ont été effectuées en journées sèches, dans une tranche horaire où les variations hygrométriques sont limitées (de 10 à 17 heures).

Variabilité spatiale du rendement du cotonnier

VARIABILITÉ INTERPARCELLAIRE

Les rendements totaux de chaque parcelle se situent dans un intervalle compris entre 1 400 et 2 300 kg.ha⁻¹ avec une moyenne centrée de 1 835 kg.ha⁻¹ (cf. tabl. II). Les variations interparcelles de rendement total ne semblent pas obéir à une règle évidente puisque les parcelles globalement les plus productives sont situées aussi bien à l'ouest du site vers l'amont, qu'à l'est vers l'aval.

A priori, le rôle d'antécédents culturaux ne peut donc être exclu.

VARIABILITÉ À L'ÉCHELLE DES CARRÉS ÉLÉMENTAIRES

Pour l'ensemble des carrés élémentaires de 16 m² (960 quadrats), les rendements en coton-graine tendent à se distribuer selon une loi normale ainsi que l'exprime l'histogramme des fréquences de la figure 3 (coéf. symétrie = -0,067 ; coéf. aplatissement = 2,64 ; médiane = 1 875). Le coefficient de variation (32,2 %) traduit une assez forte variabilité spatiale générale des rendements au niveau du site.

Une carte des rendements élémentaires de chaque quadrat a été réalisée (fig. 4), après analyse de l'histogramme fréquentiel, par regroupement des quadrats en quatre classes d'isopopulation (quartiles). Cette carte montre que les quadrats appartenant à une classe donnée ne se distribuent pas de manière aléatoire. Ils sont spatialement regroupés et définissent des unités cartographiques pouvant atteindre 1 300 m² avec un taux d'impureté inférieur à 10 %. Les rendements les plus faibles (325 – 1 406,25 kg.ha⁻¹) se localisent principalement à l'aval du site (soles 3 et 4 ; soles 20 et 21). Toutefois, il existe des surfaces non négligeables occupées par ces faibles rendements dans la partie amont des parcelles situées au nord-est du site (soles 25 et 26). Les plus forts rendements (2 281,25 – 3 687,5 kg.ha⁻¹) se regroupent en

TABLEAU II
Rendement total des parcelles étudiées (Kg.ha⁻¹)
Total yield of the plots studied

Parcelle	25	26	4	3	21	9	20	10	Moyenne
RDT	1 395	1 597	1 674	1 807	1 877	1 989	2 037	2 308	1 835

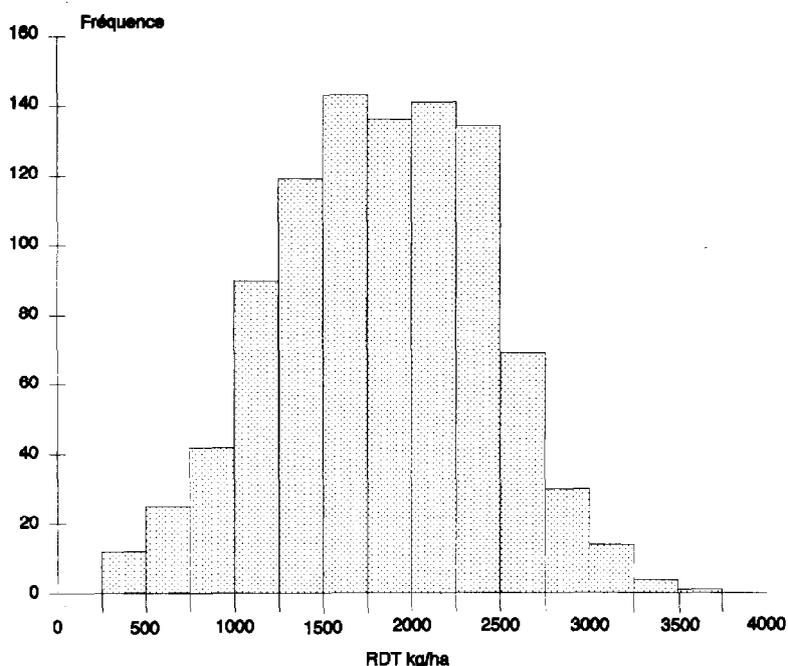


FIG. 3. – Histogramme fréquentiel des rendements élémentaires.
Frequency histogram of elementary yields.

zones bien différenciées qui sont séparées des unités à faibles rendements par les zones à rendements intermédiaires (1 406,25 – 1 875 et 1 875 – 2 281,25 kg.ha⁻¹).

Les résultats illustrés par les figures 3 et 4 montrent que le rendement constitue une variable régionalisée au sens géostatistique (DELHOMME, 1976 ; VAUCLIN, 1983 ; GASCUEL-ODOUX, 1984, 1987 ; GOULARD *et al.*, 1987). En effet (fig. 3), l'ensemble des valeurs constitue au sens statistique une population à distribution normale, et ces valeurs sont fonction de leur situation dans l'espace (fig. 4).

L'analyse des variogrammes selon les principales directions de l'espace permet de préciser les orientations préférentielles de la variabilité et la structuration spatiale du rendement. Parmi l'ensemble des variogrammes déterminés selon chacune de ces directions, les courbes de la figure 5 présentent une pente maximale à l'origine. Celles-ci indiquent une variabilité maximale du rendement dans deux directions préférentielles : nord-sud pour les parcelles situées dans l'unité de modelé U4 (courbe A) et est-ouest pour les parcelles placées sur l'unité de modelé U3 (courbe B). La variabilité générale du site suit quant à elle la

direction nord-sud (courbe C). L'allure des 3 courbes à l'origine (pas d'effet de pépité, existence d'une pente linéaire) indique la structuration régulière de la variable rendement dans l'espace.

Pour les parcelles 9 et 10 qui présentent un sol à carapace (unité de modelé U3), un palier apparaît (courbe B). Celui-ci indique qu'au-delà de 20 mètres de distance les valeurs de rendement n'ont plus d'influence entre elles. Il y a donc des systèmes isolés de comportement de la plante qui pourraient être liés à des ruptures nettes dans les conditions édaphiques (profondeur de carapace, termitière).

À l'inverse, pour les parcelles 3 et 4 présentant un sol à horizon éluvié épais (unité de modelé U4), la courbe est quasi linéaire (courbe A). Les rendements semblent donc interdépendants sur l'ensemble de la parcelle. Ici, il n'y aurait qu'un système de comportement de la plante avec une variation progressive. Cette progression pourrait être due à une variation graduelle des conditions édaphiques.

Pour le groupe de parcelles 3, 4, 9 et 10, qui présente simultanément les types de sol des unités de modelé U3 et U4 (courbe C), l'orientation préférentielle correspond au changement de type de sol selon la toposéquence.

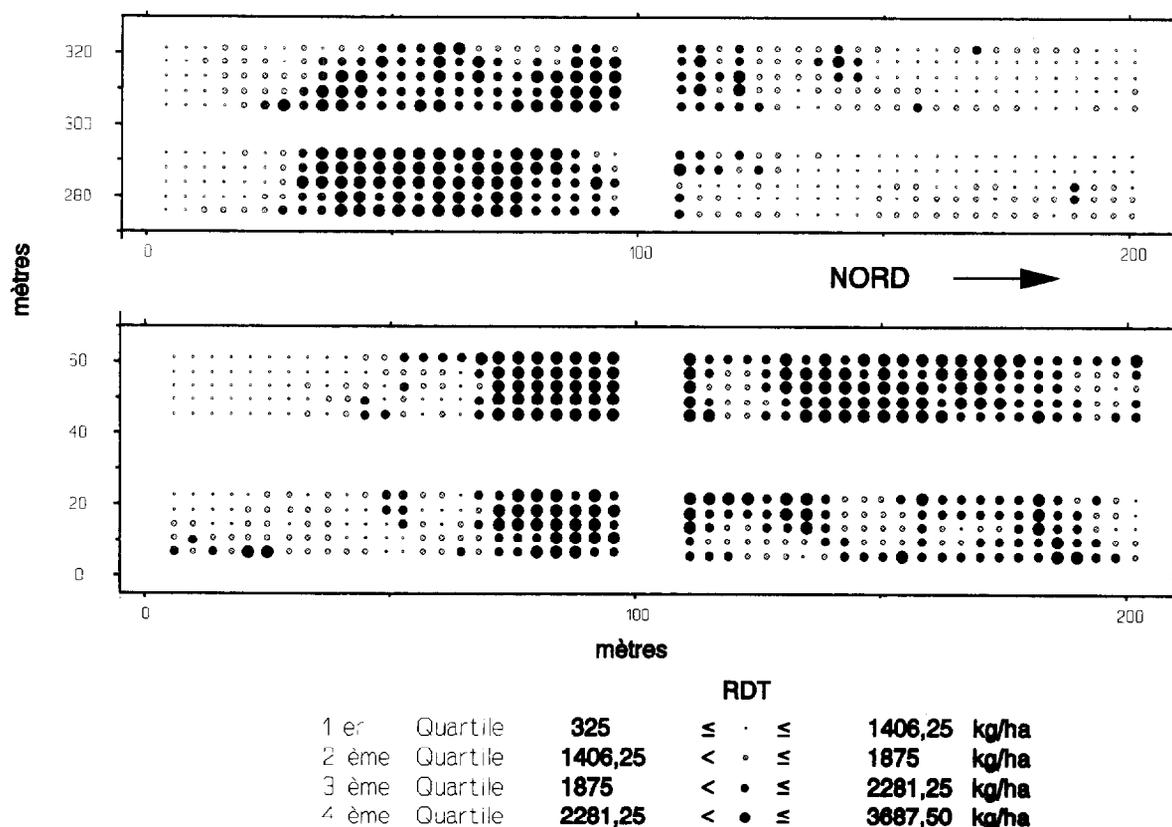


FIG. 4. – Carte des rendements 1989 pour les 8 parcelles étudiées.
1989 yield map concerning the eight plots studied.

Analyse des relations rendement-support éda- phique

À partir de la caractérisation des sols du site et de l'analyse cartographique et géostatistique des rendements, deux situations contrastées ont été mises en évidence :

- le cas des parcelles situées sur sol à carapace dans l'unité de modelé U3 ;
- le cas des parcelles situées sur sol à horizon éluvié épais dans l'unité de modelé U4.

Ce contraste s'exprime également dans les fluctuations du niveau de la nappe durant la campagne (fig. 6). Cependant l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de la couche 0-20 cm du sol (tabl. III) ne révèle un contraste marqué qu'entre la partie la plus aval du site (bas de la parcelle n° 4) et les autres situations.

ÉTUDE D'EXEMPLES

Deux exemples caractérisant ces situations contrastées peuvent illustrer les relations rendement-support : la parcelle 26 (unité de modelé U3,

sol à carapace) et la parcelle 4 (unité de modelé U4, sol à horizon éluvié épais).

Pour chacune de ces parcelles, différents éléments cartographiques peuvent être superposés : sol, microrelief, état de surface, rendement. Pour cette superposition, les valeurs de rendement ont été réparties en 8 classes isoamples de 500 kg.ha⁻¹. Les classes 0 – 500 kg.ha⁻¹ et 3 500 – 4 000 kg.ha⁻¹ représentant moins de 1 % de l'ensemble de la population des quadrats, elles seront intégrées cartographiquement aux classes de rendement les plus proches.

Cas d'une parcelle sur sol à carapace – Unité de modelé U3

Sol et microtopographie (fig. 7a) – La parcelle 26 est située sur un sol à horizon Bsm carapacé. Cet horizon apparaît à une profondeur variable (0 à 40 cm). Le microrelief est particulièrement accidenté.

État de surface (fig. 7b) – Les variations de profondeurs de l'horizon Bsm carapacé se traduisent

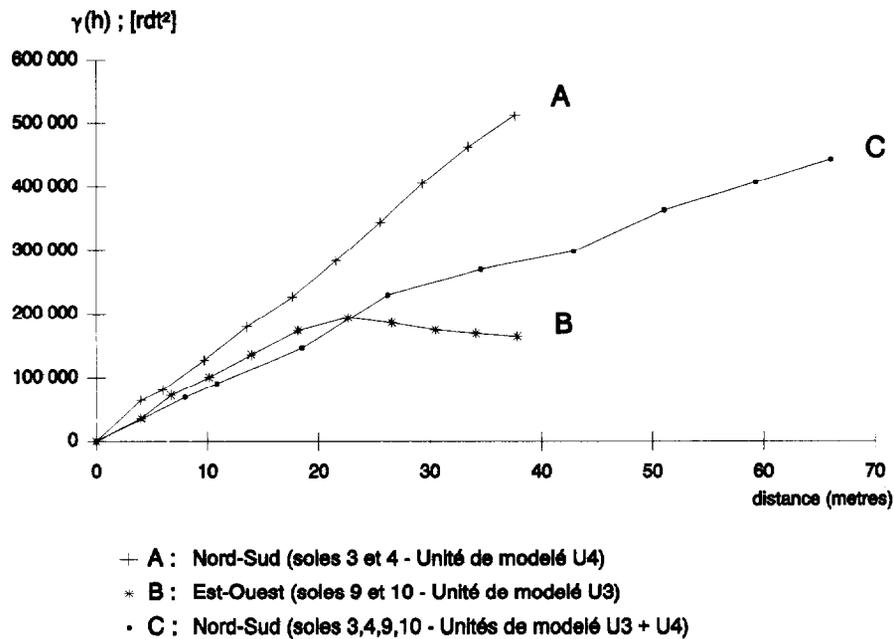


FIG. 5. – Variogrammes d'un groupe de parcelles.
Variograms of a group of plots.

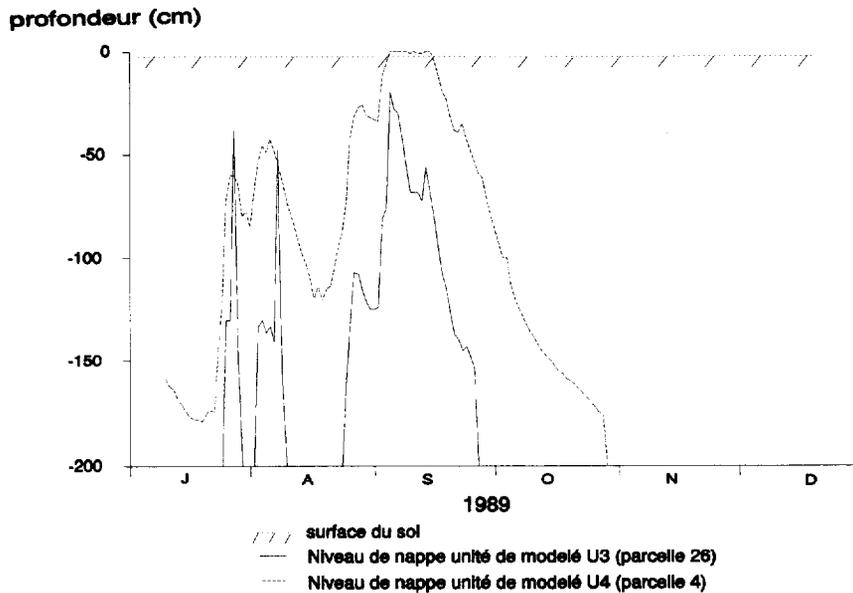


FIG. 6. – Fluctuations de la nappe pour les unités de modelé U3 et U4.
Fluctuations in the water level concerning the relief units U3 and U4.

par des différences importantes de charge grossière à la surface du sol (états de surface 1 à 3). Une zone d'accumulation et de circulation préférentielle des eaux de surface est mise en évidence par la présence d'un état de surface (état 4) à billon forte-

ment érodé, à faible charge grossière et à croûte de décantation. Cette zone correspond aux microdépressions topographiques (fig. 7a). La présence de termitières se caractérise par un état de surface à billon non érodé, à faible charge grossière, à croûte

structurale de type ST1 et à porosité vésiculaire nette (état 5). Ces termitières forment des dômes perceptibles au niveau du microrelief (fig. 7a).

Rendements (fig. 7c) – Cette parcelle ne présente pas de quadrats à très forts rendements, et ceux-ci fournissent en majorité des rendements moyens. Les quadrats à très faibles rendements (moins de 1000 kg.ha⁻¹) se localisent dans la zone à état de surface 4 (fig. 7b). Ceci suggère que la stagnation des eaux superficielles et l'érosion dans les chenaux d'écoulement ont un effet dépressif sur la plante. Cet effet dépressif semble s'estomper graduellement en périphérie de cette zone. Les variations ponctuelles de rendement semblent liées aux dômes de termitières (fig. 7b). Ces variations de rendements peuvent être soit positives soit négatives. L'étude de profils culturaux a montré que les variations positives sont liées à des termitières effondrées naturellement (architecture interne détruite et accumulation de matériau fin). Les variations négatives semblent dues à un blocage de l'enracinement par les parois des chambres (termitières en activité lors de la mise en place de la parcelle). À l'exception d'effets superficiels, l'eau ne semble pas induire d'effets dépressifs sur la plante par engorgement du sol puisque l'on n'observe pas de véritable nappe sur les sols à carapace (fig. 6).

Cas d'une parcelle sur sol à l'horizon éluvié épais – Unité de modelé U4.

Sol et microtopographie (fig. 8a) – Le sol de la parcelle 4 présente des caractères d'hydromorphie s'accroissant vers l'aval et se traduisant par l'apparition, en bas de parcelle, d'un horizon très éluvié situé à environ 1,5 m de profondeur. Cette hydromorphie correspond à la présence d'une nappe pouvant remonter jusqu'à la surface du sol au cours de la saison de culture (fig. 6). Le sol est meuble sur les deux premiers mètres (absence d'horizon Bsm carapacé). Le microrelief est nettement plus monotone que celui de la parcelle 26 et n'induit pas la formation de chenaux d'érosion.

États de surface (fig. 8b) – L'absence de l'horizon Bsm carapacé se traduit en surface par une charge grossière peu importante (moins de 20 % sur l'ensemble de la parcelle). Le gradient d'hydromorphie se manifeste par une répartition des états de surface suivant une distribution amont-aval en trois zones : – état de surface 6 vers l'amont – à billons conservés ; – états de surface 7 et 8 à billons affaiblis ou fortement érodés en milieu de parcelle. Ces surfaces sont envahies par les adventices ; – état de surface 9 et 10 à billons ruiniformes à l'aval. Ces surfaces sont également envahies par les adventices.

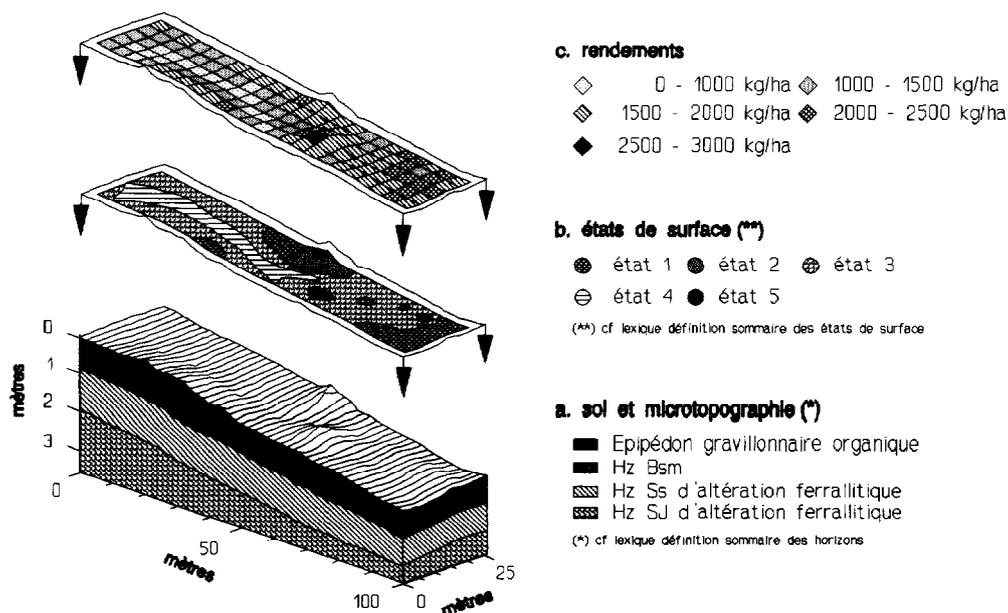


FIG. 7. – Support édaphique et rendement en coton-graine dans l'unité de modelé U3 (parcelle 26).
Substrate and cotton-seed yield in the relief unit U3 (plot 26).

TABLEAU III
Données physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm
pour les unités de modelé U3 et U4
Physicochemical data of the soil horizon 0-20 cm
concerning the relief units U3 and U4

	U3		U4	
	Sol à Hz Bsm Parcelle 10		Sol à Hz E épais Parcelle 4	
			Haut	Bas
pH eau	6,6	6,9	6,9	5,5
P ₂ O ₅ %	1,15	0,88	0,88	0,54
N %	0,57	0,56	0,56	0,30
C/N	17	17	17	16
M.O. %	1,68	1,68	1,68	0,86
A %	6,3	5,2	5,2	2,7
LF + LG %	13,4	14,3	14,3	11,6
SF + SG %	80,3	80,5	80,5	85,7

La stagnation d'eau se manifeste dans la partie la plus aval (état de surface 10) par des croûtes de décantation. Par ailleurs, il existe un gradient amont-aval dans l'activité mésofaunique. Elle est pratiquement inexistante en bas de parcelle.

Rendements (fig. 8c) – Les rendements se répartissent en trois zones distinctes : – rendements très forts dans la partie amont (2 500-4 000 kg.ha⁻¹) ;

– rendements moyens dans la partie médiane (1 000-2 500 kg.ha⁻¹) ; – rendements très faibles en bas de parcelle (inférieurs à 1000 kg.ha⁻¹).

Par superposition des figures 8b et 8c, les répartitions des rendements et des états de surface coïncident assez étroitement. Puisque les états de surface semblent dépendre étroitement des conditions d'engorgement, ceci semble indiquer l'effet de l'excès d'eau par remontée de la nappe sur les variations de rendement. Cependant, les caractéristiques physico-chimiques du sol (tabl. III), qui diffèrent fortement entre le haut et le bas de la parcelle, pourraient être une cause directe de ces variations de rendement. Dans cette hypothèse, le gradient d'engorgement serait alors à l'origine de ces variations physico-chimiques et n'induirait des effets dépressifs supplémentaires que lorsque la nappe noie le système racinaire (période août-septembre des années à forte pluviosité).

GÉNÉRALISATION À L'ÉCHELLE DU SITE

À partir des deux cas présentés précédemment (parcelle 26 et parcelle 4), l'observation d'une relation nette entre le rendement et les types d'états de surface permet de tenter une généralisation à l'échelle du site (8 parcelles, 960 quadrats). Les sous-populations de quadrats qui tiennent compte des types de sol et des grands types d'état de sur-

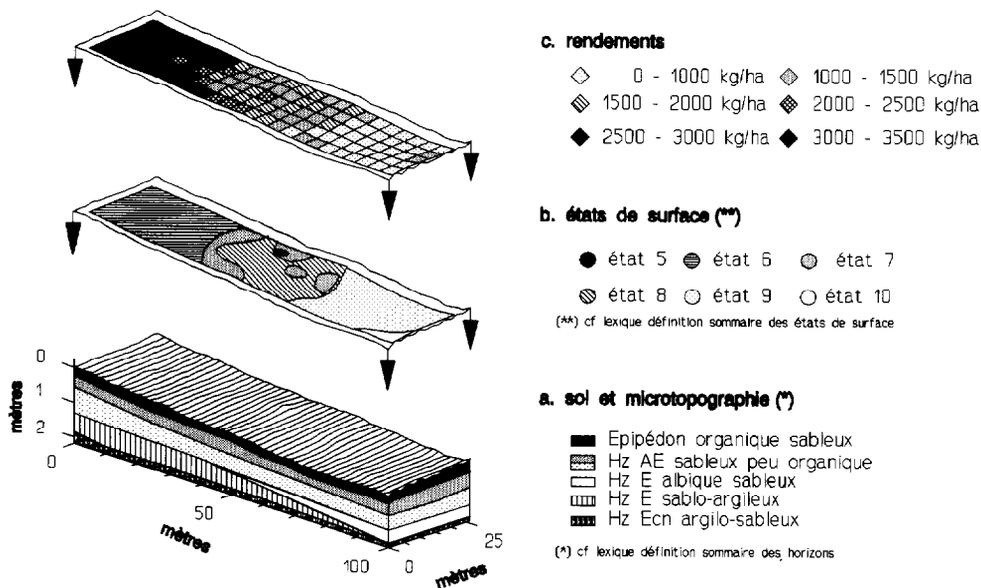


Fig. 8. – Support édaphique et rendement en coton-graine dans l'unité de modelé U4 (parcelle 4).
Substrate and cotton-seed yield in the relief unit U4 (plot 4).

faces suivent pour cinq d'entre elles une loi de distribution normale (fig. 9).

Les modes de chacune de ces sous-populations sont différents. Cela suggère que chacune de ces situations correspond à une fourchette de rendement spécifique autour d'une valeur médiane. Ainsi, un classement croissant des médianes de rendement peut être établi :

– état de surface 4 : surface billonnée fortement érodée, à croûte de décantation, à faible charge grossière sur sol à horizon Bsm carapacé. Médiane du rendement = 921,85 kg.ha⁻¹ ;

– états de surface 7 et 8 : surface billonnée affaissée ou fortement érodée, à faible charge grossière sur sol sableux à horizon E éluvié épais. Médiane du rendement = 1531,25 kg.ha⁻¹ ;

– états de surface 2 et 3 : surface billonnée non affaissée à charge grossière de 20 à 60 % sur sol à horizon Bsm carapacé. Médiane du rendement = 1687,5 kg.ha⁻¹ ;

– état de surface 1 : surface billonnée non affaissée à charge grossière supérieure à 60 % sur sol à horizon Bsm carapacé. Médiane du rendement = 2 125 kg.ha⁻¹ ;

– état de surface 6 : surface billonnée non affaissée à faible charge grossière sur sol sableux à horizon E éluvié épais. Médiane du rendement = 2 531,25 kg.ha⁻¹ ;

La sixième sous-population présente une distribution de type bimodal (états de surface n° 9 et 10 : surface billonnée ruinforme, pouvant présenter des croûtes de décantation, à faible charge grossière sur sol sableux à horizon E éluvié épais). Cette distribution n'est pas la somme de deux distributions modales correspondant aux états de surface 9 d'une part et 10 d'autre part. Cela semble indiquer un regroupement de deux sous-populations de rendements qui ne sont pas pour autant liées aux états de surface.

CONCLUSION

Cette étude permet de dégager un ensemble de constats et d'hypothèses concernant les contraintes rencontrées par une culture de cotonnier sur un versant du socle granito-gneissique d'Afrique de l'Ouest à saisons contrastées. Outre son intérêt économique, le choix du rendement en coton-fibre

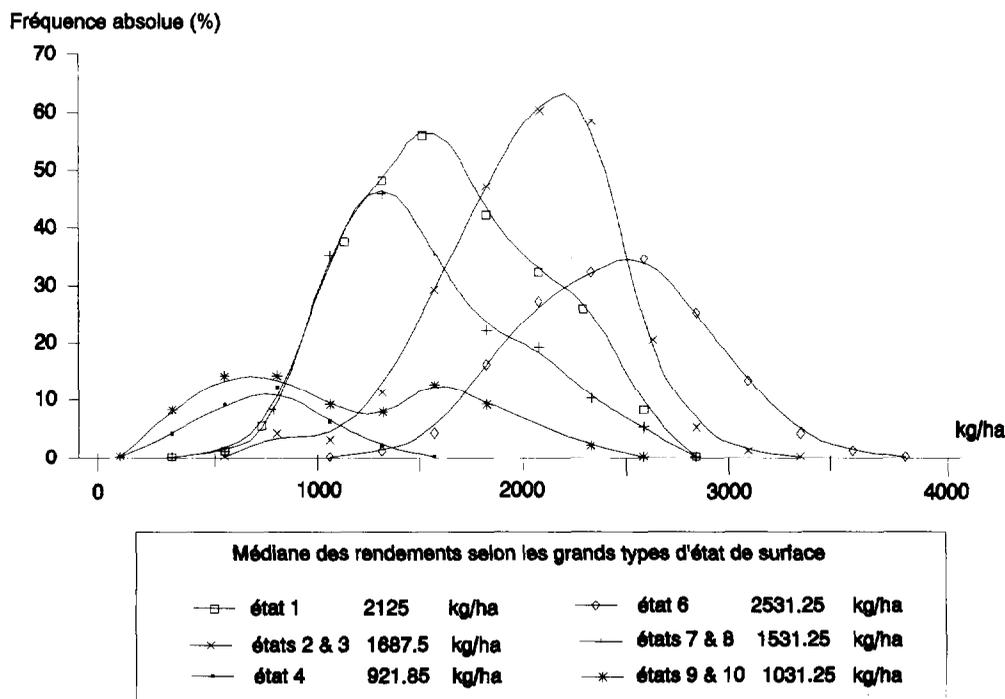


FIG. 9. – Distribution fréquentielle des rendements à l'échelle du site, par grands types d'états de surface. *Frequency distribution of yields in the site according to the great types of surface features.*

comme variable agronomique est justifié par le fait que celui-ci s'avère être un bon estimateur du comportement de la plante.

Sur le plan des résultats, la variabilité spatiale du rendement du cotonnier s'avère importante malgré des conditions agronomiques homogènes. Ce fait révèle la diversité du potentiel agronomique des sols situés sur un même versant, et souligne l'existence de facteurs édaphiques à ne pas négliger lors de l'implantation d'essais agronomiques comparatifs.

Un découpage de l'espace en parcelles permet d'obtenir une quantification de cette variabilité spatiale du rendement, sans toutefois suffire pour expliquer les différences de rendement :

- à l'échelle de parcelles de 2 500 m², des différences de rendement total de 1 400 à 2 300 kg/ha apparaissent. À cette échelle, seul l'effet d'antécédents culturaux peut être supposé ;

- en effectuant un découpage des parcelles en carrés élémentaires (960 carrés élémentaires de 16 m²), la variabilité spatiale intraparcellaire du rendement est encore plus importante, puisque en rapportant les rendements à l'hectare, on peut observer des valeurs allant de moins de 500 kg/ha à plus de 3 500 kg/ha au sein d'une même parcelle.

En couplant une caractérisation naturaliste de la répartition des paramètres édaphiques et une analyse géostatistique des rendements, il devient possible de proposer une première interprétation du comportement général de la plante. On notera que le couplage effectué par simple superposition de cartes suffit déjà pour s'assurer de l'existence de corrélations spatiales. Cela n'exclut pas pour autant la possibilité d'une quantification ultérieure de ces corrélations spatiales par le maillage des cartes édaphiques à un pas qui serait une fraction entière du pas de maille choisi pour la cartographie des rendements.

À l'échelle du versant, l'analyse géostatistique confirme que les rendements s'orientent globalement selon l'axe de plus forte pente, ce que ne révélait pas l'examen des rendements totaux obtenus pour chaque parcelle. La caractérisation morpho-pédologique du versant montre que cette orientation correspond à l'axe de plus forte variation des caractéristiques pédologiques. L'hypothèse d'un effet prépondérant d'antécédents culturaux est donc à abandonner, dans ce cas, au profit de l'influence déterminante de la couverture pédologique.

Au sein d'une même unité morpho-pédologique, la structure spatiale de la variabilité du comportement de la plante semble pouvoir s'expliquer. On distingue en effet deux cas de figure :

- des petits ensembles distincts de comportement (distance d'interdépendance des valeurs de rendement inférieure à 20 mètres) sont observés sur l'unité de modelé amont à sol carapacé. Au vu de l'étude des caractéristiques pédologiques et des états de surface, cette structure spatiale semble pouvoir s'expliquer par deux types de contraintes à forte variabilité spatiale : des contraintes purement mécaniques sur l'enracinement de la plante (zones où la carapace affleure, termitières détruites lors de la mise en culture) et des contraintes liées à la circulation des eaux en surface (zones déprimées où circulent préférentiellement les eaux superficielles) ;

- un ensemble de comportements à variation progressive apparaît dans l'unité de modelé aval à sol lessivé non carapacé. Les rendements y sont plus faibles que dans l'unité de modelé amont. Comme les sols de cette unité se révèlent être soumis à des engorgements temporaires par une nappe phréatique, ce type de comportement de la plante semble pouvoir s'expliquer par une contrainte hydrique s'accroissant progressivement vers l'aval.

Avant d'envisager des pratiques culturales visant à minimiser de telles contraintes, une analyse physiologique demeure nécessaire, en particulier sur le plan de l'enracinement. L'étude présentée ici permet d'en établir les hypothèses de travail.

Sur le plan méthodologique, on notera que deux approches de surface non destructives et d'accès relativement aisé fournissent des informations spatialement corrélées au niveau de rendement de la culture : il s'agit de la microtopographie des parcelles et du diagnostic des états de surface. Bien que ces approches ne permettent pas de déterminer les conditions internes d'enracinement et d'alimentation de la plante, elles semblent fournir des indicateurs intéressants pour la délimitation d'unités agropédologiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Mademoiselle C. PLEUVRET pour sa cartographie des états de surface sur le site. Sans son appui, cette étude n'aurait pu être menée.

Ils remercient également E. GOZE (service biométrie, IRCT-Montpellier) pour son aide à l'analyse géostatistique des données et P. BRABANT, directeur de recherche au centre Orstom de Lomé, pour sa relecture attentive.

Enfin, ils remercient le laboratoire d'analyse des sols du centre Orstom de Lomé, ainsi que toutes les personnes ayant pris part à la collecte des données.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 17 mars 1994.

BIBLIOGRAPHIE

- Afes, 1988. – *Référentiel pédologique français. 2^e proposition*. Paris, Afes-Inra, 251 p.
- Anonyme, 1986. – Carte géologique au 1/200 000. Feuille de Sokodé. D.G.M.G., B.N.R.M.
- AICART (P.), 1957. – *Les terrains précambriens du Togo et leur extension vers le Nord-Est*. Mém. Dir. Mines et Géol., minist. Mines, République du Togo, 221 p.
- AUBREVILLE (A.), 1949. – *Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Soc. Ed. Géog. Mar. Coll. 351 p.
- BOIVIN (P.), TOUMA (J.), 1988. – Variabilité spatiale de l'infiltrabilité d'un sol mesurée par la méthode du double anneau. *Cah.Orstom, sér. Pédol.*, 24(3) : 227-234.
- BOULET (R.), GODON (P.), LUCAS (Y.), WOROU (S.), 1985. – Analyse structurale de la couverture pédologique et expérimentation agronomique en Guyane française. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 21 (1) : 21-31.
- BRUCE (R.R.), SNYDER (W.M.), WHITE (A.W.), THOMAS (A.W.), LANGDALE (G.W.), 1990. – Soil variables and interactions affecting prediction of crop yield pattern. *Soil Sci. Soc. Amer. Journ.*, 54 (2) : 494-501.
- CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989. – *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Paris, Orstom, 229 p.
- COURAULT (D.), GIRARD (M.C.), 1988. – Analyse des hétérogénéités intraparcellaires des sols par télédétection. *Science du sol*, 26 (1) : 1-12.
- DELHOMME (J.P.), 1976. – *Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau*. Th. Doct. Ing., ENSMP Fontainebleau, 130 p.
- GASCUEL-ODOUX (C.), 1984. – *Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol*. Thèse Doct. Ing., ENSMP Fontainebleau et Ensa-Inra Rennes, 235 p.
- GASCUEL-ODOUX (C.), 1987. – Variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol, méthodes et résultats ; cas d'une seule variable : revue bibliographique. *Agronomie*, 7 (1) : 61-71.
- GASTON (L.), NKEDI-KIZZA (P.), SAWKA (G.), RAO (P.S.C.), 1990. – Spatial variability of morphological properties at florida flatwoods site. *Soil Sci. Soc. Amer. Journ.*, 54 (2) : 527-533.
- GOULARD (M.), VOLTZ (M.), MONESTIEZ (P.), 1987. – Comparaison d'approches multivariées pour l'étude de la variabilité spatiale des sols. *Agronomie*, 7 (9) : 657-665.
- HABECKER (M.A.), Mc SWEENEY (K.), MEYERS (N.L.), 1990. – Variability of a fragiochrept with windthrow microtopography in north central Wisconsin. *Soil Sci. Soc. Amer. Journ.*, 54 (2) : 483-488.
- IRCT, 1980-1990. – *Rapport Annuel Section de Génétique*. IRCT/Cirad, Station d'Anié-Mono.
- IRCT, 1980-1990. – *Rapport Annuel Section d'Entomologie*. IRCT/Cirad, Station d'Anié-Mono.
- IRCT, 1980-1990. – *Rapport Annuel Section d'Agronomie*. IRCT/Cirad, Station d'Anié-Mono.
- IRCT, SO.TO.CO, 1986. – Recommandations techniques en culture cotonnière. Rapp. SO.TO.CO., 115 p.
- KLICK (I.), WILDING (L.P.), PFORDRESHER (A.A.), 1990. – Close-interval spatial variability of udertic paleustalfs in east central Texas. *Soil Sci. Soc. Amer. Journ.*, 54 (2) : 489-494.
- LÉVÊQUE (A.), 1969. – Les principaux événements géomorphologiques et les sols sur le socle granito-gneissique au Togo. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, VII, 2 : 203-224.
- LÉVÊQUE (A.), 1973. – Les sols du Togo. Cartographie de reconnaissance au 1/200 000. Le socle granito-gneissique.
- LÉVÊQUE (A.), 1979-a. – Carte pédologique du Togo à 1/200 000. Socle granito-gneissique limité à l'ouest et au nord par les monts Togo. Notice explicative n° 82, 3 coupures, Paris Orstom.
- LÉVÊQUE (A.), 1979-b. – *Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols et remaniements superficiels*. Paris, Trav. et doc. Orstom n° 108, 224 p.
- MATHE (E.), BLAVET (D.), 1992. – *Différenciation toposéquentielle des sols du site expérimental IRCT de Dalanda (centre Togo)*. Rapp. Int. INS., ministère du Développement rural Togo, 14 p.
- MICHEL (P.), 1970. – Chronologie du quaternaire des bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Essai de synthèse I. *Asequa Bulletin*, n° 25 : 53-64.
- MICHEL (P.), 1970. – Chronologie du quaternaire des bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Essai de synthèse II. *Asequa Bulletin*, n° 26 : 25-38.
- VAUCLIN (M.), 1983. – « Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol ». In : *Les colloques de l'Inra : Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols*, 15 : 9-43.

DÉFINITION DES HORIZONS

- A** : horizon contenant en mélange de la matière organique et de la matière minérale.
- BTg** : horizon rédoxique d'accumulation d'argile illuviale.
- BTG** : horizon réductique d'accumulation d'argile illuviale.
- Bsm** : (carapace ferrugineuse) horizon de concentration en oxydes et hydroxydes de fer, induré à l'état sec et humide.
- C** : altérite à structure lithologique conservée, présentant de nombreux minéraux altérables.
- E** : horizon éluvial, appauvri en fer et en minéraux argileux.
- E albique** : horizon E de couleur très claire, où l'intensité de l'appauvrissement a provoqué la disparition presque totale des argiles et oxydes de fer libre.
- Ecn** : horizon E, contenant des nodules ferrugineux.
- Epipédon** : couche supérieure du sol comprise entre 0 et 20 cm.
- FEm** : (cuirasse compacte) horizon à forte concentration en fer, d'une épaisseur généralement supérieure à 100 cm, peu ou pas pénétrable aux racines des plantes ligneuses.
- Ss** : horizon d'altération de type ferrallitique, à kaolinite, de couleur bariolée, grise et rougeâtre.
- Js** : horizon d'altération peu marquée de type ferrallitique, de couleur rougeâtre.

DÉFINITION DES ÉTATS DE SURFACE

- état 1** : surface cultivée à billons non affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière supérieure à 60 %, à croûtes d'érosion sur le billon et à croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 2** : surface cultivée à billons non affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 40 et 60 %, à croûtes ST2 et croûtes d'érosion sur le billon et à croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 3** : surface cultivée à billons non affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 20 et 40 %, à croûtes ST2 et ST3 sur le billon et à croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 4** : surface cultivée à billons fortement érodés en fin de saison des pluies, à charge grossière inférieure à 2 %, à croûtes ST2 et croûtes d'érosion sur le billon et à croûtes de ruissellement et croûtes de décantation dans l'interbillon.
- état 5** : termitière. Surface cultivée à billons non affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière inférieure à 2 %, à croûtes ST1 et fentes de retrait sur le billon et à rares croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 6** : surface cultivée à billons non affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 5 et 10 %, à croûtes ST2 et croûtes d'érosion sur le billon et quelques croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 7** : surface cultivée à billons affaissés en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 10 et 15 %, à croûtes ST2 et croûtes d'érosion sur le billon et quelques croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 8** : surface cultivée à billons fortement érodés en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 10 et 15 %, à croûtes ST2 et croûtes d'érosion sur le billon et à croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 9** : surface cultivée à billons ruiniformes en fin de saison des pluies, à charge grossière comprise entre 5 et 10 %, à croûtes ST2 sur le billon et à croûtes de ruissellement dans l'interbillon.
- état 10** : surface cultivée à billons ruiniformes en fin de saison des pluies, à charge grossière inférieure à 5 %, à croûtes ST1 et à croûtes d'érosion sur le billon et à croûtes de ruissellement et croûtes de décantation dans l'interbillon.