

Diagnostic de la fertilité de systèmes culturaux intensifs en bananeraies à la Martinique.

B. DELVAUX, X. PERRIER et Ph. GUYOT*

DIAGNOSTIC OF THE FERTILITY OF INTENSIVE BANANA CROPPING SYSTEMS IN MARTINIQUE.

B. DELVAUX, X. PERRIER and Ph. GUYOT.

Fruits, May-Jun. 1990, vol. 45, n° 3, p. 223-236.

ABSTRACT - In the last decade, a decline in banana crop yields was measured in intensive banana cropping systems in Martinique. A diagnostic survey has been carried out to determine factors contributing to that decline. Field data were collected *in situ* : they refer to soil conditions, plant behaviour, current cultural practices and past history of cultivated plots. Data were treated by multivariate analysis. The variations in crop potential are mainly related to soil and climate conditions, and secondary to cultural practices influencing banana root behaviour (cropping system, earthen-up, soil tillage). The range in crop potential values is narrow in clayey soils, in which physical constraints dominate and reduce root exploration in soils. To the contrary, that range is much wider in sandy and gravelly soils, derived from recent ash and pumice deposits. In the latter soils used for banana monoculture, biotic constraints through soil borne pathogens dominate and seriously limit crop yield potential. Two main factors appear to reduce banana crop yield potentials in intensive cropping systems in Martinique : monocultural land use and the absence of a true soil tillage.

DIAGNOSTIC DE LA FERTILITE DE SYSTEMES CULTURAUX INTENSIFS EN BANANERAIES A LA MARTINIQUE.

B. DELVAUX, X. PERRIER et Ph. GUYOT.

Fruits, May-Jun. 1990, vol. 45, n° 3, p. 223-236.

RESUME - Une enquête diagnostic a été menée dans les bananeraies intensives de la Martinique afin de préciser les facteurs contribuant à la baisse de productivité des systèmes culturaux. Les données, collectées *in situ*, concernent le sol, la plante, l'itinéraire technique et l'historique des parcelles sélectionnées. Elles ont été traitées par analyses multivariées. Dans les systèmes intensifs étudiés, les différences de potentiel de production sont liées principalement aux conditions écologiques (sol, climat, altitude) et secondairement aux choix techniques susceptibles d'influencer l'efficacité du système racinaire (précédent cultural, buttage, préparation des terres, profondeur d'enracinement). Les gammes de variation du potentiel de production sont faibles dans les sols argileux, où dominent les contraintes d'ordre physique. Par contre, elles sont considérables dans les sols sableux, développés sur cendres et ponces, où, en système monoculturel, les contraintes parasitaires s'exerçant sur le système racinaire sont prépondérantes. Deux facteurs de risque, variables en fonction du type de sol, semblent limiter la fertilité des systèmes de culture : l'utilisation monoculturelle des terres et l'absence d'un véritable travail du sol.

INTRODUCTION

Depuis le passage des cyclones David (1979) et Allen (1980), la production bananière en Martinique a présenté au cours des années suivantes un niveau sensiblement inférieur à celui enregistré avant ces événements météorologiques. La baisse de rendement fut particulièrement ressentie dans les exploitations les plus intensives et plus spécifiquement dans celles situées au nord de l'île (sols développés sur cendres et ponces) qui ont vu leur production nette diminuer de près de 30 p. 100. La période précyclonique était caractérisée par l'obtention de niveaux de rendements annuels élevés (50-60 tonnes/ha dans les exploitations les plus intensives du nord de l'île). Ceux-ci ont pu être atteints grâce à une amélioration de l'itinéraire technique, c'est-à-dire entre au-

tres à une meilleure maîtrise de la fertilisation, une généralisation des amendements et de la pratique de l'irrigation dans les zones de culture intensive caractérisées par un déficit hydrique climatique.

Dans la période postcyclonique, malgré ces innovations techniques (ou à cause d'elles ?), les rendements ne se sont pas maintenus à de tels niveaux : ils ont sensiblement diminué, particulièrement dans les exploitations les plus intensives. Dans ce contexte, une baisse de «fertilité» des systèmes culturaux pouvait être liée à :

- une évolution des sols cultivés («dérive» des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols) ;
- une inadéquation entre les états du milieu, liés aux interactions milieu-plante-techniques, et la satisfaction des besoins de la culture (SEBILLOTTE, 1978).

Face à cette situation, il était nécessaire de poser un

*DELVAUX - IRFA/CIRAD, B.P. 153 - 97202 FORT DE FRANCE Cedex.
PERRIER - IRFA/CIRAD, B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER Cedex 1.
GUYOT - 28, Hameau des Hauches - 26270 LORIOL.

diagnostic global sur les systèmes de culture et de définir les axes de recherche susceptibles de répondre aux problèmes soulevés. Le présent article fait suite à l'étude concernant la caractérisation de l'enracinement du bananier dans les exploitations intensives de la Martinique (DELVAUX et GUYOT, 1989).

METHODOLOGIE

Pour atteindre ces objectifs, nous avons adopté une démarche de type enquête diagnostic, au sens défini par GRAS et CHIAVERINI (1980), similaire à celle utilisée pour le diagnostic des systèmes de culture bananière au Cameroun (DELVAUX *et al.* 1986). Cette démarche est basée sur le traitement de données collectées au niveau de la parcelle cultivée. Ces données sont relatives à l'ensemble milieu-plante-techniques, dont la variation des différentes composantes *in situ* est analysée. On conçoit donc que ce type de démarche n'envisage que la variabilité spatiale des différentes variables observées, exprimant essentiellement des différences entre les caractéristiques du milieu et de l'itinéraire technique. A ce titre, elle revêt un caractère d'analyse exploratoire car elle néglige la dimension temporelle du fonctionnement de l'agrosystème.

Dans un premier temps, des choix ont été effectués concernant les variables à étudier et les parcelles à sélectionner en vue de la constitution de l'échantillon d'enquête. Seules les parcelles cultivées en exploitations intensives ont été retenues car l'effort de recherche devait privilégier ces situations. Ces parcelles étaient en effet représentatives, à l'échelle régionale, de l'itinéraire technique le plus adéquat tel que jugé à ce moment ; par ailleurs, dans la plupart des zones écologiques, les diminutions de production ont été les plus marquées dans les systèmes de culture les plus intensifs.

Des observations préalables, rejoignant celles effectuées par les agriculteurs, ont suggéré une relation entre la baisse de fertilité et une dégradation plus rapide du système souterrain de la plante (nécroses importantes des racines et rhizomes). Compte tenu de ces observations, l'enquête diagnostic a été conduite en trois grandes étapes successives :

1 - caractérisation de l'enracinement du bananier et obser-

vation conjointe du profil cultural au champ (DELVAUX et GUYOT, 1989) ;

2 - étude des variations du potentiel de la plante en fonction du milieu et de l'itinéraire technique (enquêtes parcellaires) ;

3 - étude du complexe sol-plante-parasitisme tellurique (LORIDAT, 1989).

Les enquêtes parcellaires ont été conduites de la manière suivante :

1 - sélection de 124 parcelles d'enquête (préférentiellement en 2^e ou 3^e cycle de culture) représentatives des diverses situations écologiques et techniques et toutes caractérisées par une utilisation intensive du sol. Le tableau 1 présente schématiquement les variations globales du milieu dans les bananeraies intensives de la Martinique.

2 - dans chaque parcelle, les opérations suivantes ont été réalisées :

- choix aléatoire de 20 bananiers au stade fleurs-mains femelles découvertes ;

- mesure, sur chaque bananier, des critères suivants : circonférence du faux-tronc à 1 m du sol, nombre de mains et de doigts femelles de l'inflorescence, hauteur du plant et du rejet axial, nombre de feuilles vivantes ;

- échantillonnage foliaire (échantillon APFD - FIII - MARTIN-PREVEL, 1980) et prélèvement de sol (0-25 cm) au pied de chaque bananier, à des fins d'analyses ;

- appréciation agronomique au niveau de la parcelle (carences minérales, engorgement, etc.) ;

- estimation des nécroses des racines et rhizomes des rejets ;

- estimation des dommages dus au charançon, *Cosmopolites sordidus*, (observations réalisées au stade récolte) ;

- relevé de l'itinéraire technique de la parcelle et de son historique.

3 - Traitement des données recueillies par analyses multivariées : analyse en composantes principales (ACP), analyse

TABLEAU 1 - Variations globales du milieu en bananeraies martiniquaises.

Zone géographique	Altitude (m)	Pluviométrie annuelle (mm)	Sols	
			roche-mère (GRUNEVALLD, 1961)	classification (C.P.C.S., 1967)
Nord	20-150	2000-2500	cendres et ponces récentes	soils peu évolués
	150-270	2900-3300		soils peu évolués, andiques
	270-360	3600-4200		andosols désaturés
Centre, est	> 190	2700-3000	tuffs andésitiques	andosols désaturés
	150-190	2600-2800		soils bruns andiques
	50-150	2200-2500		soils bruns eutrophes ou acides
Centre, sud	< 150	1800-2300	conglomérat de base	soils ferrallitiques faiblement désaturés à (B) rajeuni
Sud	< 100	1300-1700	alluvions, conglomérats	soils vertiques, vertisols

factorielle des correspondances (AFC), segmentation.

LE MILIEU

Les conditions pédologiques et climatiques de la Martinique ont été décrites par plusieurs auteurs (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965 ; GUILLEMOT *et al.*, 1973). Le tableau 1 en résume succinctement la variabilité.

Dans le nord de l'île, sous climat tropical humide, les sols dérivent de cendres et ponces récentes et se distribuent selon une topoclimoséquence sol peu évolué → andosol, à altitude et pluviométrie croissantes. Il s'agit de sols de texture sableuse à sablo-limoneuse à charge graveleuse élevée (20-35 de p. 100 d'éléments > 2 mm). Dans les zones centre et centre-est de l'île, également à climat tropical humide, les sols dérivent essentiellement de tuffs andésitiques répartis selon une chronotopoclimoséquence andosol → sol brun andique - → sol brun rouille à halloysite, à altitude et pluviométrie décroissantes. Sur des matériaux plus anciens (conglomérats de base), les sols sont argileux et compacts et présentent des caractères fersiallitiques à ferrallitiques («ferrisols» décrits par COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965). Dans le sud de l'île, le climat est nettement plus contrasté (saison sèche marquée) : les sols dominants sont de type vertique.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Schématiquement les données recueillies peuvent être regroupées en trois lots concernant (figure 1) :

- la plante : résultats agronomiques (critères d'estimation du potentiel), teneurs foliaires, notations de symptômes, état du système racinaire ;
- le sol : caractéristiques physiques et chimiques ;
- les techniques culturales et l'historique des parcelles.

Le climat, apparemment non pris en compte, influence considérablement la distribution spatiale des sols en Martinique, de telle sorte qu'il existe, dans ce contexte, une relation très étroite entre ces deux paramètres du milieu (tableau 1).

Les données recueillies ont été traitées en quatre phases : a) description des variables et relations mutuelles ; b) variation du potentiel en fonction du milieu ; c) recherche des facteurs explicatifs du potentiel de la plante ; d) diagnostic par zone écologique.

DESCRIPTION DES VARIABLES ET RELATIONS MUTUELLES

Les premiers traitements ont consisté en une description précise de chacune des variables (histogrammes, graphi-

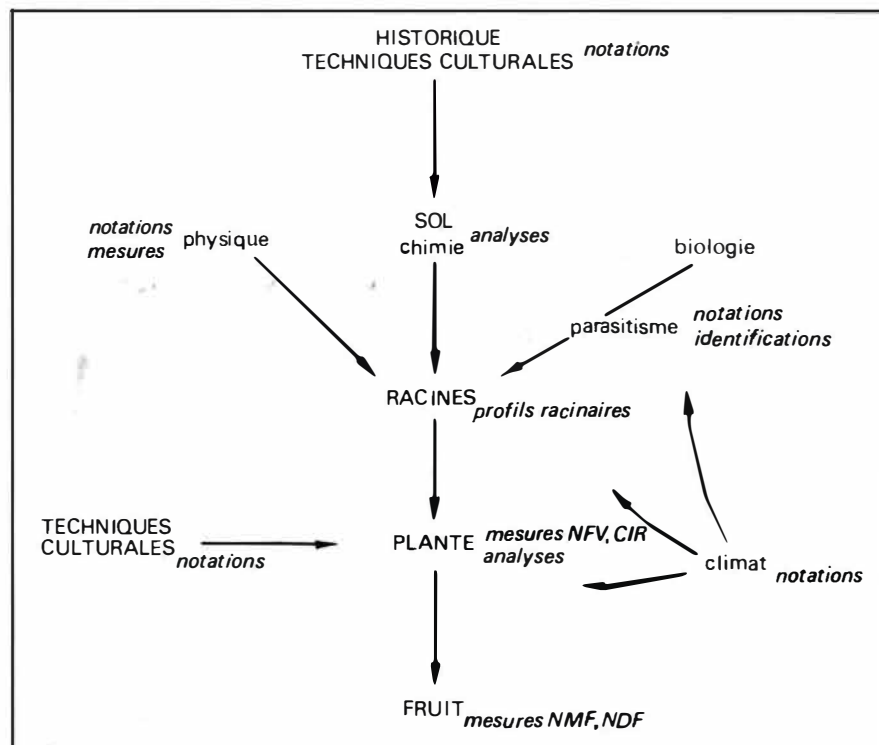


FIGURE 1 - Schéma de présentation des types de données recueillies au cours de l'enquête diagnostique.

NFV : nombre de feuilles vivantes ; CIR : circonférence du faux-tronc à 1 m ; NMF : nombre de mains femelles ; NDF : nombre de doigts femelles.

ques). On a ensuite cherché à décrire les relations entre certains «paquets» de variables par ACP et AFC.

Résultats agronomiques.

Des différences importantes ont été mesurées, malgré le niveau technique élevé des exploitations étudiées. Les histogrammes de fréquence, présentés à la figure 2, illustrent en effet l'importance de la variation des valeurs moyennes parceliaires (bananiers APFD) mesurées pour l'échantillon d'enquête :

- circonférence du faux-tronc à 1 m : 50-79 cm ;
- nombre de mains femelles : 7,5-12,5 ;
- nombre de doigts femelles : 110-225 ;
- rapport doigts/mains : 14-18,8 ;
- nombre de feuilles vivantes : 9,5-17,5 (non illustré).

Les analyses de ces variables en composantes principales (ACP), non illustrées, mettent en évidence un groupement des parcelles selon les valeurs des critères de potentiel et leur hétérogénéité, mesurée par leur coefficient de variation. Les groupes suivants ont pu être décrits :

- les parcelles à potentiel faible, plutôt homogènes : andosols dérivés de cendres et ponces de haute altitude (300-400 m) ;
- les parcelles à potentiel faible, très hétérogènes : sols peu évolués dérivés de cendres et ponces avec systèmes monoculturels ; ferrisols ;

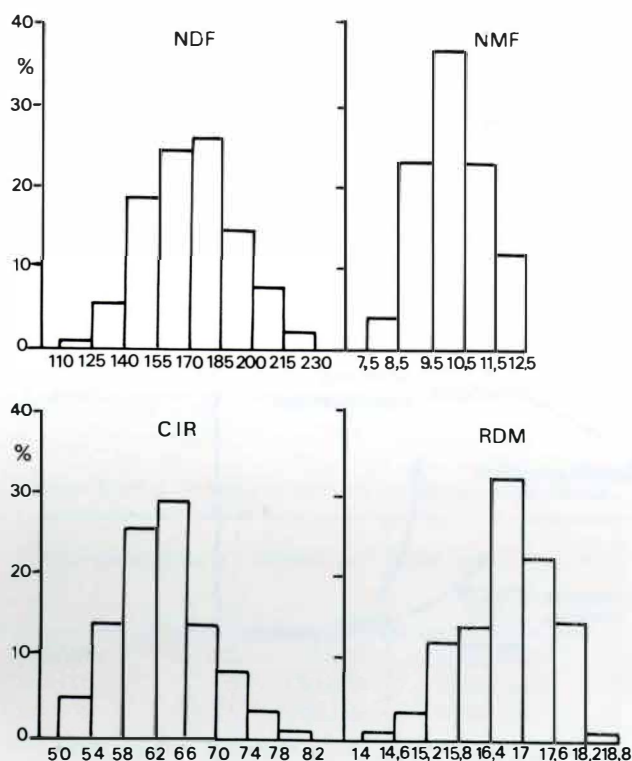


FIGURE 2 - Histogrammes de fréquence des valeurs moyennes parceliaires des divers critères agronomiques.

(20 bananiers/parcelle ; 124 parcelles).

NDF : nombre de doigts femelles ; NMF : nombre de mains femelles ; CIR : circonférence du faux-tronc à 1 m ; RDM : rapport du nombre de doigts au nombre de mains (femelles).

- les parcelles à potentiel faible à moyen, homogènes : alluvions vertiques, quel que soit le précédent cultural ;

- les parcelles à haut potentiel, homogènes : sols peu évolués dérivés de cendres et ponces (altitude < 150 m) avec précédent ananas ou jachère.

Les ACP montrent également que les sols bruns andiques dérivés de tuffs apparaissent associés à de hautes valeurs de potentiel, même en système monoculturel. Abstraction faite du précédent cultural, l'homogénéité des valeurs des critères de potentiel semble révélatrice du niveau de technicité.

Etat nutritif des bananeraies.

Bien que dans certains sites, des symptômes de carence aient été observés sur bananiers au champ (par exemple déficience potassique dans les andosols dérivés de cendres et ponces et déficience magnésienne dans les sols brun rouille à halloysite), on n'a pas pu mettre en évidence de carences nutritionnelles sur la base des résultats d'analyse foliaire, carences généralement caractérisées par des antagonismes entre éléments minéraux (MARTIN-PREVEL et MONTAGUT, 1966 ; LACOEUILHE et MARTIN-PREVEL, 1971). Cependant, les analyses multidimensionnelles réalisées sur les résultats d'analyses foliaires ont mis en évidence l'existence de trois grands groupes de parcelles.

- Dans un premier groupe, les analyses foliaires montrent des teneurs élevées en éléments nutritifs (N, P, K, Ca, Mg), associées aux sols andiques dérivés de tuffs (quel que soit le système de culture), aux sols dérivés de cendres et ponces en condition de précédent cultural autre que le bananier, et aux alluvions vertiques.

- Un second groupe montre des teneurs foliaires plus faibles, quel que soit l'élément : la plupart des nutriments sont concernés, sans qu'il y ait phénomène de compensation, comme dans les carences typiques (MARTIN-PREVEL et MONTAGUT, 1966 ; LACOEUILHE et MARTIN-PREVEL, 1971). Ce groupe est exclusivement associé aux sols dérivés de cendres et ponces, en système monoculturel et quelle que soit l'altitude. Des traitements complémentaires (ACP, AFC) montrent que ce groupe est associé à des valeurs plus faibles des critères de potentiel, un nombre réduit de feuilles vivantes, un «juppage» important des feuilles basses (rang VIII, IX, X et XI), la présence de «bandes anarchiques» nécrosées à la base des limbes des 3 à 4 dernières feuilles érigées. Ces observations sont associées à de sévères contraintes s'exerçant sur le système racinaire : celles-ci sont d'ordre parasitaire et, en altitude, également d'ordre physique (anoxie) (DELVAUX et GUYOT, 1989). L'individualisation de ce groupe ne correspond pas à des différences de fertilisation. Ces observations suggèrent (1) une assimilation moindre des éléments nutritifs lorsque le système souterrain de la plante est soumis à de fortes attaques parasitaires et (2) une diminution de l'efficacité des engrais dans ces cas-là.

- Un dernier groupe, peu représenté, est caractérisé par des teneurs foliaires plus élevées en Al, Fe et Mn. Il correspond à des sols plus acides (ferrisols, sols brun rouille à halloysite). Ces caractéristiques apparaissent liées à la

présence de bordures marginales noires sur les feuilles les plus âgées.

VARIATION DU POTENTIEL EN FONCTION DU MILIEU

Le nombre de doigts ♀ peut être grossièrement considéré comme estimateur du potentiel fixé lors de la différenciation florale (critère de développement). La circonférence du faux-tronc à 1 m du sol peut être regardée comme indicateur d'un potentiel de grossissement des fruits (critère de croissance). Dans certaines conditions écologiques, certains auteurs ont suggéré l'intérêt de ce critère comme indicateur prévisionnel du rendement (LOSSOIS, 1963) et mis en évidence une relation entre la circonférence du faux-tronc, la surface foliaire et le nombre de doigts (SIMMONDS, 1966 ; TURNER, 1980). Bien que la signification de ces critères en terme de rendement ait été récemment discutée (PERRIER et THIBAUD, 1989), on estimera ici que ces critères donnent une image suffisante, dans le cadre d'une enquête globale.

Pour l'ensemble de l'échantillon d'enquête, il existe une relation, mais très lâche, entre le nombre de doigts ♀ et la circonférence du faux-tronc à 1 m (non illustré). Leur faible corrélation est liée, entre autres, à la diversité des milieux écologiques : en effet, des relations plus étroites apparaissent entre ces deux critères pour chaque type de milieu (résultat non illustré).

Les variations de ces critères en fonction de l'altitude (liée au climat, voir tableau 1) sont illustrées dans les graphiques de la figure 3 où le type de sol est utilisé comme identificateur. Globalement, on peut observer une diminution du nombre de doigts ♀ aux altitudes plus élevées (figure 3a), altitudes correspondant à une pluviométrie plus élevée, des températures et durées d'ensoleillement moindres et un type de sol particulier (andosols dérivés de cendres et ponces). Il apparaît donc que le milieu (sol, climat) influence considérablement le potentiel de production de la plante. La figure 3a permet également de visualiser, à altitude donnée, des variations du potentiel en fonction de certains facteurs techniques (buttage, précédent cultural, voir plus loin). La variation de la circonférence avec l'altitude (figure 3b) apparaît beaucoup moins nette et la comparaison des deux figures montre bien que ces deux critères agronomiques ne répondent pas de façon identique aux différentes variables du milieu. Dans le cas des sols vertiques par exemple, les bananiers montrent des nombres de feuilles vivantes très élevés (non illustré) pour des circonférences réduites (figure 3b) : il est possible que ces plants aient une capacité réduite à remplir leurs 170-180 doigts ♀, d'où une surestimation de leur productivité par ce dernier critère. Dans une enquête de ce type, ces remarques générales attirent l'attention sur :

- l'importance de pouvoir mieux approcher les potentialités des milieux par une meilleure connaissance des composantes du rendement en précisant le rôle des facteurs intervenant sur le nombre de doigts et le grossissement des fruits ;

- le risque de confusion d'effets et parfois d'incidences contradictoires de certains facteurs sur le potentiel, suivant les conditions du milieu.

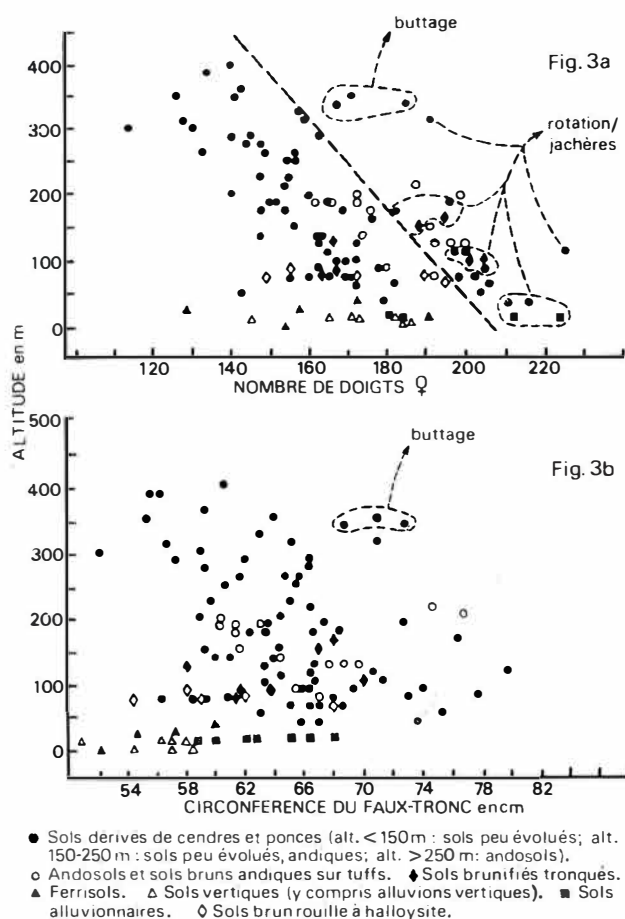


FIGURE 3 - Relation entre l'altitude (m), et les valeurs moyennes (20 bananiers/parcelle) des critères de potentiel mesurés au stade fleurs-mains femelles découvertes : (a) nombre de doigts ♀ ; (b) circonférence du faux-tronc à 1 m.

Afin de tenter de préciser l'effet des propriétés physiques des sols et du climat sur la potentialité de la culture, on peut comparer les valeurs du nombre de doigts ♀ mesurées dans des parcelles en rotation culturale ou à précédent jachère, de manière à minimiser, voire négliger, les effets du parasitisme tellurique, variables en fonction du milieu (DELVAUX et GUYOT, 1989 ; LORIDAT, 1989). Une telle comparaison n'est cependant valable que dans le cadre de l'échantillon d'enquête concerné ici. Pour l'ensemble de ces parcelles, la figure 4 montre une large gamme de variation du nombre de doigts ♀ (150-230 doigts). Selon ce schéma, les estimations du potentiel de la plante, fixé lors de la différenciation florale, sont les plus faibles dans les ferrisols alors que les sols peu évolués, dérivés de cendres et ponces, apparaissent, dans cet échantillon, associés aux valeurs de critères de potentiel les plus élevées, sous réserve d'un précédent cultural autre que celui de la culture bananière. Pour des itinéraires techniques globalement similaires, il paraît vraisemblable que les propriétés physiques défavorables des ferrisols (compacité élevée, faible exploration du sol par les racines : voir DELVAUX et GUYOT, 1989) contribuent à ces différences. Il faut également souligner que les sols plus argileux (sols vertiques, sols brun rouille à halloysite) se situent au bas de cette échelle de comparaison. Dans le cas des andosols, les propriétés physiques sont favorables à l'enracinement de la plante (porosité élevée, faible résistance mécanique à la pénétration : voir DEL-

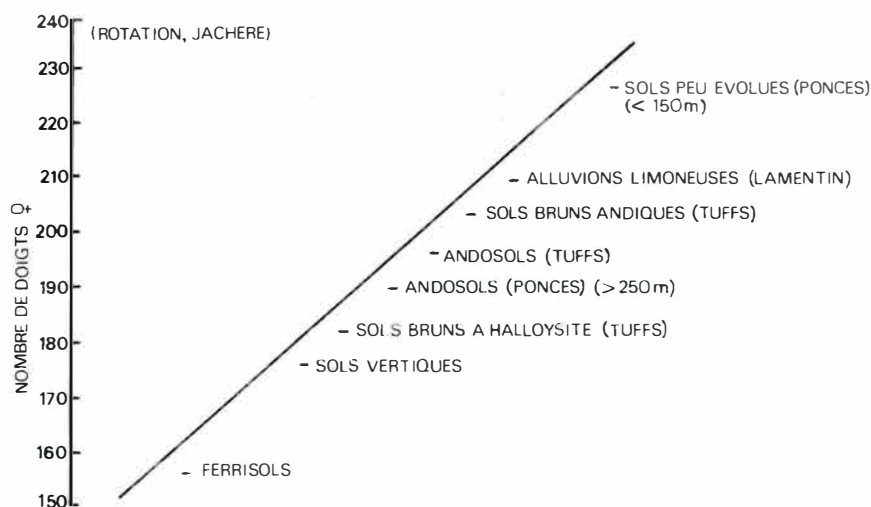


FIGURE 4 - Schéma illustrant la variation du nombre de doigts ♀ de l'inflorescence des bananiers (moyennes parcelles, 20 bananiers/parcelle) pour des parcelles à précédent cultural différent de celui de la culture bananière (jachère ou rotation culturale) : relation avec le milieu.

VAUX et GUYOT, 1989). Les niveaux de potentiel mesurés ici sont probablement liés à des conditions climatiques moins favorables (pluviométrie plus élevée, température et insolation plus faibles).

Ces observations montrent qu'il est difficile de faire la part d'influence entre facteurs pédologiques et climatiques au niveau d'une enquête de ce type. Les différences de potentiel, estimé par le nombre de doigts ♀, seront grossièrement considérées ici comme révélatrices des différences des potentialités des divers milieux physiques pour la culture bananière, les facteurs d'ordre parasitaire étant quasiment négligés. L'estimation de ces potentialités est cependant imparfaite, le schéma d'élaboration du rendement dans chaque type de milieu (sol-climat) étant mal connu.

RECHERCHES DES FACTEURS EXPLICATIFS DU POTENTIEL

La troisième phase du traitement de données a consisté en la recherche des facteurs explicatifs des résultats agronomiques. Les résultats des analyses multidimensionnelles de type ACP et AFC ont surtout montré l'inexistence de causes nettes et la multitude des particularités et des interactions possibles, sans pouvoir conclure de façon sûre. Cela nous a conduit à utiliser un outil qui permet de prendre en compte ces interactions : la segmentation. Cette méthode peut être considérée comme une alternative à la régression multiple ou à l'analyse discriminante lorsque les variables ne sont pas toutes quantitatives, ce qui est le cas ici. Elle peut être brièvement décrite de la manière suivante (BACCINI, 1975).

Pour une population donnée (ici, 124 parcelles d'enquête), la segmentation permet d'expliquer une variable de nature quelconque Y par un ensemble de variables $X_1 \dots X_p$ catégorielles, c'est-à-dire à plusieurs modalités, en décrivant leur hiérarchie en fonction de leur liaison avec la variable Y à chaque étape de la segmentation. La procédure de segmentation engendre sur la population initiale ou sur toute autre sous-population ($2^{p-1} - 1$) dichotomies définies

par toutes les variables X_p . Elle consiste ensuite à calculer pour chaque dichotomie un indicateur de liaison avec Y et à retenir la variable X_1 et la dichotomie de ses modalités qui optimise cet indicateur, qui, dans notre cas, est chiffré par la valeur du χ^2 calculée à partir du tableau de contingence (X, Y).

Plusieurs segmentations ont été réalisées pour expliquer les résultats agronomiques (nombre de doigts ♀, circonférence du faux-tronc, nombre de feuilles vivantes) et sont illustrées aux figures 5, 6, 7 et 8, la codification des variables étant présentée au tableau 2. Les histogrammes présentés à chaque arborescence dichotomique illustrent la distribution de fréquence du critère agronomique retenu selon les modalités ordonnées définies au tableau 2, pour la population initiale ou toute sous-population discriminée. La valeur du χ^2 est également présentée à chaque noeud ou dichotomie.

Typiquement, une segmentation peut se « lire » de la manière suivante. Dans le cas de la figure 5 par exemple, l'histogramme de fréquence du nombre de doigts ♀ est représenté selon les 8 modalités ordonnées décrites dans le tableau 2. La variable la plus discriminante, pour ce critère de potentiel, est le type du sol ($\chi^2 = 45,3$) qui permet de distinguer nettement, d'une part, les andosols dérivés de cendres et ponces (modalité 7 de la variable sol ; voir tableau 2), sols plus généralement associés à de faibles valeurs du nombre de doigts ♀ (moins de 150 doigts, voir tableau 2), et, d'autre part, les autres sols, confondus, où la distribution des valeurs du nombre de doigts ♀ paraît plus uniforme. Pour cette seconde sous-population, l'altitude est ensuite la variable la plus discriminante : des valeurs moindres du nombre de doigts (inférieures à 160 doigts) sont associées aux altitudes supérieures à 200 m. Pour les sols d'altitude inférieure à 200 m, le niveau de nécroses racinaires est la variable la plus discriminante ($\chi^2 = 26,9$) : les valeurs moindres du nombre de doigts sont plutôt associées à des niveaux de nécroses très importants (modalités 7 et 8 de la variable « niveau de nécrose », qui concernent 12 parcelles). L'interprétation de la segmentation se poursuit de cette manière, pour chaque sous-population discriminée et

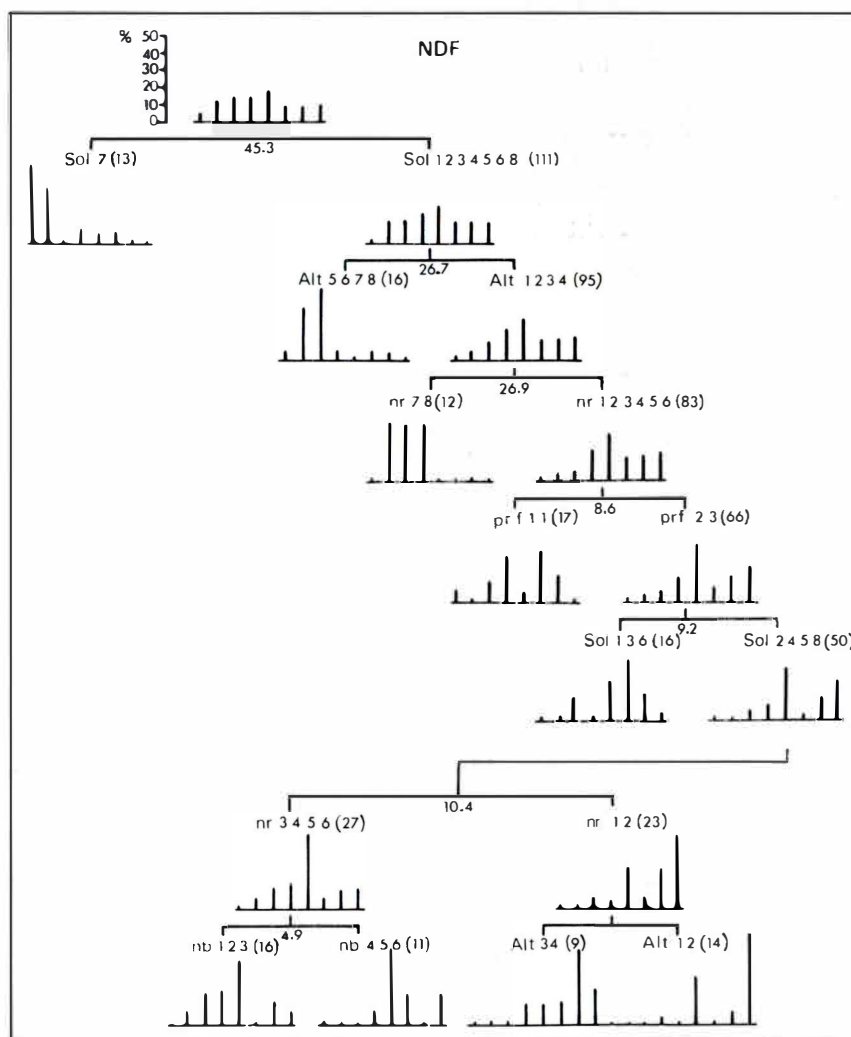


FIGURE 5 - Segmentation réalisée sur le nombre de doigts ♀ (valeurs moyennes parcelaires). La valeur du χ^2 est précisée à chaque noeud ou dichotomie. Le type de modalité de la variable discriminante et le nombre de parcelles définissant les sous-populations discriminées sont également indiqués.

à chaque dichotomie, à l'aide du tableau 2.

Des résultats intéressants se dégagent de ces traitements et permettent de hiérarchiser l'importance des facteurs.

1) Le sol et l'altitude apparaissent comme des variables très discriminantes, les deux paramètres étant corrélés. Il semble que ces deux variables aient la même importance pour le nombre de doigts (χ^2 sol = 45,3 ; χ^2 alt. = 43,6 ; figures 5 et 6) et le nombre de feuilles vivantes (χ^2 sol = 43,9 ; χ^2 alt. = 42,2 ; figure 8), alors que pour la circonférence (figure 7) le sol est primordial. Ces observations confirment l'importance particulière des facteurs du milieu (sol, climat, altitude) sur les résultats agronomiques mesurés au cours de l'enquête et montrent la nécessité d'entreprendre des études dynamiques permettant de préciser le schéma d'élaboration du rendement dans les diverses conditions écologiques de la Martinique.

2) Les nécroses racinaires (nr) jouent ensuite un rôle prépondérant, et, à un degré moindre, les nécroses sur rhizomes (nb). Des «niveaux» de nécroses élevés apparaissent en effet très limitants pour les trois critères agronomiques

étudiés. Il faut cependant souligner que le caractère limitant de ces nécroses est subordonné aux conditions du milieu (sol, climat, altitude), apparemment déterminantes pour l'expression du potentiel.

3) Des variables comme la profondeur d'enracinement (prf), le buttage (but), le précédent cultural (pre) jouent également un rôle important : elles apparaissent en plus des variables de nécroses racinaires ou «bulbaires» (nr, nb) et n'en sont donc pas de simples synonymes. L'effet majeur du précédent cultural sur la circonférence (figure 7) apparaît nettement dans le cas des sols de texture plus grossière (sols dérivés de cendres et ponces, andosols et sols bruns andiques dérivés de tuffs). Il est intéressant de noter, dans le cas d'une rotation ou jachère (pre2), la valeur discriminante du cultivar (var) qui semble indiquer un potentiel plus élevé de la «Grande Naine» par rapport au «Poyo» dans ces situations. En système monocultural (pre1), le caractère très limitant des nécroses racinaires (nr) sur la circonférence est manifeste (figure 7). Le buttage (but3) semble présenter des effets positifs dans les andosols d'altitude dérivés de cendres et ponces (figures 7 et 8). Le niveau d'infestation en charançons peut aussi expliquer certains particularismes

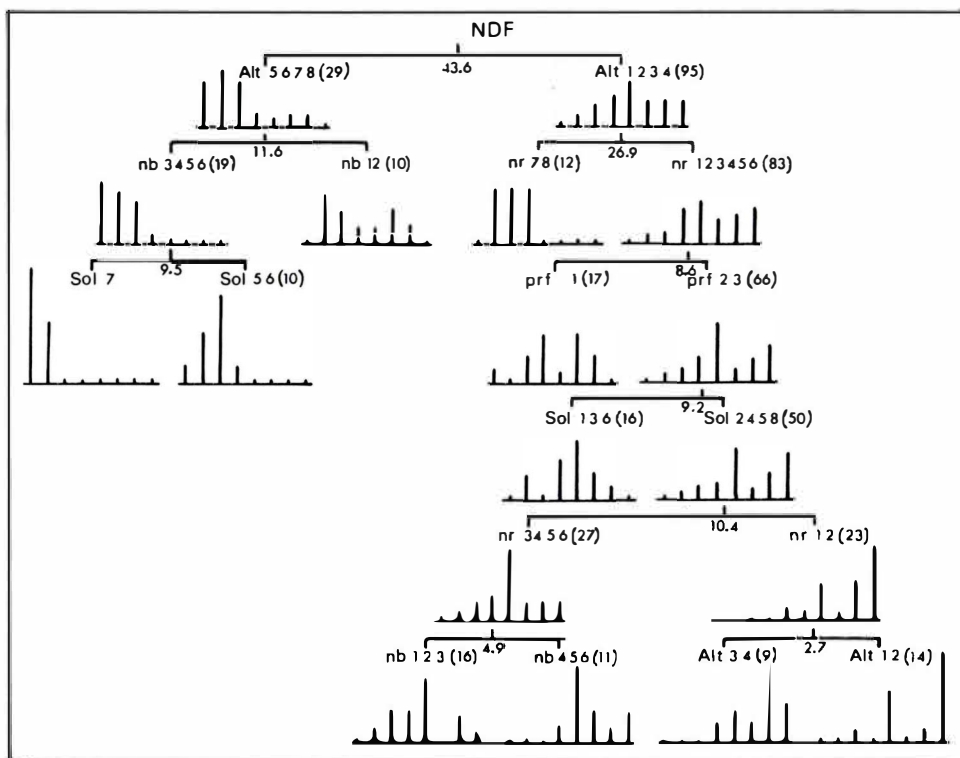


FIGURE 6 - Segmentation réalisée sur le nombre de doigts ♀ en forçant l'altitude en première dichotomie. Précision de la valeur χ^2 , à chaque dichotomie, de la modalité de la variable discriminante et du nombre de parcelles discriminées à chaque dichotomie.

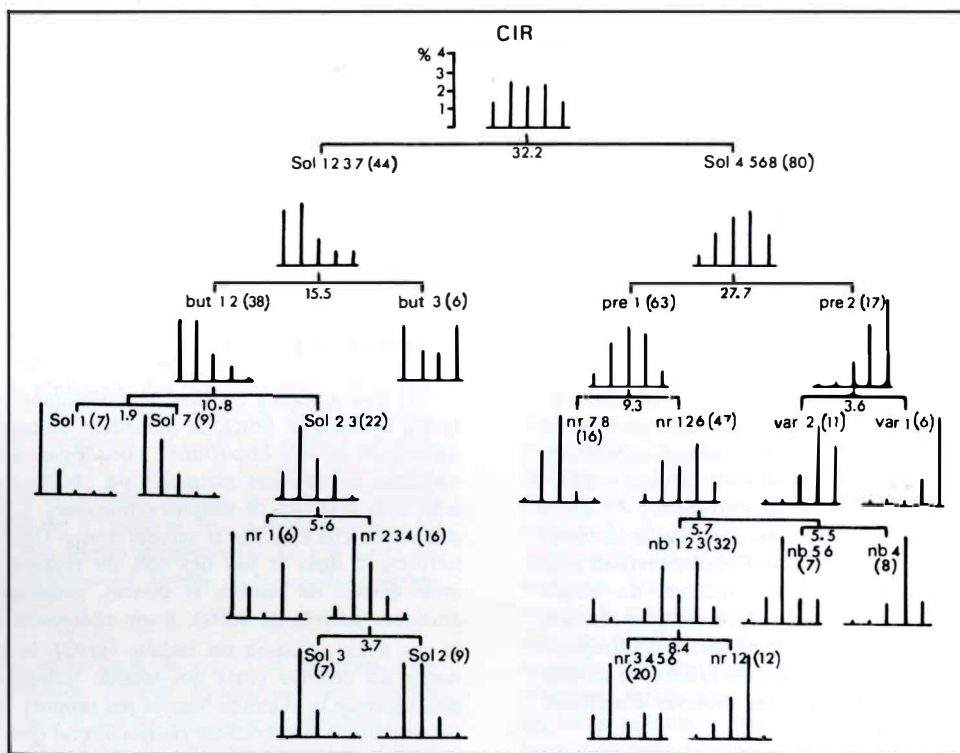


FIGURE 7 - Segmentation réalisée sur la circonférence du faux-tronc à 1 m (valeurs moyennes parcelles). Précision, à chaque dichotomie, de la valeur du χ^2 , de la modalité de la variable discriminante et du nombre de parcelles discriminées.

TABLEAU 2 - Codification des variables et de leurs modalités.

Variable	Code	Modalités
type de sol	sol	1 (sols vertiques) 2 (sols alluvionnaires argileux et ferrisols) 3 (sols brun rouille à halloysite) 4 (andosols et sols bruns andiques sur tuffs) 5, 6, 7 sols dérivés de cendres et ponces 5 (sols peu évolués, alt. < 150 m) 6 (sols peu évolués, andiques, alt. 150-250 m) 7 (andosols, alt. > 250 m) 8 (sols brunifiés tronqués).
altitude (m)	alt	1 (< 50) 2 (50-100) 3 (100-150) 4 (150-200) 5 (200-250) 6 (250-300) 7 (300-350) 8 (> 350)
nécroses racinaires	nr	8 modalités ordonnées correspondant à une importance croissante (1 → 8) des nécroses corticales sur racines
nécroses sur rhizomes	nb	6 modalités ordonnées correspondant à une importance croissante (1 → 6) des nécroses corticales sur rhizomes
buttage	but	3 modalités ordonnées : 1 (absent) 2 (peu intense) 3 (très intense)
profondeur d'enracinement	prf	1 (0-25) 2 (25-35) 3 (35-45)
précédent cultural	pre	1 (banane) 2 (autre : jachère, rotation)
cultivar	var	1 (Grande Naine) 2 (Poyo)
surface de prospection racinaire	sur	surface de prospection calculée sur le plan vertical des profils culturaux (dm ²) : 1 (< 10) 2 (10-15) 3 (15-25) 4 (> 25)
alternance des nématicides	ter	1 (pas d'alternance) 2 (alternance systématique) 3 (périodes d'utilisation nettement marquées) 4 (pas applicable : précédent ...)
coefficient d'infestation en charançons	chr	3 modalités ordonnées : 1 (< 10) 2 (10-30) 3 (> 30)
nombre de doigts ♀	NDF	8 modalités ordonnées : 1 (≤ 140) 2 (≤ 150) 3 (≤ 160) 4 (≤ 170) 5 (≤ 180) 6 (≤ 190) 7 (≤ 200) 8 (> 200)
circonférence du faux-tronc	CIR	5 modalités ordonnées : 1 (≤ 58) 2 (≤ 62) 3 (≤ 66) 4 (≤ 70) 5 (> 70)
nombre de feuilles vivantes	NFV	5 modalités ordonnées : 1 (≤ 12) 2 (≤ 13,5) 3 (≤ 14,5) 4 (≤ 15,5) 5 (> 15,5)

(figure 8).

Ces observations font ressortir l'importance de l'influence du milieu, de la pression parasitaire affectant le système souterrain de la plante et de certains choix techniques sur les résultats agronomiques de la culture. L'importance du niveau de nécroses (racines et rhizomes) sur les estimations du potentiel de la plante a justifié la recherche des facteurs associés à cette variable. La figure 9 illustre une segmentation réalisée pour étudier ces facteurs, codifiés au tableau 2. L'importance discriminante du facteur sol ressort pleinement et permet de distinguer (a) des sols à niveaux de nécroses plus élevés, c'est-à-dire les sols dérivés de cendres et ponces, quelle que soit leur altitude, (b) des sols associés à des niveaux de nécroses plus faibles, parmi lesquels les sols vertiques et alluvionnaires, qui se distinguent par des niveaux de nécroses particulièrement faibles (DELVAUX et GUYOT, 1989). Pour la sous-population des sols dérivés de cendres et ponces, le système monocultural est associé à des nécroses plus importantes. Dans ce système, la pratique de l'alternance des produits nématicides sur des périodes très marquées (ter3) ne semble pas supérieure à l'absence totale d'alternance (ter1) : l'inter-

prétation de cette observation demeure cependant délicate car la première pratique (ter3) est principalement suivie dans les exploitations les plus intensives où les problèmes parasitaires sont particulièrement aigus et les niveaux de nécroses forcément élevés. Quelle que soit la politique de l'exploitation en matière d'application des nématicides, une surface de prospection du système racinaire dans le sol (sur) plus élevée semble atténuer l'importance des nécroses. Ce paramètre est lié au mode de préparation des terres (labour, sillonnage), à la profondeur de ces travaux et aux buttages parfois intensifs réalisés dans ces sols (DELVAUX et GUYOT, 1989).

La recherche des facteurs associés aux nécroses racinaires a également été effectuée par AFC dont le résultat est schématisé à la figure 10. Ce schéma confirme les observations précédentes. Les niveaux de nécroses racinaires sont particulièrement faibles dans les sols vertiques, malgré une fréquence d'apports nématicides (N), très faible (une application par an). L'effet de la rotation culturale et de la jachère sur l'état sanitaire des racines est bénéfique dans les autres types de sols. Les niveaux de nécrose les plus élevés

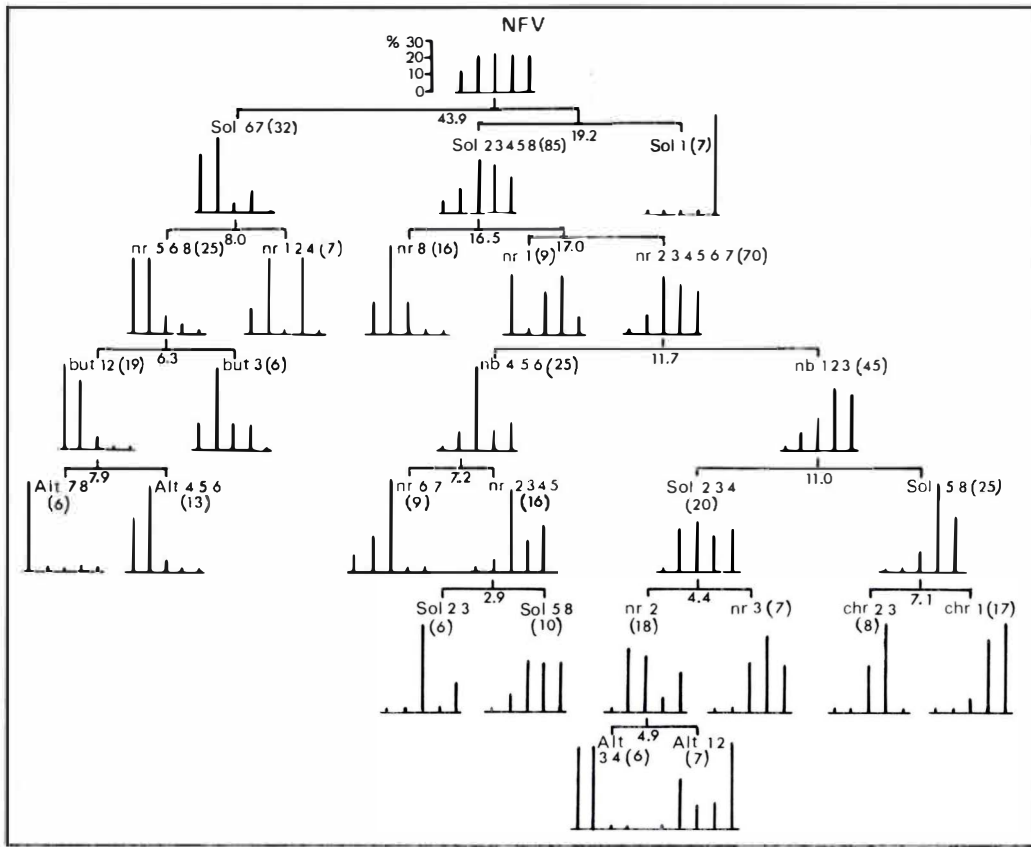


FIGURE 8 - Segmentation réalisée sur le nombre de feuilles vivantes (valeurs moyennes parcellaires). Précision, à chaque dichotomie, de la valeur du χ^2 , de la modalité de la variable discriminante et du nombre de parcelles discriminées.

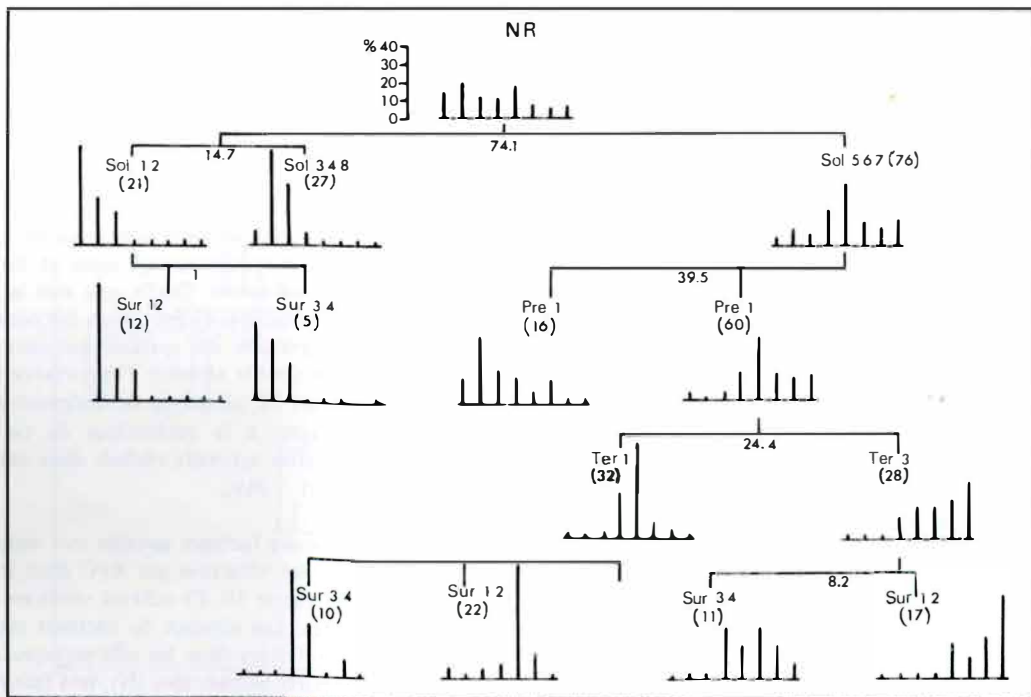


FIGURE 9 - Segmentation réalisée sur le niveau de nécroses racinaires (note parcellaire). Précision, à chaque dichotomie, de la valeur χ^2 , de la modalité de la variable discriminante et du nombre de parcelles discriminées.

(classes 7 et 8) sont associés à une utilisation monoculturale des terres, plus particulièrement dans le cas des sols développés sur cendres et ponces quelle que soit leur altitude et cela, malgré une fréquence d'application des produits nématicides apparemment suffisante (3 applications par an).

L'hydromorphie, même temporaire, paraît associée à des niveaux de nécroses élevés : il a été observé précédemment (DELVAUX et GUYOT, 1989) que le buttage pouvait remédier à cette situation, principalement par émission de nouvelles racines à la base du faux-tronc. En système monocultural, la replantation immédiate dans le grand interligne semble avoir un effet positif sur l'état sanitaire des racines dans les sols peu évolués dérivés de cendres et ponces. Etant donné la distribution confinée des racines après sillonnage (ibid.), il est tentant de comparer l'effet d'une telle pratique à celui d'une jachère, en raison de la faible extension du système racinaire dans le grand interligne et vraisemblablement d'un faible inoculum des parasites inféodés dans le volume de terre correspondant. Enfin, la figure 10 montre que l'effet d'une alternance systématique des produits nématicides ne semble pas inintéressant, mais demeure difficile à évaluer en fonction du type de sol.

DIAGNOSTIC PAR ZONE ECOLOGIQUE

Les différents traitements réalisés (segmentation, ACP, AFC) et l'examen des fichiers de données permettent de proposer une hiérarchie globale des facteurs limitants par zone pédoclimatique. Celle-ci est illustrée schématiquement à la figure 11. Dans les commentaires ultérieurs, le «potentiel» de la plante est estimé par le nombre de doigts ♀ : il s'agit donc du potentiel fixé lors de la différenciation florale.

Les sols argileux des zones centre-sud et sud.

Dans les sols vertiques et les ferrisols, les teneurs en argile varient entre 60 et 90 p. 100. La masse volumique des horizons superficiels et sous-jacents est généralement supérieure à 1,0 g/cm³ et peut atteindre 1,4-1,5 g/cm³ dans les sols les plus compacts. La gamme de variation du nombre de doigts ♀ apparaît étroite. Les facteurs limitants principaux sont d'ordre physique : l'hydromorphie temporaire et la compacité du matériau. Ces contraintes sont liées respectivement (1) à la présence d'une nappe (alluvions vertiques) ou de discontinuités importantes dans le profil

cultural influençant la dynamique de l'eau et (2) soit au décapage des horizons humifères ou à la non incorporation des résidus de culture (ferrisols) soit à des conditions trop humides au moment de la préparation des terres (DELVAUX *et al.*, 1989).

Une acidité élevée, associée à des teneurs foliaires importantes en manganèse apparaît également comme un facteur défavorable dans certains ferrisols, sans que l'incidence précise de ce paramètre sur le potentiel ait pu être étudiée.

Sols dérivés de tuffs andésitiques des zones centre et centre-est.

Il s'agit essentiellement des sols bruns andiques et des sols brun rouille à halloysite (ou sols bruns eutrophes ou acides, voir tableau 1). Comme discuté précédemment, les sols bruns andiques constituent des intergrades entre andosols vrais, situés à des altitudes plus élevées sous des régimes pluviométriques plus importants, et les sols brun rouille à halloysite, localisés à des altitudes plus basses.

Les sols bruns andiques présentent certains caractères liés à la présence d'allophane (porosité élevée, faible résistance mécanique à la pénétration) et sont de «texture» limoneuse au toucher. Ces sols présentent manifestement une aptitude particulière pour la culture bananière. Leurs propriétés physiques sont favorables à une exploration importante du sol par les racines du bananier (DELVAUX et GUYOT, 1989). Leurs propriétés chimiques montrent des réserves minérales importantes, une CEC suffisante et surtout une adsorption préférentielle du potassium qui peut être stocké sur le complexe d'échange, cette capacité de stockage pouvant régulariser la nutrition potassique de la plante en périodes pluvieuses (FONTAINE et DELVAUX, 1989).

Compte tenu de ces caractéristiques, les valeurs mesurées du nombre de doigts ♀ ne semblent pas refléter le potentiel que l'on pourrait espérer dans ces sols. La gamme de variation du nombre de doigts ♀ est faible (figure 11). Le facteur limitant principal est la faible épaisseur des horizons humifères (horizons A) liés aux décapages pratiqués autrefois lors des replantations («remodelages»). L'acidité du sol peut être un facteur limitant le potentiel et est systé-

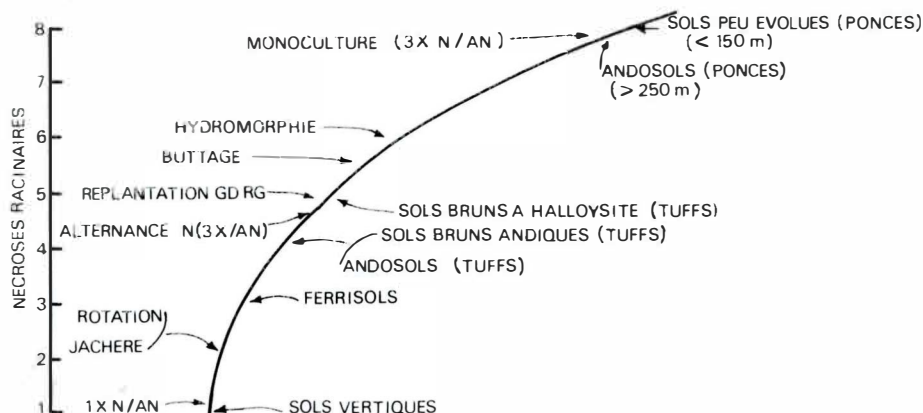


FIGURE 10 - Schéma illustrant les facteurs associés à l'importance des nécroses racinaires.

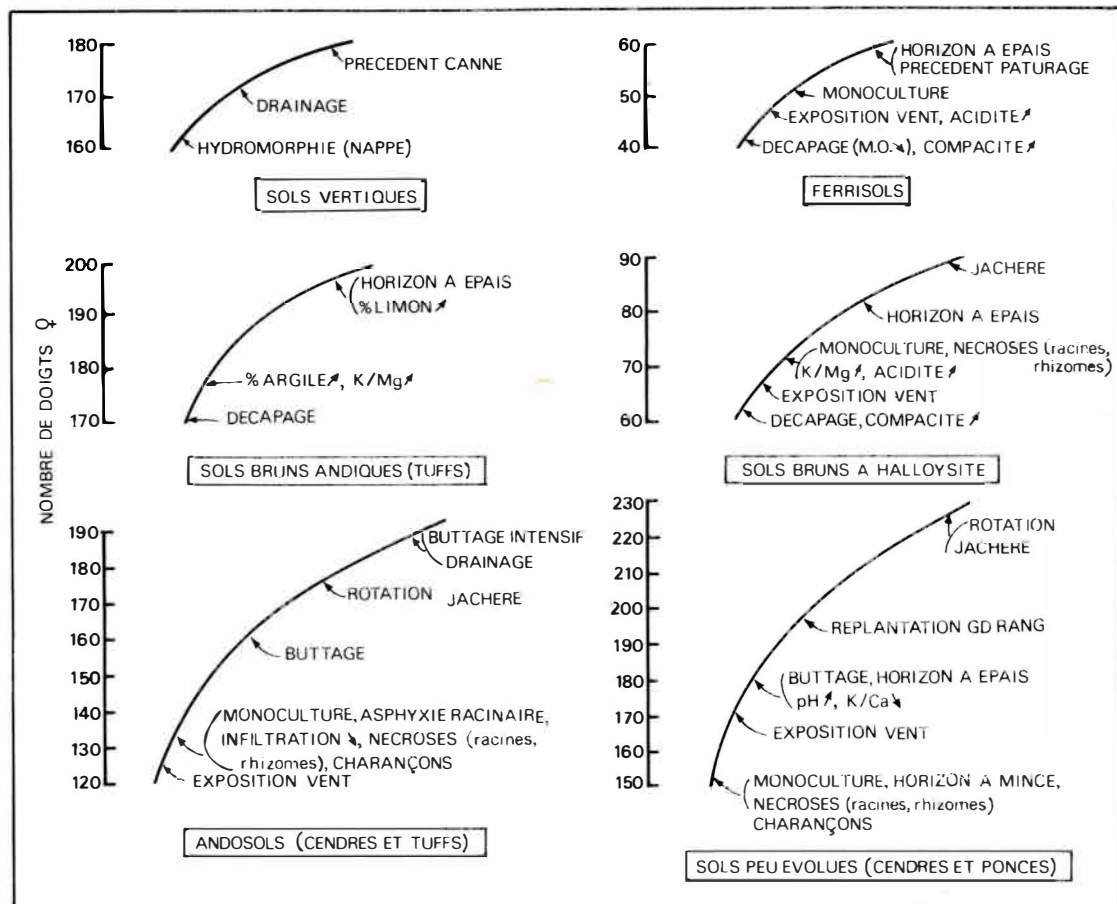


FIGURE 11 - Schémas illustrant la hiérarchie des facteurs limitants dans chaque zone pédoclimatique.

matiquement corrélée, dans ces sols, à des rapports K/Mg élevés. Une augmentation du volume de terre exploré par les racines (plantation par trouaison, horizon A épais) semble associée, localement, à des potentiels plus élevés.

Les sols brun rouille à halloysite présentent des teneurs en argile élevées (60-80 p. 100). La masse volumique des horizons superficiels est généralement comprise entre 0,95 et 1,05 g/cm³ et peut atteindre 1,3-1,4 g/cm³ dans les horizons compactés sous-jacents. La gamme de variation du nombre de doigts ♀ est relativement faible. Les facteurs limitants principaux sont liés à la compacité du matériau, qui peut entraîner, dans certains cas, une anoxie des racines secondaires et du chevelu racinaire. Cette compacité est liée à la conjonction de plusieurs facteurs : faible taux de matière organique dans le sol (décapage des horizons humifères et/ou non incorporation des résidus de culture), conditions trop humides au moment de la préparation des terres.

Un excès relatif du potassium par rapport au magnésium dans le sol (rapport K/Mg élevé) peut localement entraver une nutrition magnésienne correcte des bananiers : des rapports K/Mg élevés semblent plutôt associés à des valeurs de pH plus faibles.

Une forte intensité des nécroses sur racines et rhizomes, associée à l'utilisation monoculturelle des terres, limite le potentiel de la plante dans les sols brun rouille à halloysite. Les facteurs associés aux potentiels élevés sont la rotation

culturelle, ou la pratique de la jachère, et la présence d'horizons humifères épais à plus grande surface de prospection racinaire (sols non décapés).

Sols dérivés de cendres et ponces.

Contrairement aux autres zones pédoclimatiques, la gamme de variation du nombre de doigts ♀ est très large dans ces sols, comme l'illustre la figure 11. Deux facteurs apparaissent très limitants dans ces zones : l'utilisation monoculturelle des terres et l'exposition des parcelles aux vents dominants.

Au premier facteur sont associés : une forte intensité des nécroses sur racines et rhizomes et une infestation localement importante des rhizomes par le charançon, ces problèmes étant entre autres liés à une efficacité moindre des pesticides utilisés pour le contrôle des ravageurs. Aux altitudes plus élevées, dans la zone des andosols, l'excès d'eau climatique et l'infiltration relativement lente de l'eau dans ces sols (DELVAUX et GUYOT, 1989) favorisent l'anoxie racinaire qui s'ajoute à la pression parasitaire, expliquant vraisemblablement les très faibles niveaux de potentiel dans certaines parcelles (120-130 doigts ♀).

Dès lors, il n'est pas surprenant d'observer une association étroite entre les pratiques de rotation culturale et de jachère et l'obtention de hauts potentiels dans les sols peu évolués dérivés de cendres et ponces. A haute altitude

(andosols), le buttage et le drainage présentent également un effet marquant. même dans le cas de plantations âgées. En basse altitude (< 150 m), on a pu observer des parcelles de 2e cycle à haut potentiel suite à une replantation immédiate dans le grand interligne. Dans cette même frange d'altitude, le buttage et la présence d'horizons humifères épais n'apparaissent pas associés aux potentiels les plus élevés, vraisemblablement en raison de l'importance de la pression parasitaire dans ces sols. Enfin, des valeurs de pH élevées (pH ~ 6), associées à de faibles valeurs du rapport K/Ca dans le sol, peuvent entraver une nutrition potassique optimale de la plante. La capacité de stockage pour le potassium est en effet quasi-absente dans ces matériaux (FONTAINE et DELVAUX, 1989).

Amélioration de l'itinéraire technique. La hiérarchisation des facteurs d'influence du potentiel, établie pour chaque zone, a permis de proposer un itinéraire technique mieux adapté aux paramètres du milieu. Ces propositions ont été détaillées par ailleurs (DELVAUX *et al.*, 1989).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'analyse - très globale - de l'ensemble milieu-plante-techniques dans les bananeraies intensives de la Martinique a montré la difficulté de poser un diagnostic global sur les systèmes de culture étant donné la variabilité spatiale importante des paramètres du milieu. Ces paramètres influencent de manière prépondérante le potentiel de la plante : les divers milieux physiques semblent présenter des potentialités différentes pour la culture bananière. Le diagnostic des systèmes culturaux n'a donc pu être établi que pour chaque zone présentant une unité relative du point de vue écologique. Globalement, deux facteurs de risques majeurs pourraient expliquer la médiocre expression du potentiel de la plante : l'utilisation monoculturale des terres, associée à une pression parasitaire très élevée dans les sols à texture grossière (LORIDAT, 1989) et l'absence d'un véritable travail du sol, conduisant, dans les sols les plus argileux et les plus compacts, à une exploration limitée du sol par les racines.

Les événements cycloniques de 1979 et 1980 servent essentiellement de repères chronologiques du point de vue de la diminution de la productivité des bananeraies intensives à la Martinique. Cependant, on peut penser qu'ils ont constitué un élément révélateur de cette régression. Des re-

plantations rapides, effectuées dans de mauvaises conditions (préparation de terres humides) avec du matériel végétal affaibli, de type «tout venant», ont pu exacerber une situation de diminution lente et progressive des rendements, déjà ressentie avant ces événements dans certaines exploitations très intensives, aux dires des agriculteurs concernés.

Les deux facteurs de risque identifiés plus haut influencent le comportement du système racinaire au champ. La connaissance dynamique de ce système demeure cependant insuffisante pour une analyse exhaustive du complexe sol-appareil souterrain-plante. Des recherches complémentaires apparaissent en effet nécessaires sur les points suivants :

- le complexe sol-plante-parasite (voir LORIDAT, 1989) et la relation sol-pesticide-parasite ;

- les interactions sol-solution-racine : environnement rhizosphérique (paramètres physico-chimiques et biologiques -mycorhizes) et relations avec la physiologie de la plante entière ;

- la croissance et le développement du système racinaire en relation avec le profil cultural : évolution de la structure, diffusion de l'eau et alimentation hydrique ;

- enfin, il apparaît nécessaire d'approfondir la connaissance du schéma d'élaboration du rendement du bananier dans les divers types de milieu de la bananeraie martiniquaise. Cette démarche apporterait la dimension temporelle indispensable à la compréhension du fonctionnement de l'agrosystème. En outre, elle permettrait de préciser le diagnostic des systèmes culturaux et faciliterait l'analyse de variations ultérieures de la fertilité de ces systèmes.

REMERCIEMENTS

Cet article et celui concernant la caractérisation de l'enracinement dans les bananeraies intensives de la Martinique (DELVAUX et GUYOT, 1989) constituent une synthèse des observations réalisées dans ces exploitations d'octobre 1984 à juin 1986.

Ces observations et mesures n'auraient pu être réalisées sans la collaboration étroite des planteurs qui nous ont constamment garanti les conditions de travail les plus adéquates. Ils en sont ici vivement remerciés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACCINI (A.). 1975.
Aspect synthétique de la segmentation et traitement de variables quantitatives à modalités ordonnées.
Thèse 3e cycle, U.P.S. Toulouse.
- COLMET-DAAGE (F.) et LAGACHE (P.). 1965.
Caractérisation de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises.
Cah. ORSTOM Sér. Pédol., III (2), 91-121.
- DELVAUX (B.) et GUYOT (Ph.). 1989.
Caractérisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies intensives de la Martinique.
Fruits, 44 (12), 633-647.
- DELVAUX (B.), LASSOUDIÈRE (A.), PERRIER (X.) et MARCHAL (J.). 1986.
Une méthodologie d'étude des relations sol-plante-techniques culturales par enquête diagnostic. Application à la culture bananière au Cameroun. Synthèse des résultats.
Fruits, 41 (6), 359-370.
- DELVAUX (B.), LORIDAT (Ph.), CHEVRIER (L.) et TERNISIEN (E.). 1989.
Amélioration de la fertilité des sols et rationalisation des techniques culturales des bananeraies en Martinique. Convention régionale. Bilan 1984-1988.
IRF AJCIRAD Martinique, 50 p.

- FONTAINE (Sylvie) et DELVAUX (B.). 1989.**
Propriétés d'échange ionique de sols volcaniques de la Martinique.
Application à la fumure potassique.
Fruits, 44 (3), 123-133.
- GRAS (R.) et CHIAVERINI (J.). 1980.**
Incidences du milieu et des techniques culturales sur la longévité du lavandin «Abrial».
Ann. Agron., 31 (2), 191-218.
- LACOEUILHE (J.-J.) et MARTIN-PREVEL (P.). 1971.**
Culture sur milieu artificiel. Carences en K, Ca et Mg chez le bananier : analyse foliaire.
Fruits, 26 (4), 243-253.
- LORIDAT (Ph.). 1989.**
Étude de la microflore fongique et des nématodes associés aux nécroses de l'appareil souterrain du bananier.
Mise en évidence du pouvoir pathogène du genre *Cylindrocladium*.
Fruits, 44 (11), 587-598.
- LOSSOIS (P.). 1963.**
Recherche d'une méthode de prévision des récoltes en culture bananière.
Fruits, 18 (6), 283-293.
- MARTIN-PREVEL (P.). 1980.**
La nutrition minérale du bananier dans le monde.
Première partie.
Fruits, 35 (10), 503-518.
- MARTIN-PREVEL (P.) et MONTAGUT (G.). 1966.**
Essais sol-plante : les interactions dans la nutrition minérale du bananier.
Fruits, 21 (1), 19-36.
- PERRIER (X.) et THIBAUD (Béatrice). 1989.**
Problème d'estimation du poids de régime à partir de critères observés à la floraison.
Doc. IRFA, R. A. 89, Doc. n° 25.
- TURNER (D.W.). 1980.**
Some factors related to yield components of bananas in relation to sampling to assess nutrient status.
Fruits, 35 (1), 19-23.
- SEBILLOTTE (M.). 1978.**
Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique.
C.R. Acad. Agric. Fr., T. 64 (II), 906-914.
- SIMMONDS (N.W.). 1966.**
Bananas.
2nd edition Longman, London.

DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DE SISTEMAS DE CULTIVO INTENSIVO EN BANANERAS EN MARTINICA.

B. DELVAUX, X. PERRIER y Ph. GUYOT.

Fruits, May-Jun. 1990, vol. 45, n° 3, p. 223-236.

RESUMEN - Una encuesta diagnóstica se ha llevado a cabo en las plantaciones intensivas de Martinica con el fin de precisar los factores que contribuyen a la baja de productividad de los sistemas de cultivo. Los datos, recogidos *in situ*, conciernen el suelo, la planta, el itinerario técnico y la historia de las parcelas seleccionadas. Han sido tratados por análisis multivariados. En los sistemas intensivos estudiados, las diferencias de potencial de producción están ligadas principalmente a las condiciones ecológicas (suelo, clima, altitud) y secundariamente a las elecciones técnicas susceptibles de influenciar la eficiencia del sistema de las raíces (precedente de cultivo, acolladura, preparación de tierras, profundidad del enraizamiento). Las gamas de variación del potencial de producción son escasas en los suelos arcillosos, donde dominan las limitaciones de orden físico. En cambio, son considerables en los suelos arenosos, desarrollados sobre cenizas y piedras pómez, donde, en sistema de monocultivo, las limitaciones parasitarias que se ejercen sobre el sistema de las raíces son preponderantes. Dos factores de riesgo, variables en función del tipo de suelo, parecen limitar la fertilidad de los sistemas de cultivo : la utilización en monocultivo de las tierras y la ausencia de un verdadero trabajo del suelo.

