

Les terres de bananeraies dans la région de Kibungo au Rwanda : Résultantes du milieu physique et des systèmes de culture.

J. GODEFROY, V. RUTUNGA et A. SEBAHUTU*

avec la participation du Laboratoire de Biométrie de l'IRFA.

SOILS OF BANANAS PLANTATIONS IN KIBUNGO, RWANDA. OUTCOME OF PHYSICAL ENVIRONMENT COMBINED WITH LOCAL CROPPING SYSTEMS.

J. GODEFROY, V. RUTUNGA and A. SEBAHUTU.

Fruits, Mar.-Apr. 1991, vol. 46, n° 2, p. 109-124.

ABSTRACT - A general presentation of the physical environment in the region (geology, geomorphology, hydrography, pedology and climate) is followed by a description of the soils in banana plantations whose production is used for making beer and as a vegetable. The study covers 170 plots and 87 small holders and concerns the morphological observation of cultivation profiles and the physico-chemical characterisation of these soils. The relationship between soil fertility and several environmental (altitude, parent rock, soil group) and cultural factors were investigated. The richest soils were on ferrisols originated in schistous rock and the poorest on ferrisols coming from granite. In relation to cultural practices, soil fertility was best in the oldest plantations and in monoculture in comparison to the plots for which banana is combined with other staple crops.

LES TERRES DE BANANERAIES DANS LA REGION DE KIBUNGO AU RWANDA : RESULTANTES DU MILIEU PHYSIQUE ET DES SYSTEMES DE CULTURE.

J. GODEFROY, V. RUTUNGA et A. SEBAHUTU.

Fruits, Mar.-Apr. 1991, vol. 46, n° 2, p. 109-124.

RESUME - Après une présentation générale du milieu physique de la région (géologie, géomorphologie, hydrographie, pédologie, climat), les auteurs décrivent les sols des bananeraies dont la production de bananes est utilisée pour la fabrication de la bière et pour la consommation comme légume. Cette étude, réalisée sur 170 parcelles et 87 exploitations de type «familial», concerne l'observation morphologique de profils culturaux et la caractérisation physico-chimique des sols. Les relations entre la fertilité des terres et quelques facteurs du milieu (altitude, roche-mère, groupe de sol) ou culturaux sont étudiées. Les terres les plus riches s'observent sur les ferrisols issus de roche schisteuse et les plus pauvres sur les ferrisols formés sur granite. En relation avec les pratiques culturales, la fertilité des terres est la meilleure dans les bananeraies anciennes, ainsi que dans celles en culture monospécifique, comparées aux parcelles où le bananier est associé avec d'autres plantes vivrières.

MOTS CLEFS : Sol, fertilité, bananier, Rwanda.

CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

Avec une production de l'ordre de 2 millions de tonnes, la banane représente le produit agricole le plus important du RWANDA tant au niveau de la subsistance qu'au niveau du revenu des agriculteurs. Les deux tiers de cette production servent à la fabrication de la bière dont le rôle social est essentiel. La banane et la bananeraie sont des critères extérieurs de richesse et de liberté.

Cette production est aujourd'hui soumise à de fortes contraintes qui sont sources d'inquiétude pour l'avenir :

- des contraintes foncières liées à un très fort accroissement démographique entraînant une réduction de la superficie des

* - GODEFROY - IRFA/CIRAD - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER Cedex 01.

RUTUNGA et SEBAHUTU - ISAR - B.P. 138 - BUTARE (République du Rwanda).

exploitations et générant des problèmes d'érosion et de baisse de fertilité ;

- des contraintes parasitaires dues à l'extension des cercosporioses, des viroses (Bunchy top et mosaïque en tirets), de la fusariose.

Face à cette situation préoccupante, il importe de proposer des solutions rapides et efficaces permettant de satisfaire les besoins croissants de la population, grâce à une augmentation de la production sur des surfaces de plus en plus réduites et dans des conditions de milieu de moins en moins favorables aux plans de la topographie, de l'altitude et de la fertilité.

A cela s'ajoute la nécessité d'accroître la production de bananes pour une consommation en fruit frais (bananes dessert) ou en légume (bananes à cuire et plantains), en plus de la banane à bière.

C'est donc un véritable défi qui doit être relevé, alors que la recherche sur le bananier est pratiquement inexistante au Rwanda, ce qui constitue un gros handicap pour l'établissement de référentiels techniques adaptés à chaque situation.

C'est dans le but de relever ce défi avec le maximum de rapidité et d'efficacité qu'a été adoptée une approche de type enquête diagnostic. Cette approche permet d'avoir accès à des situations très diversifiées aux plans écologiques, pédologiques, variétaux et socio-économiques, et d'atteindre en même temps un triple objectif.

Elle permet en premier lieu de proposer des solutions immédiates pour l'amélioration de la culture dans les diverses situations. Les observations réalisées sur les différentes pratiques culturales en liaison avec la productivité aboutissent à une liste vulgarisable des techniques les plus performantes. Les priorités dans la mise en oeuvre de ces techniques pourront être établies à partir de la hiérarchisation des facteurs limitants issus de l'enquête diagnostic.

Au-delà de la stricte description et hiérarchisation des facteurs limitants, cette approche permet d'avoir accès immédiatement à la connaissance d'un certain nombre de relations actuelles entre la culture et son milieu (sol, climat, parasites) qui représentent des maillons importants de l'élaboration du rendement.

La méthode expérimentale reste cependant la plus appropriée pour la recherche et la vérification des solutions aux problèmes nouveaux mis en évidence.

Dans ce sens, l'enquête diagnostic est un moyen de cibler les axes de recherche les plus pertinents pour lever les principales contraintes, à partir des hypothèses de travail qui en découlent.

Ces axes de recherche pourront constituer les éléments de base d'un programme sur bananier qui devrait nécessairement être développé au niveau national dans le cadre de l'ISAR et au niveau régional (CEPGL) dans le cadre de l'IRAZ.

Au-delà de l'aide à la recherche et au développement que représente l'approche ENQUETE-DIAGNOSTIC, elle est, et a été dans le cas présent, l'occasion d'engager une coopération entre chercheurs d'origines et de nationalités différentes et de développer une collaboration entre agronomes et spécialistes appartenant à diverses disciplines.

Elle constitue en cela une opportunité assez rare pour des échanges d'informations et un enrichissement mutuel entre disciplines scientifiques ainsi que pour la formation des chercheurs.

La présente série de publications fait le point sur les principaux résultats de l'enquête diagnostic qui a été réalisée dans la région de Kibungu du 10 mai au 10 juin 1988, à la demande de l'Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda (ISAR). Elle est la résultante d'une étroite collaboration entre les chercheurs de l'ISAR et de l'IRFA.

Une première publication présente une description des «terres de bananeraies» qui sont la résultante d'un milieu naturel d'origine (sol, climat ...) et de pratiques culturales plus ou moins anciennes qui en ont modifié les caractéristiques et en particulier la fertilité.

Viendront ensuite des publications qui permettent d'aborder les relations entre la culture et son milieu et d'analyser ainsi les principales composantes agronomiques de la production.

Une publication sera consacrée à l'examen de l'état sanitaire des bananeraies permettant de bien identifier les principales contraintes à ce niveau.

Enfin sera proposée une approche synthétique de l'élaboration du rendement du bananier dans les conditions écologiques de la région Est du RWANDA, à partir de l'identification, de la hiérarchisation et de l'analyse des principales composantes mises en évidence par l'enquête.

Montpellier, le 25 avril 1991

J. GANRY

SITUATION

La préfecture de Kibungu est située à 110 km de la capitale Kigali dans le sud-est du Rwanda, entre les latitudes : 1°40' et 2°24' sud et les longitudes : 30°15' et 30°55' est (figure 1). La superficie de cette région est de 3 600 km².

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION

Géologie.

Les formations géologiques de la région de Kibungu sont d'âge précambrien. Elles sont constituées de matériaux d'origine sédimentaire faiblement métamorphisés et de roches éruptives. Les matériaux d'origine sédimentaire sont des schistes, quartzites et des grès ; les matériaux éruptifs sont des granites et des roches basiques (essentiellement des diorites) en intrusion dans les matériaux sédimentaires, représentés surtout dans la partie basse des collines.

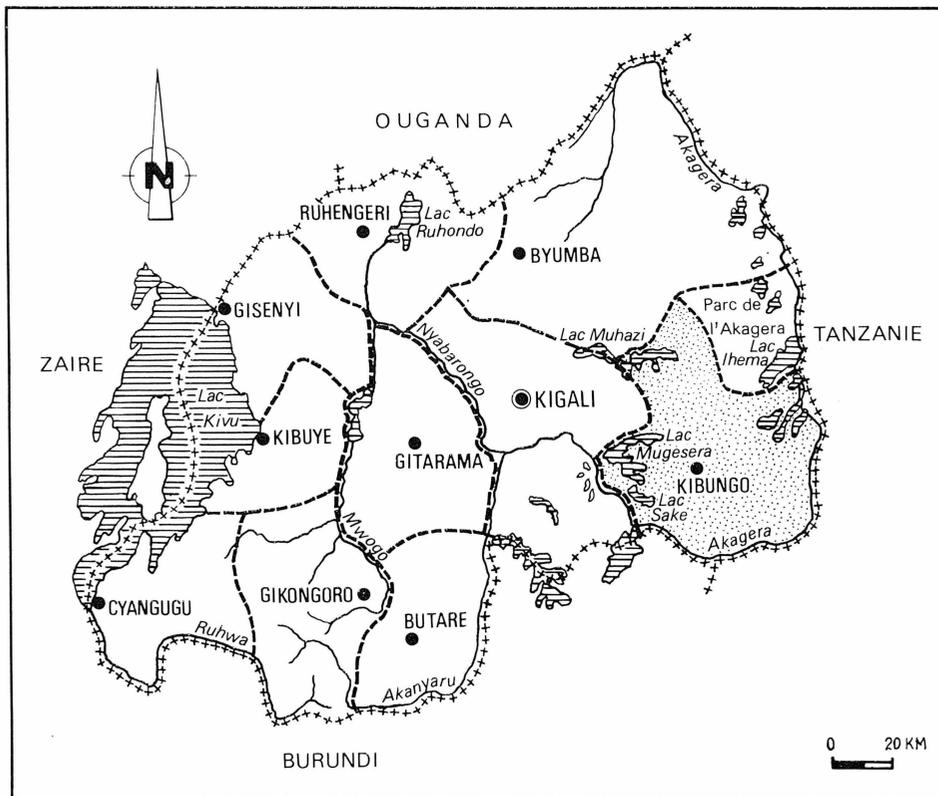


Fig. 1 • Localisation de l'étude (préfecture de Kibungo).

Dans la partie est il y aurait eu un plissement de direction nord-sud ; ensuite sont survenues de nombreuses failles et enfin il s'est produit un effondrement de la plaine des lacs. Dans toutes ces dépressions on observe des dépôts sédimentaires non différenciés récents, ainsi que des colluvions et des alluvions.

Géomorphologie.

La région de Kibungo se trouve dans un ensemble pénéplané subdivisé en deux grands groupes, délimités par une grande faille nord-sud ; une partie ondulée (régions de : Sake, Mugesera, Rutonde, Muhazi, Kayonza et, partiellement, de Rusumo) et une autre montagneuse formée de collines alignées sud-ouest-nord-est. Ces collines sont des crêtes gréso-quartzites (entre 1 600-1 800 m) ; elles sont entrecoupées par d'assez nombreuses têtes de sources et/ou de rivières (régions de : Migongo, Mirenge, Gisaka et Buganza).

Les points les plus hauts se trouvent sur le mont Nyamiyaga (1 729 m) dans le parc national de l'Akagera et le mont Gitwe (1 897 m) dans la commune de Rusumo, tandis que le point le plus bas se trouve dans la partie aval de la rivière Akagera (1 287 m).

Hydrographie.

Les eaux de la région de Kibungo, se jettent dans le lac Victoria et appartiennent donc au bassin du Nil. Cette région est drainée par de nombreuses rivières (au lit temporaire dans la partie est), se déversant dans des lacs avant d'af-

fluer dans le fleuve Nil. Quelques rivières au lit permanent coulent dans cette région : «Kagogo, Ruganga, Cyaruhogo, Cyabitana et Ruvuvu», et se jettent dans l'Akagera.

Durant la saison des pluies, le niveau de la rivière Akagera, qui reçoit, aussi, les eaux de la Nyabarongo et de la Nyabugogo tributaire du lac Muhazi, subit de nombreuses fluctuations et inonde les abords des lits temporaires de la partie est de la région.

Pédologie.

Les sols de la région étudiée sont développés sur des roches-mères diverses : schistes, schisto-quartzites, granites et alluvions. Les principaux groupes représentés sont : les ferralsols, les ferrisols et les sols récents (SYS *et al.*, 1961).

● Ferralsols.

Ils appartiennent, ainsi que les ferrisols, au grand groupe des Kaolisols. Ils se caractérisent par l'absence d'horizon «B» à revêtements argileux et «B» textural. Les revêtements argileux sur les agrégats sont absents ou très peu distincts. La réserve en minéraux altérables est nulle ou faible. La fraction argileuse, essentiellement kaolinitique, est mélangée à d'importantes quantités d'oxydes libres ; la présence de gibbsite est fréquente, mais pas générale.

Du point de vue de la fertilité, ces sols sont marqués par une pédogénèse active et, par conséquent, les éléments minéraux nécessaires à une bonne nutrition des plantes sont

déficients. La fertilité de ces sols dépend, surtout, de la qualité de l'horizon humifère.

● Ferrisols.

Le matériau originel se caractérise par des minéraux argileux à dominance de kaolinite, d'oxydes de fer et d'alumine ; la gibbsite est parfois présente en faible quantité. Ces sols se caractérisent, en outre, par :

- soit la présence d'un horizon «B» à revêtement argileux sur la surface des agrégats ;
- soit un rapport limon fin (2 à 20μ) /argile ($< 2 \mu$) supérieur à $0,20$ sur roches sédimentaires et alluvions et à $0,15$ sur roches éruptives et métamorphiques ;
- soit plus de 10 p. 100 de minéraux altérables dans la fraction sableuse.

Ces sols en pédogénèse active peuvent fournir aux plantes les éléments minéraux nutritionnels. La fertilité ne dépend plus, uniquement, de la qualité de l'horizon humifère et leur pouvoir de «régénération» est plus élevé que celui des ferralsols.

● Sols récents.

Ils sont formés à partir de matériaux d'origine ou d'altération récente, ils se distinguent des précédents par la jeunesse de leurs matériaux originels et leur stratification texturale quand ils sont d'origine alluvionnaire. Ils sont, souvent, riches en limon. Des horizons pédogénétiques ne sont pas encore formés, sauf «A».

Climat.

Il se caractérise par deux saisons, une période pluvieuse de 8 à 9 mois, de septembre-octobre à mai et une saison sèche de 3 à 4 mois de juin à août-septembre. La figure 2 présente les histogrammes des pluviosités moyennes mensuelles pour six stations météorologiques, de la préfecture de Kibungo (figure 3). Les écarts entre années, par rapport à ces moyennes, peuvent être importants. Pour ces six stations les pluviosités annuelles varient de 906 à $1\ 286$ mm. Les mois à plus fortes précipitations sont avril (155 à 220 mm), mars (100 à 140 mm) et novembre (95 à 185 mm).

Les températures varient avec l'altitude. De $1\ 350$ à $1\ 500$ m, les moyennes annuelles sont de 21 à 24°C , avec des minimums et des maximums de 14 à 16° et de 25 à 28° ; de $1\ 500$ à $1\ 750$ m, les températures moyennes sont de 18 à 21°C , les minimums et les maximums de 12 à 14° et de 22 à 25° .

CARACTERISTIQUES DU MILIEU A L'ECHELLE PARCELLAIRE

Cent-soixante-dix sites répartis sur 87 exploitations (1 à 3 par exploitation, mais le plus fréquemment 2) ont été observés. Les données collectées sur chacun, lors de l'enquête, sont résumées dans l'organigramme joint (figure 4). Un site correspond à une unité culturelle ou parcelle, au sens utilisé par les agriculteurs ou les agronomes. Une parcelle

correspond à une superficie de terrain cultivée homogène du point de vue de l'âge de la bananeraie, des pratiques culturales et du système de culture. Dans le cas du Rwanda, ces unités culturelles ont de petites superficies (inférieures à $0,5$ hectare mais souvent beaucoup moins) ; on peut considérer qu'elles sont homogènes du point de vue pédologique.

Les exploitations sont de type «familial» ; les superficies varient de 1 à 4 hectares. Les bananes sont utilisées, après fermentation, pour la production de bière qui est la boisson nationale et, également, consommées comme légume, bouillies ou frites.

Environnement pédologique.

Le paysage, largement ondulé, est constitué d'un ensemble de collines à surfaces subhorizontales, coupées par des pentes dépassant, rarement, 20 p. 100 .

Les altitudes varient entre $1\ 350$ et $1\ 680$ m mais les plus fréquentes sont de $1\ 400$ à $1\ 500$ m (51 p. 100) et de $1\ 510$ à $1\ 600$ m (29 p. 100).

Quatre types de situation topographique peuvent être distingués : les sommets (57 p. 100), les versants (21 p. 100), les piémonts (16 p. 100) et les vallées (6 p. 100).

Les pentes varient de 0 à 27 p. 100 mais dans 80 p. 100 des bananeraies elles sont inférieures à 10 p. 100 . Les plus fortes s'observent, évidemment, sur les versants des collines (5 à 27 p. 100) et les plus faibles sur les sommets (0 à 16 p. 100).

La roche-mère est des schistes soit seuls (46 p. 100), soit en mélange avec d'autres roches, telles que : quartzite, grès, granite, colluvions ou roches basiques (49 p. 100), soit des granites (4 p. 100). Deux parcelles sont développées sur un matériau alluvionnaire.

Dans toutes les bananeraies visitées le drainage externe est tout à fait satisfaisant. Le ruissellement paraît faible et il n'y a pratiquement pas d'érosion. Sur les 170 parcelles étudiées, quelques traces ont été observées, dans seulement 5 bananeraies, sur des sols pauvres en matière organique et à texture sableuse. L'érosion, sous forme de rigoles, est due au ruissellement d'eaux provenant de l'extérieur de la parcelle.

Profils pédologiques.

Les observations sont faites dans des fosses de un mètre de longueur sur 60 cm de profondeur, creusées à 50 cm d'un bananier. Deux profils sont observés par parcelle. L'étude du système racinaire des bananiers fera l'objet d'un autre article avec celle des parties aériennes.

L'épaisseur des horizons humifères varient selon les profils de 15 à 55 cm ($\bar{X} = 34$ cm ; $\sigma = 8$ cm). La plus grande fréquence est 30 à 40 cm (48 p. 100) puis 20 à 30 cm (29 p. 100).

Dans la majorité des profils (80 p. 100), le sol est brun rougeâtre foncé (5 YR ou $2,5$ YR), couleur typique des ferrisols. Dans les autres cas, il est brun foncé ou très foncé (10 YR ou $7,5$ YR).

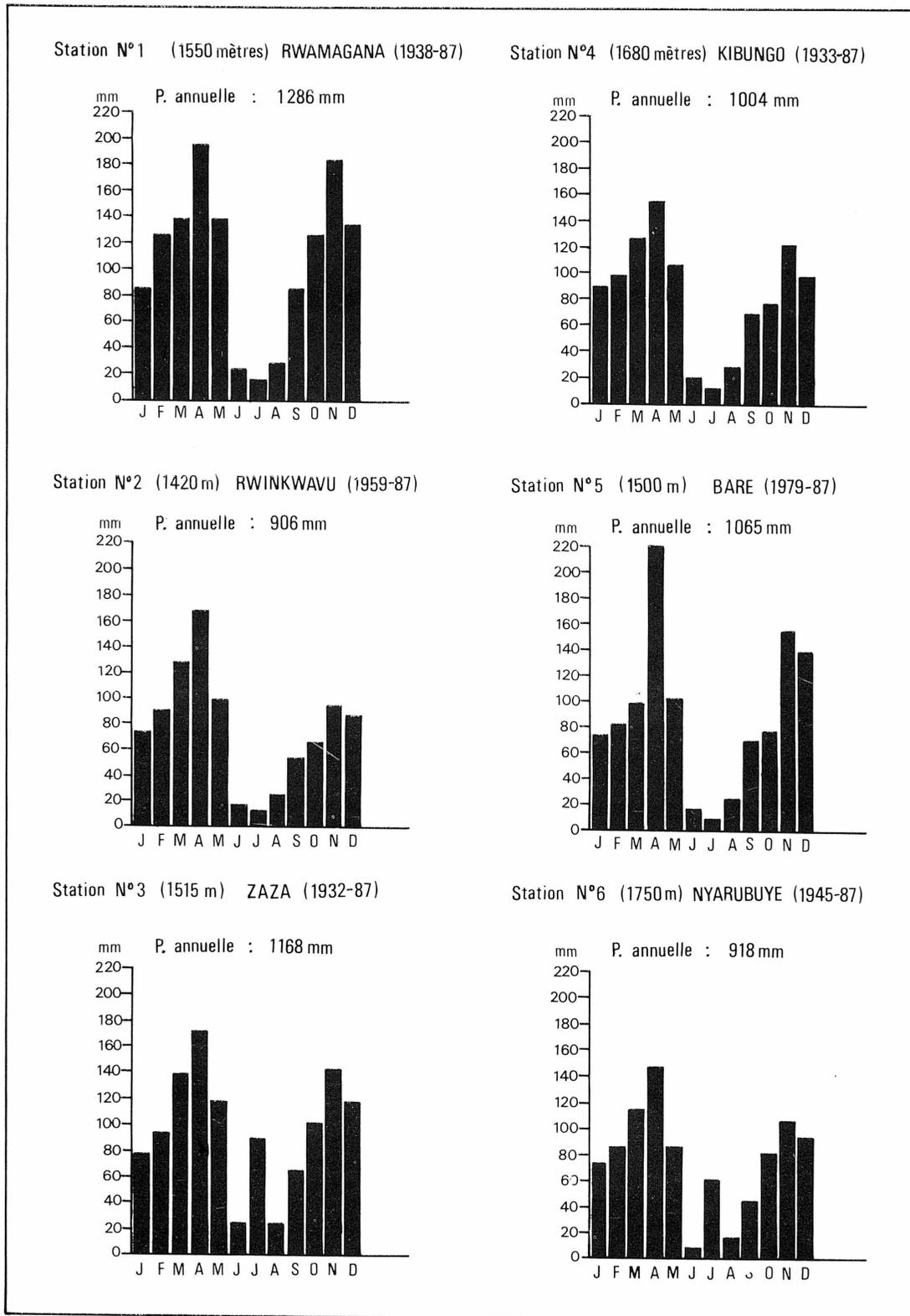


Fig. 2 • Pluiosités mensuelles pour six stations météorologiques de la préfecture de Kibungo.

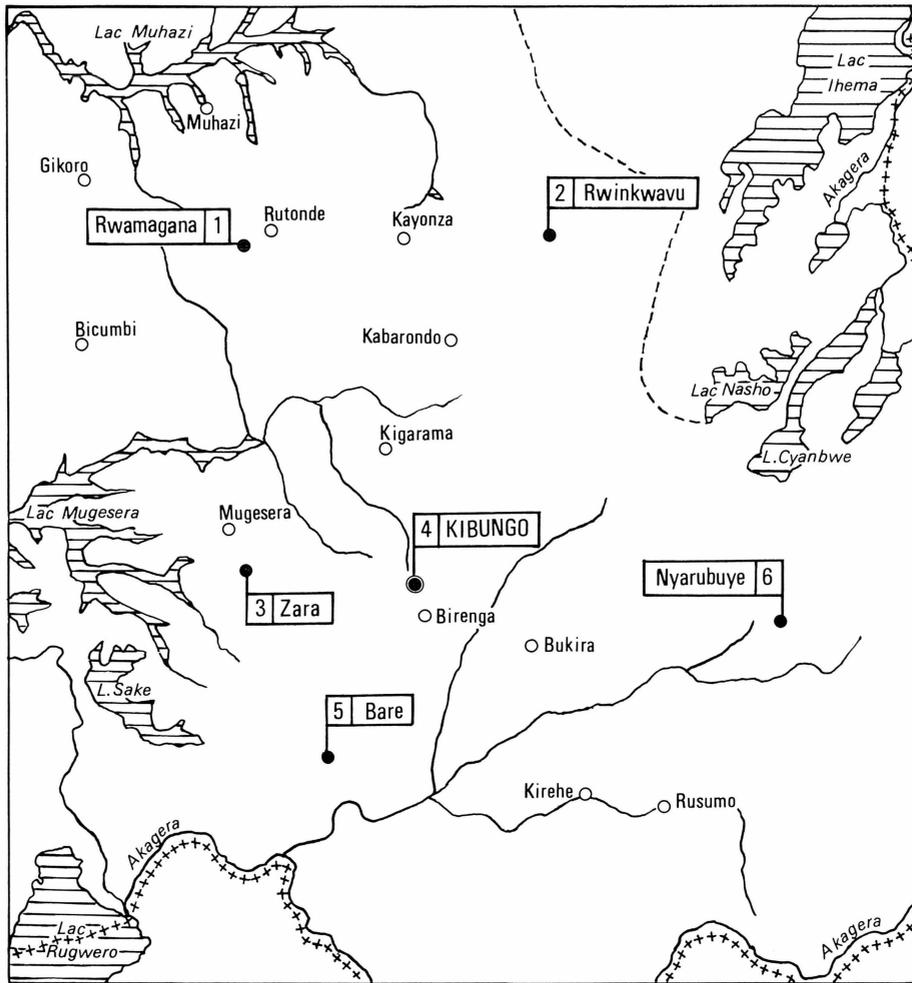


Fig. 3 • Préfecture de Kibungo. Localisation des postes météorologiques.

La structure est favorable au développement racinaire ; elle est, soit de type grumeleuse ou polyédrique fine ou moyenne (93 p. 100), soit polyédrique grossière (5 p. 100). Dans trois profils la structure est poudreuse.

Les contraintes pédologiques sont très peu nombreuses, puisque dans 79 p. 100 des cas il n'y en a pas. Celles observées sont : a) un sol peu profond dû à un horizon graveleux ou caillouteux à moins de 60 cm de profondeur (13 p. 100); b) la présence d'un horizon compact à moins de 60 cm (5 p. 100) ; c) une hydromorphie plus ou moins prononcée (3 p. 100).

Trois groupes de sols ont été distingués : ferrisols (78 p. 100), ferralsols (21 p. 100) et sols récents (1 p. 100). Les derniers correspondent aux deux sites sur roche-mère

alluviale.

Caractéristiques texturales et chimiques.

Celles-ci ont été déterminées sur des échantillons de terre prélevés de 0 à 25 cm de profondeur. Chaque échantillon est constitué du mélange de 20 prélèvements élémentaires (carottes) pris à 50 cm de distance des bananiers.

• **Texture.**

Les teneurs des différentes fractions granulométriques sont résumées dans le tableau 1. On constate que la gamme de variation des divers constituants est étendue et que les

TABLEAU 1 - Granulométrie (p. 100 de la terre fine).

	Moyenne	σ	Mini	Maxi	C.V. p. 100 ⁽¹⁾
argile (< 2 μ)	35,2	13,0	13,1	67,2	37
limon fin (2-20 μ)	16,4	6,7	4,3	29,6	41
limon grossier (20-50 μ)	10,5	4,3	2,1	24,2	41
sable fin (50-100 μ)	20,7	7,6	7,8	40,7	37
sable grossier (200-2000 μ)	17,2	8,4	3,4	42,9	49

(1) C.V. : coefficient de variation : σ /moyenne x 100

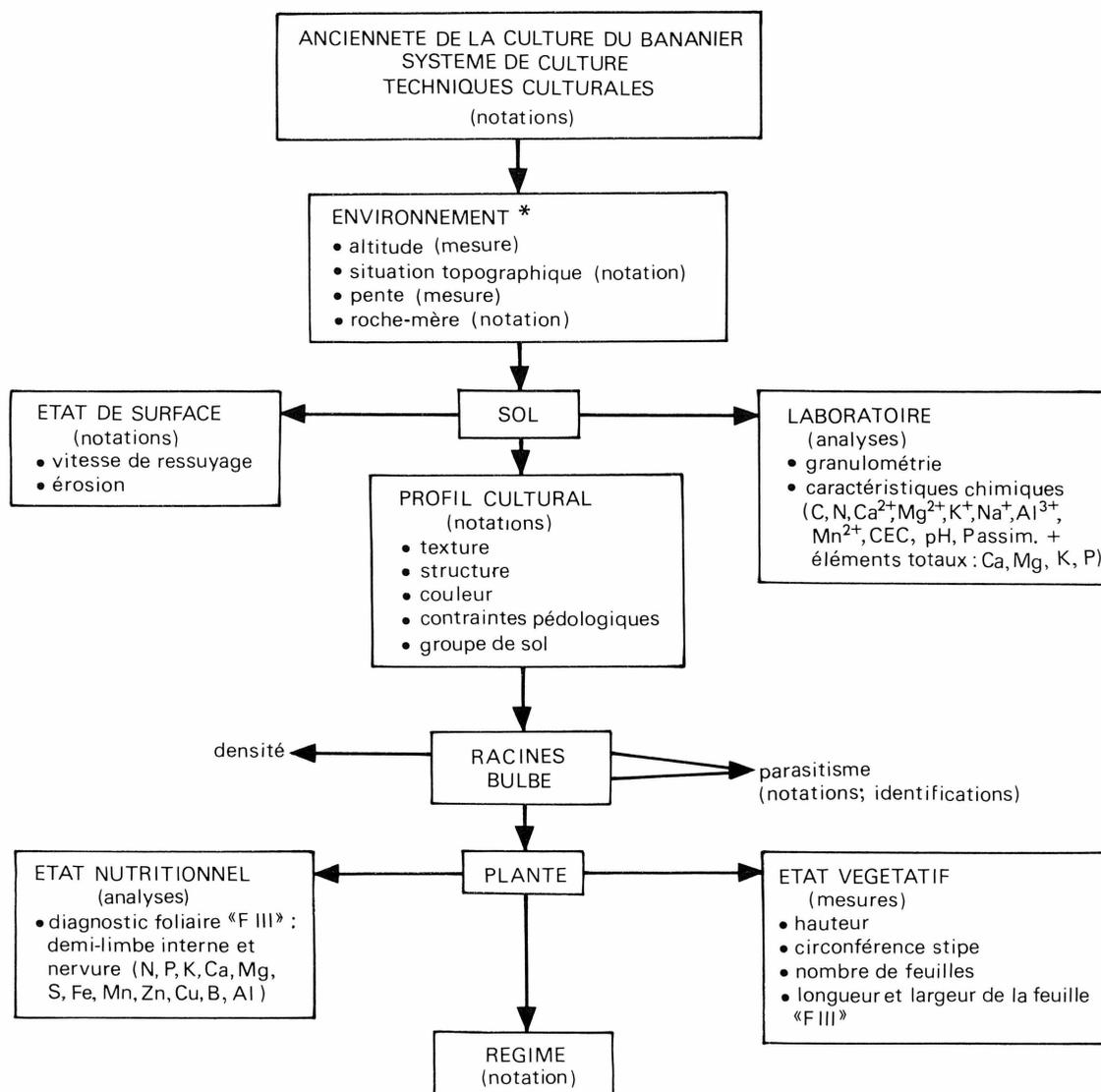


Fig. 4
SCHEMA DES DONNEES COLLECTEES LORS DE L'ENQUETE.

* données climatiques inexistantes mais caractéristiques assez voisines sur l'ensemble de la zone étudiée

fractions limoneuses et sableuses sont à dominance de limons et de sables fins.

D'après la classification texturale utilisée, les 170 échantillons se répartissent dans six classes d'effectifs inégaux (figure 5).

Trente-deux p. 100 des terres ont une texture très fine (argile > 40 p. 100), 43 p. 100 une texture fine (argile limono-sableuse ou sablo-limoneuse) et 25 p. 100 une texture moyenne (argilo-limono-sableuse ou sablo-limoneuse). On remarquera que, malgré la forte proportion d'argile et de limon, les terres ne sont pas lourdes, comme c'est souvent le cas dans les sols de composition granulométrique identique.

● Matière organique.

Les sols sont, dans l'ensemble, bien pourvus en carbone et en azote organiques, puisque 20 p. 100 seulement des teneurs en C sont inférieures à 20 p. 1000, soit 35 p. 1000 de matière organique (M.O. = C x 1,73). Ces bons niveaux organiques s'expliquent par l'altitude élevée de la zone qui est supérieure à 1 300 mètres. La matière organique est bien humifiée ; 95 p. 100 des rapports C/N sont entre 8 et 14 (figure 6).

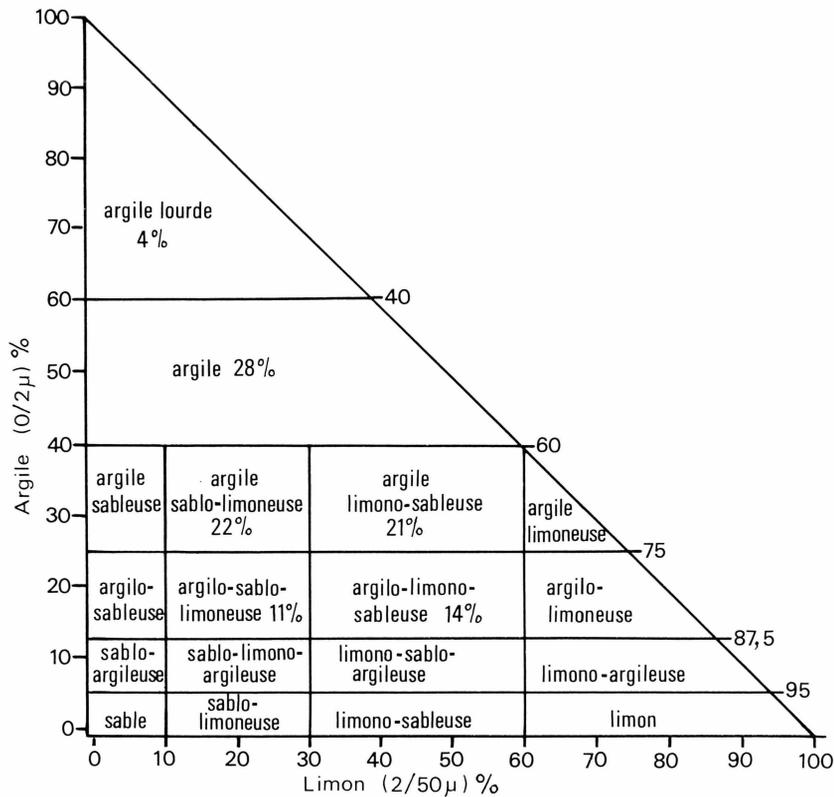


Fig. 5 • Classes texturales (d'après HENIN et al., 1969).

● Complexe d'échange.

L'analyse des cations échangeables (Ca, Mg, K, Na, Al et Mn) est faite par la méthode d'extraction au chlorure de cobaltihexamine et la capacité d'échange cationique (CEC) est mesurée par le dosage du cobalt fixé sur le complexe d'échange.

Les teneurs en calcium et en magnésium échangeables sont, dans l'ensemble, très satisfaisantes pour des sols de région tropicale (figure 6). Les moyennes sont respectivement de 11,0 et 4,7 mé/100 g ; dans 95 p. 100 des parcelles Ca est supérieur à 5,0 mé/100 g et Mg supérieur à 2 mé.

La gamme de variation des teneurs en potassium est très étendue : 0,2 à 7,6 mé/100 g (figure 6) ; il y a des terres : pauvres, moyennement pourvues et riches. Dans un second article, nous montrerons le rôle majeur de cet élément comme facteur explicatif de la productivité des bananiers.

Les sols sont très pauvres en sodium (< 0,1 mé/100 g), en aluminium (< 0,2 mé dont 90 p. 100 de teneurs nulles) et en manganèse (< 0,2 mé/100 g).

Compte tenu des teneurs en Ca et Mg, la somme des cations basiques est, généralement, élevée, le plus fréquemment entre 10 et 25 mé/100 g (figure 6). Les capacités d'échange cationique (CEC) sont, également, élevées 4 à 30 mé/100 g ; 89 p. 100 des valeurs sont supérieures à 10 mé.

Les terres sont faiblement acides pour des sols des régions tropicales, 20 p. 100 seulement des parcelles ont un

pH inférieur à 6,0 (figure 6).

● Cations totaux.

Ces analyses ont été faites, seulement, dans 31 parcelles qui ont été choisies afin d'avoir un échantillonnage représentatif des divers roches-mère et groupes de sols.

Les teneurs en calcium total varient de 5 à 28 mé/100 g, avec la distribution suivante : 19 p. 100 de 5 à 10 mé/100 g ; 65 p. 100 de 11 à 20 mé et 16 p. 100 de 21 à 28 mé. Elles sont étroitement corrélées avec les teneurs en calcium échangeable : r = 0.89. Les rapports Ca total/Ca échangeable sont toujours supérieurs à 1 mais rarement supérieurs à 2 (moyenne = 1,4).

La gamme de variation du magnésium est un peu moins étendue que celle du calcium : 7 à 22 mé/100 g, dont 68 p. 100 sont supérieurs à 10 mé. Les niveaux sont 2 à 3 fois plus élevés que ceux en magnésium échangeable (moyenne = 2,7) ; le coefficient de corrélation «r» entre Mg total et Mg échangeable est de 0,70.

Compte tenu des teneurs en Ca et en Mg, nous pouvons considérer que, dans l'ensemble, les sols des bananeraies ont des réserves calciques et magnésiennes satisfaisantes.

Comme le potassium échangeable (coefficient de variation des 31 échantillons = 92 p. 100), K total varie fortement suivant les parcelles : 5 à 40 mé/100 g (CV = 65 p. 100). Les rapports : K total/K échangeable sont, également, très variables : 2 à 74 (moyenne = 7,8). Il n'y a aucune

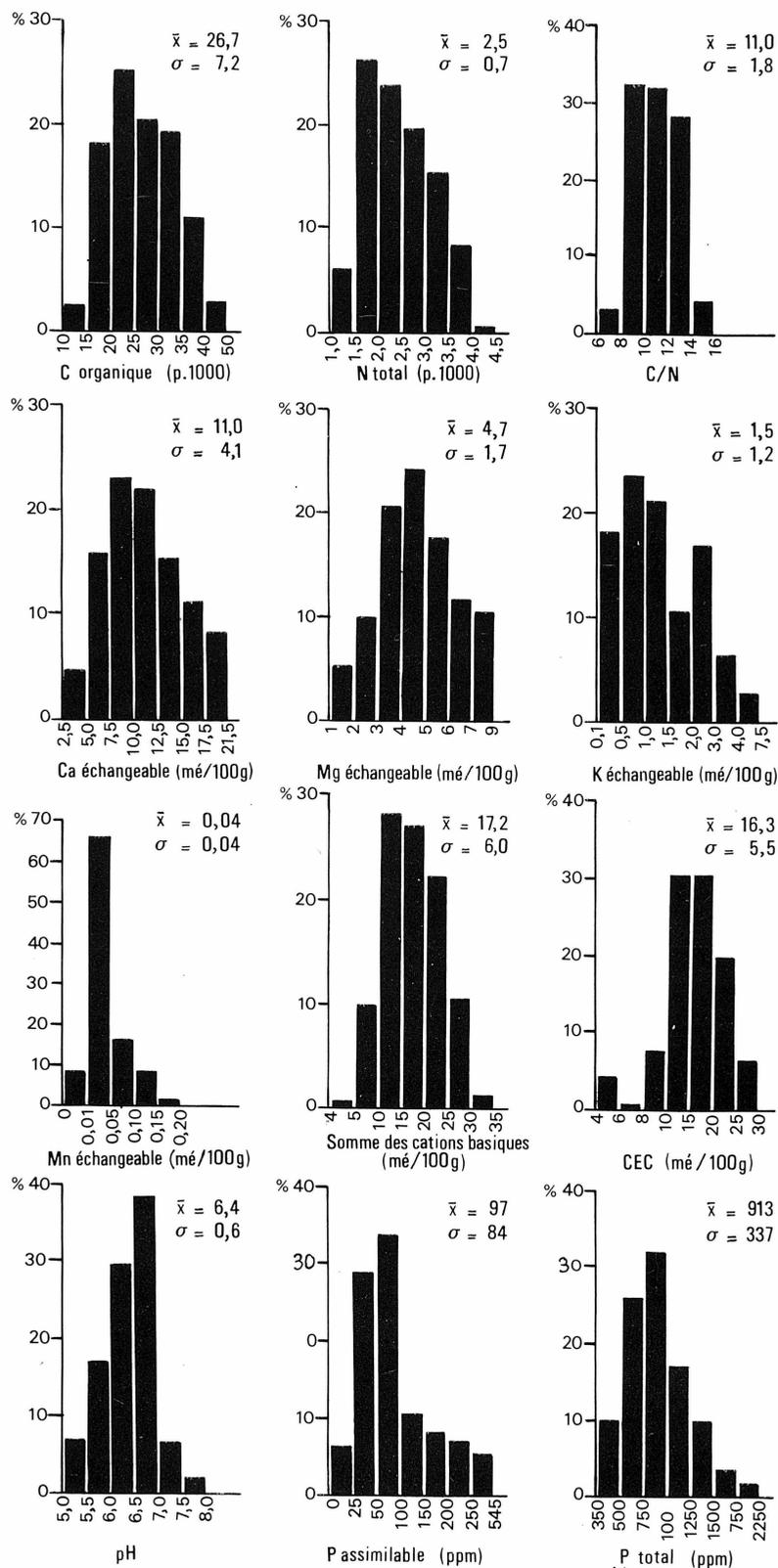


Fig. 6 • Histogrammes de distribution des caractéristiques chimiques des 170 échantillons.

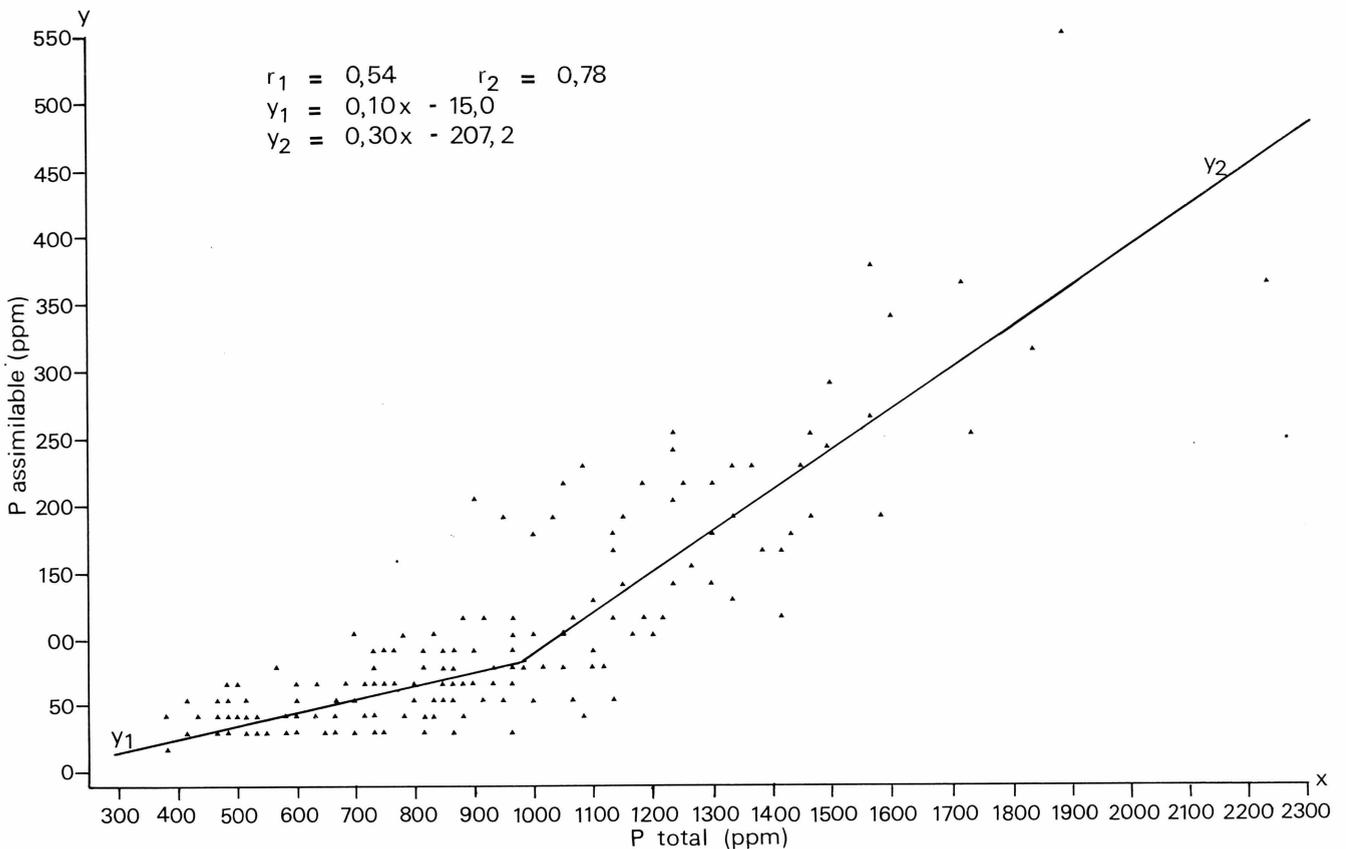


Fig. 7 • Relation entre les teneurs en P total et P assimilable.

corrélation entre le potassium échangeable et le potassium total ($r = 0,11$). Si nous considérons qu'une teneur en K total supérieure à 5 mé/100 g est élevée, 87 p. 100 des échantillons sont riches en potassium de réserve.

• Phosphore.

Deux analyses ont été faites sur chacun des 170 échantillons : P total et P assimilable selon la méthode «OLSEN-DABIN». Les teneurs varient dans une proportion de 1 à 32 pour la fraction assimilable et de 1 à 6 pour P total (figure 6). Les deux formes sont étroitement corrélées : $r = 0,85$. L'étude graphique de la corrélation montre qu'il faut distinguer 2 droites de régression (figure 7). Lorsque P total est inférieur à 1000 ppm, une augmentation de 100 ppm du phosphore total accroît la fraction assimilable de 10 ppm (pente de $Y_1 = 0,10$), quand P total est supérieur à 1 000 ppm, l'accroissement du P assimilable est de 30 ppm (pente de $Y_2 = 0,30$).

RELATIONS ENTRE QUELQUES FACTEURS DU MILIEU ET LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CIMIQUES DES SOLS

Différentes méthodes ont été employées selon le cas pour cette étude (cf. ci-dessous). Parmi celles-ci, nous avons largement utilisé l'analyse en composantes principales (ACP). Cette méthode est suffisamment connue pour qu'il

ne soit pas nécessaire de la décrire (PHILIPPEAU, 1986).

Une première ACP a été réalisée avec les caractéristiques chimiques et granulométriques. Cette ACP concerne 12 variables : calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K) et manganèse (Mn) échangeables, capacité d'échanges cationiques (CEC), pH, phosphore assimilable (P), carbone (C), azote total (N), argile (Arg), limon (Lim) et sable (Sab). L'altitude (Alt) est introduite comme variable supplémentaire.

L'axe 1 explique 47,2 p. 100 de la variation. Les 9 variables «chimiques» sont bien ou assez bien représentées sur cet axe (figure 8). Les deux variables les plus étroitement corrélées avec cet axe sont la CEC ($r = 0,95$) et le calcium (0,92), puis Mg (0,86), N (0,79), C (0,73), Mn (-0,67), P (0,63), pH (0,62) et K (0,58). Le limon est également représenté sur l'axe 1 ($r = 0,58$) mais l'argile et le sable sont très mal représentés ($r < 0,25$). En revanche, ces deux variables sont bien corrélées avec l'axe 2 : sable $r = 0,85$, argile $r = -0,79$. Cet axe explique 20,6 p. 100 de la variation, donc le plan «1-2» ou plan principal : 67,8 p. 100. Aucune variable n'est bien représentée sur l'axe 3 ; les coefficients de corrélation les plus élevés sont : 0,54 pour le limon et 0,53 pour l'argile.

Une seconde ACP effectuée uniquement avec les 9 caractéristiques chimiques n'apporte rien de plus que la première. C'est donc sur le plan 1-2 de cette dernière que nous avons effectué les projections des 170 individus (parcelles)

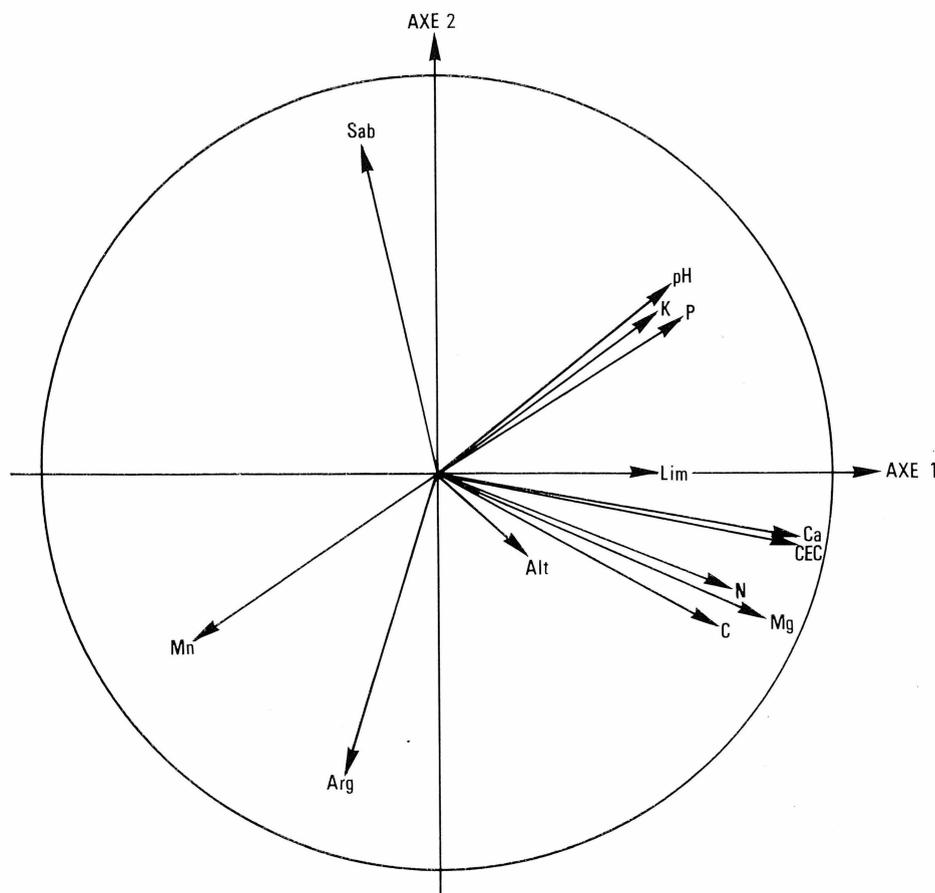


Fig. 8 • ACP : plan principal et cercle des corrélations.

identifiés par les diverses variables «milieu» à interpréter : altitude, roche-mère, groupe de sol. La même méthode a été utilisée pour les variables «culturales» : âge de la bananeraie et système de culture.

Les parcelles à coordonnées positives sur l'axe 1 correspondent à des terres à : CEC, Ca, Mg, N, C, P, pH et K élevés mais Mn faible (figure 8). Elles sont d'autant plus riches que les valeurs des coordonnées des points projetés sont élevées. Inversement pour les points à coordonnées négatives sur l'axe 1. Ceux qui sont au milieu sont intermédiaires. D'autre part, les parcelles positives sur l'axe 2 correspondent aux terres à texture la plus sableuse et celles négatives aux terres plus argileuses.

Mentionnons que la majorité des variables «caractéristiques chimiques» sont plus ou moins fortement corrélées entre elles (tableau 2). Précisons, d'autre part, que l'aluminium n'a pas été pris en considération car 153 des valeurs sur 170 (90 p. 100) sont nulles.

Action de l'altitude.

Comme mentionné ci-dessus, l'altitude a été introduite dans l'ACP comme variable supplémentaire. Notons que des variables «milieu» ou «culturale», seules l'altitude et la pente sont des variables quantitatives, donc les seules supplémentaires possibles.

L'altitude est très faiblement corrélée avec les axes 1 et 2 ($r = 0,24$ et $0,21$), ce qui signifie qu'il y a peu de relations entre l'altitude et les variables bien représentées sur le plan 1-2. Il a des sols riches et pauvres, sableux et argileux à toute altitude.

Ce résultat est confirmé par l'étude des corrélations entre les teneurs en carbone ou en azote des terres et l'altitude. Les diagrammes binaires représentant C et N en fonction de l'altitude montrent des «nuages de points» très dispersés. Les coefficients « r » sont de 0,33 pour C et de 0,30 pour N, donc faibles, bien que statistiquement significatifs ($P < 0,01$).

Action de la roche-mère.

L'étude par «ACP» montre que les sols issus de roche granitique sont peu limoneux, à tendance sableuse et chimiquement pauvres, tandis que ceux d'origine alluviale (2 parcelles seulement) sont à tendance limoneuse et moyennement pourvus en éléments minéraux fertilisants. Les sols formés sur schiste, seul ou associé à d'autres roches, sont uniformément répartis sur le plan : 1-2, c'est-à-dire qu'ils ont des caractéristiques texturales et chimiques très variables.

Les réserves en cations basiques sont les plus élevées dans les sols d'alluvions et les plus basses dans ceux d'origine granitique, tandis que les sols d'origine schisteuse sont en

TABLEAU 2 - Valeur des coefficients de corrélation entre les diverses caractéristiques chimiques.

	pH	P	Ca	Mg	K	CEC	Mn	C
P	0,44							
Ca	0,48	0,46						
Mg	0,40	0,37	0,84					
K	0,56	0,62	0,33	0,32				
CEC	0,50	0,52	0,95	0,91	0,48			
Mn	-0,82	-0,42	-0,58	-0,49	-0,46	-0,58		
C	0,15	0,31	0,71	0,68	0,27	0,72	-0,22	
N	0,22	0,42	0,73	0,72	0,35	0,75	-0,27	0,82

Remarque : Contrairement à ce que l'on observe souvent dans les sols, il n'y a pas de relation entre la teneur en argile et C, N ou CEC ($r < 0,1$). L'argile est corrélée, seulement, avec la teneur en sable : $r = -0,71$.

TABLEAU 3 - Teneurs en éléments totaux.

Roche-mère	Calcium (mé/100 g)			Magnésium (mé/100 g)			Potassium (mé/100 g)			Phosphore (ppm)		
	moyennes	mini	maxi	moyennes	mini	maxi	moyennes	mini	maxi	moyennes	mini	maxi
Granite	9,5	8	11	7,9	7	9	4,3	3	5	689	530	845
Schiste	15,1	5	28	12,3	7	23	11,8	5	23	927	378	2225
Alluvions	17,8	14	22	15,1	14	16	38,5	37	40	504	484	524

moyenne les plus riches en phosphore (tableau 3). On notera, en ce qui concerne ces derniers, la forte variation des teneurs minimales et maximales.

Pour étudier plus en détail l'action de la roche-mère sur la texture, nous avons projeté la composition granulométrique (argile, limon, sable) des 170 individus, identifiés par la roche-mère, sur le triangle textural. On observe, comme sur l'ACP, que les sols granitiques sont un peu moins limoneux que la moyenne et que les 2 sols d'alluvions ont, au contraire, les teneurs en limons les plus élevées : 50 p. 100 (moyenne générale = 27 p. 100). Les sols sur schistes ont des textures très variables. L'étude des fractions sableuses montre, d'autre part, que les terres issues de granite ont une proportion de sables grossiers supérieure aux sables fins (2/3 Sg ; 1/3 Sf) et inversement pour ceux sur alluvions (1/5 Sg ; 4/5 Sf). Dans les sols sur schiste, la proportion de sables fins est supérieure à celle en sables grossiers dans 78 p. 100 des cas.

Caractéristiques des groupes de sols.

La projection sur le plan 1-2 de l'ACP des parcelles identifiées par le groupe de sol montre qu'une majorité des bananeraies établies sur les ferralsols sont chimiquement pauvres (69 p. 100 d'ordonnées négatives sur l'axe 1). Les parcelles sur ferrisols ont des niveaux de fertilité chimique très variables : 59 p. 100 d'ordonnées positives et 41 p. 100 d'ordonnées négatives, donc une faible majorité de sols plutôt riches. Les 2 parcelles sur sols récents, développés sur des alluvions, sont positives mais proches de l'origine. Le tableau 4 résume les caractéristiques chimiques des 3 groupes de sols.

L'étude de la texture, effectuée comme pour la roche-

mère (projections sur le triangle textural), montre qu'il n'y a pas de différences nettes entre les ferrisols et les ferral-sols.

INFLUENCE DE L'AGE DE LA BANANERAIE SUR LA FERTILITE DES SOLS

Trois classes d'âges d'effectifs très inégaux ont été distinguées : (1) inférieurs à 5 ans (10 p. 100), (2) 5 à 10 ans (16 p. 100), (3) supérieurs à 10 ans (74 p. 100). Dans cette dernière catégorie il y a une majorité de bananeraies de plus de 20 à 30 années ; il y en aurait même quelques-unes plus que centenaires.

La projection des parcelles, identifiées par la classe d'âge sur le plan 1-2 de l'ACP indique que les terres des bananeraies récentes (< 5 ans) sont en majorité pauvres chimiquement (71 p. 100 des parcelles de coordonnées négatives sur l'axe 1). En revanche, on n'observe pas de différences entre les bananeraies établies depuis 5 à 10 ans et celles de plus de 10 années. Dans les deux cas, les parcelles se distribuent à peu près à égalité de part et d'autre de l'origine, ce qui signifie qu'il y a des terres de bonne, moyenne et médiocre fertilité en proportion identique. On précisera que dans les bananeraies rwandaises il n'est apporté aucune fumure minérale, mais seulement organique.

En ce qui concerne les niveaux en matière organique, on observe que 70 p. 100 des parcelles de moins de 5 ans ont des teneurs en carbone et en azote totaux inférieures à la moyenne générale. Les bananeraies des classes «2» et «3» se distribuent normalement de part et d'autre de la moyenne. Comme dans la majorité des sols, C et N sont corrélés ($r = 0,82$). Les comparaisons des teneurs en matière organique, en cations échangeables et en phosphore ainsi que les

TABLEAU 4 - Caractéristiques chimiques : moyenne (\bar{x}) et écarts-types (σ) des divers groupes de sols.

	Ferralsols (N = 36)		Ferrisols (= 132)		Sols récents (N = 2)
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}
Matière organique (p. 1000)					
. C	25,0	7,8	27,2	7,0	23,6
. N	2,2	0,7	2,5	0,7	2,7
Complexe d'échange (mé/100 g)					
. Ca	8,8	4,0	11,5	3,9	14,4
. Mg	4,1	1,7	4,9	1,7	5,7
. K	1,3	0,9	1,6	1,2	0,9
. Al	0,02	0,05	0,01	0,05	0,04
. Mn	0,06	0,05	0,04	0,04	0,02
. CEC	13,8	5,3	16,9	5,4	19,6
pH	6,1	0,6	6,5	0,5	7,0
Phosphore (ppm)					
. P total	871	283	927	352	787
. P assimilable	82	63	102	90	58

pH confirment les conclusions précédentes (tableau 5). Les sols des «jeunes» bananeraies sont un peu moins fertiles que ceux des plus anciennes mais il y a peu de différences entre les parcelles en cultures depuis 5 à 10 ans et celles cultivées depuis plus d'une décennie.

Ces résultats en faveur des bananeraies les plus anciennes s'expliquent par les apports de matière organique qui sont effectués pour amender les terres. Chaque agriculteur ou presque (95 p. 100) possède sa fosse de compostage (ISAR - IRFA, 1989). Le compost est fabriqué à partir du fumier, des déchets de récolte des diverses cultures et des détritiques ménagers. Quatre-vingt pour cent des exploitations possèdent un élevage, le plus fréquemment une vache et 2 à 3 moutons ou chèvres, ainsi que quelques poules ou lapins ; dans 65 p. 100 des fermes le fumier est mis dans la compostière et non directement dans les champs. Les résidus de culture des bananiers (feuilles, faux troncs) sont surtout utilisés sous forme de paillis. Le tableau 6 résume les divers modes d'utilisation des produits organiques sur les exploitations.

COMPARAISON DES SYSTEMES DE CULTURE

Chaque exploitation familiale (rugo) pratique 2 ou 3 systèmes de culture intégrant le bananier : 1) bananiers en culture quasiment monospécifique ; 2) bananiers en association avec d'autres espèces ; 3) bananiers éparés dans une

culture vivrière. En plus de ces trois systèmes, il existe des associations culturales sans bananiers mais avec des caféiers (ISAR - IRFA, 1989), non étudiées dans le cadre de cette enquête.

La culture monospécifique du bananier est faite au pourtour immédiat de l'habitation sur 10 à 20 mètres de largeur. C'est dans cet espace que l'on observe les bananiers les plus beaux du «rugo» : bon état végétatif et beaux régimes. Dans la majorité des cas, les quelques plantes associées sont l'igname, le maïs et les cucurbitacées.

Les associations du bananier avec d'autres plantes sont largement prédominantes en superficies. La culture associée la plus fréquente est celle avec le haricot. Les autres espèces sont : le sorgho, le maïs, l'arachide, les petits pois, la pomme de terre et la patate douce.

Dans le troisième type d'association culturelle mentionné, le végétal dominant est le haricot. Ce système de culture n'a pas été étudié dans le cadre de l'enquête, à l'exception de 3 parcelles, car le nombre des bananiers était insuffisant pour effectuer des observations sur des plantes au stade «floraison» et des prélèvements de feuilles pour le diagnostic foliaire. Précisons que tous les systèmes sont pratiqués sans irrigation et sans fertilisation minérale.

La projection des parcelles, identifiées par le système de culture (1 ou 2), sur le plan 1-2 de l'ACP, indique une

TABLEAU 5 - Caractéristiques chimiques moyennes (\bar{x}) et écarts-types (σ), selon les classes d'âge de la bananeraie.

Ancienneté de la culture bananière	< 5 ans		5 à 10 ans		> 10 ans	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Matière organique (p. 100)*	4,2	1,7	4,6	1,3	4,7	1,2
Somme des cations basiques (mé/100 g)	12,2	7,2	18,5	6,2	17,6	5,6
pH	5,8	0,5	6,4	0,6	6,5	0,5
P. assimilable (ppm)	64	76	90	85	103	84

* M.O. = C x 1,73

TABLEAU 6 - Production et utilisation des produits organiques de l'exploitation agricole.

Type	Modalités	Fréquence (p. 100)
Fumier	. Absence de fumier	21
	. Fumier pour la compostière	65
	. Fumier pour la bananeraie	13
	. Fumier pour d'autres cultures	1
Compost	. Absence de compostière	5
	. Compost pour la bananeraie	17
	. Compost pour la bananeraie et autres	48
	. Compost pour autres cultures	30
Déchets de culture (autres que faux tronc de bananiers)	. Aucun déchet	19
	. Mélange avec compost ou fumier	10
	. Utilisation en paillis	71
Paillis (pour la bananeraie)	. Aucun	3
	. Feuilles et faux tronc de bananiers uniquement	76
	. Feuilles et faux tronc de bananiers + déchets culture	15
	. Déchets culture + feuilles et faux tronc de bananiers	6

(in : ISAR-IRFA, 1989, tome 2).

répartition à peu près identique des individus d'ordonnées positives et négatives sur l'axe 1 avec les deux systèmes : 56 p. 100 (sys.1) et 52 p. 100 (sys. 2) de positifs. Ces proportions montrent qu'il y a une faible majorité de parcelles à bonne fertilité chimique dans les 2 systèmes, avec 4 p. 100 de plus pour la culture monospécifique.

D'autre part, afin d'étudier avec plus de détail la fertilité des terres dans les deux systèmes, nous avons comparé deux à deux les parcelles situées sur une même exploitation. La comparaison porte, ainsi, sur 42 couples seulement et non sur les 95 parcelles de «Sys. 1» et les 72 de «Sys. 2» ; les résultats font l'objet d'une étude statistique (tableau 7).

Pour tous les caractères étudiés, les terres sont plus riches dans les bananeraies monospécifiques (Sys. 1) que dans celles où le bananier est cultivé en association avec des plantes vivrières (Sys. 2). L'écart le plus élevé s'observe sur les teneurs en phosphore assimilable : + 97 p. 100, significatif au seuil de 0,01 ; puis sur celles en potassium échangeable (+ 51 p. 100) et sur les pH (+ 5 p. 100), différences significatives avec $P = 0,07$ p. 100. Les autres éléments qui diffèrent avec une probabilité encore acceptable (0,08 et 0,09 p. 100) sont l'azote (+ 12 p. 100) et le P total (+ 21 p. 100). Pour les autres caractéristiques (C, Ca, Mg, CEC), les seuils de probabilité sont faibles, bien que les écarts soient d'un peu plus de 10 p. 100 entre «Sys. 1» et «Sys. 2» pour le complexe d'échange et de 5 p. 100 pour le carbone. Pour Al et Mn les valeurs «F» du test de Snédécour sont inférieures à 1 ; dans tous les cas, les teneurs moyennes de ces éléments sont très faibles : < 0,05 mé/100 g.

La meilleure fertilité des terres du système «1» est due au fait que l'agriculteur apporte plus de soins à ces bananiers qu'à ceux cultivés en association avec d'autres espèces

(Sys. 2). En particulier, les parcelles en culture monospécifique sont plus amendées en produits organiques et mieux paillées.

CONCLUSION

La fertilité des terres de la région de Kibungu, située dans la partie Sud-Est du Rwanda, est globalement satisfaisante. Les sols sont très faiblement acides et aux pH actuels, ils n'ont pas, pratiquement, d'aluminium et de manganèse échangeables. Sept pour cent seulement des 170 parcelles étudiées ont des $pH < 5,5$ et les valeurs minimales observées sont de 5,2. Situées en altitude (1 350 à 1 680 m), les sols sont bien pourvus en matière organique, ce qui confère à la majorité d'entre eux une bonne structure, bien que la texture soit, souvent, argileuse et limoneuse. Les terres ne sont pas «lourdes» comme on l'observe dans de nombreuses régions tropicales, quand la proportion d'éléments fins (< 50 microns) est élevée.

Les niveaux en calcium et en magnésium échangeables sont, dans l'ensemble, satisfaisants. En revanche, les teneurs en potassium varient fortement, de très faible (0,2 mé/100 g) à très élevée (7,6 mé). Il en est de même du phosphore assimilable dont les teneurs sont comprises entre 17 et 544 ppm de P. Les sols n'ont pas de sodium. Si l'on excepte les sols récents, qui ne sont pas représentatifs des bananeraies de la région (2 parcelles sur 170), les terres les plus fertiles s'observent sur les ferrisols, de préférence ceux issus de roche schisteuse plutôt que granitique. Mentionnons que dans 85 p. 100 des cas, les sols formés sur granite sont des ferralsols. L'histoire culturelle de la parcelle et le système de culture pratiqué jouent, également, un rôle sur la fertilité. Les terrains en culture bananière depuis plus de 5 ans sont plus riches en éléments fertilisants que ceux où cette

TABLEAU 7 - Comparaison des systèmes de culture «1» et «2» sur une même exploitation (42 couples).

	Moyenne		p. 100 de Sys.1/Sys.2	Valeur de F calculée	Seuil de probabilité
	Sys.1	Sys. 2			
Matière organique (p. 1000)					
. C	26,0	24,8	+ 4,8	1,24	0,27
. N	2,5	2,2	+ 12,2	2,90	0,09
Complexe d'échange (mé/100 g)					
. Ca	10,6	9,3	+ 13,3	< 1	0,33
. Mg	4,6	4,2	+ 11,5	< 1	0,35
. K	1,9	1,3	+ 50,5	3,42	0,07
. CEC	16,1	14,6	+ 10,7	1,05	0,31
. pH	6,5	6,2	+ 4,8	3,38	0,07
Phosphore (ppm)					
P. total	989	817	+ 21,1	3,14	0,08
P. assimilable	134	68	+ 97,1	7,11 **	0,01

espèce a été implantée récemment. Le système de culture exerce un effet encore plus net ; les bananeraies monospécifiques (sys. 1) ont des sols plus fertiles que celles où le bananier est en association avec d'autres plantes vivrières (sys. 2). Cette amélioration des terres par la culture du bananier est en relation avec les techniques culturales pratiquées par les paysans rwandais, en particulier l'apport d'amendements organiques. L'exemple de ce pays est intéressant car il montre qu'une culture continue du bananier sur le même terrain, sans fertilisation minérale, n'entraîne pas, inexorablement, une dégradation de la fertilité des terres. D'autre part, contrairement à ce que l'on observe dans d'autres régions du Rwanda, il n'y a pas d'érosion sous

bananeraie, compte tenu de la pratique du paillage de la surface du sol avec les résidus de culture : feuilles et faux troncs.

Ce premier article sur les sols des bananeraies de la préfecture de Kibungo est, essentiellement, descriptif. Dans un deuxième article, nous étudierons les relations entre les caractéristiques pédologiques et la productivité des bananiers et nous proposerons un classement de la fertilité des sols basé sur les analyses de terre. Les observations sur le système racinaire, effectuées dans les profils culturaux, seront présentées dans un troisième article avec celles sur les parties aériennes.

ANNEXE

METHODES D'ANALYSES UTILISEES AU LABORATOIRE DES SOLS DU CIRAD A MONTPELLIER

GRANULOMETRIE

Principe de la méthode pipette de ROBINSON automatisée (granulostat) ; dispersion à l'hexaméta-phosphate de sodium.

CARBONE

Analyseur de carbone HERMANN-MORITZ. Combustion de l'échantillon dans un four à induction. Dosage automatique par la méthode de colorimétrie à impulsion.

Principe : le gaz à doser est envoyé dans une cellule, et cause une variation de pH ; cette variation de pH est annulée par des impulsions calibrées correspondant chacune à une quantité connue de carbone.

AZOTE

Méthode de minéralisation (KJELDAHL) ; dosage de NH_4 par colorimétrie automatique par la méthode de BERTHELOT modifiée : formation d'un complexe du type inophénol en milieu alcalin en présence de dichloroisocyanurate de sodium. Les interférences du Fe et Mn sont éliminées par l'adjonction d'un mélange EDTA et de tartrate double de K et Na.

CATIONS ECHANGEABLES

Extraction au chlorure de cobaltihexamine ; dosage des cations par spectrophotométrie d'absorption atomique.

CEC

Dosage de Co^{3+} pour calculer la quantité de l'ion $\text{CO}(\text{NH}_3)_6^{+++}$ consommée qui correspond à la CEC.

pH

Sur pâte saturée d'eau (pH mètre).

P. TOTAL

Attaque perchlorique ; dosage par colorimétrie automatique (bleu de molybdène).

P. ASSIMILABLE

Méthode OLSEN-DABIN (bicarbonate sodium 0,5 N et fluorure d'ammonium 0,5 N à pH 8,5 ; dosage idem P total.

CATIONS TOTAUX

Attaque fluoro-perchlorique ; dosage des cations par spectrophotométrie d'absorption atomique.

BIBLIOGRAPHIE

HENIN (S.), GRAS (R.) et MONNIER (G.). 1969.

Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.

Masson et Cie, Editeurs, 332 p.

ISAR-IRFA. 1989.

Enquête-diagnostic sur la culture bananière, préfecture de Kibungo au Rwanda.

Mars, tome 1 : 154 p. ; tome 2, 143 p., tableaux ; tome 3, 161 p., annexe.

PHILIPPEAU (G.). 1986.

Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales.

Novembre, doc. ITCF, 63 p.

SYS (C.), VAN WAMBEKE (A.), FRANKART (R.), GILSON (P.), PECROT (A.), BERCE (J.M.) et JAMAGNE (M.). 1961.

La cartographie des sols au Congo. Ses principes et ses méthodes. Série techn. n° 66, INEAC, Bruxelles, 149 p.

Reçu : janvier 1991
Accepté : mars 1991

LAS TIERRAS DE BANANERAS EN LA REGION DE KIBUNGO EN RUANDA : RESULTANTES DEL MEDIO FISICO Y DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.

J. GODEFROY, V. RUTUNGA y A. SEBAHUTU.

Fruits, Mar.-Apr. 1991, vol. 46, n° 2, p. 109-124.

RESUMEN - Después de una presentación general del medio físico de la región (geología, geomorfología, hidrografía, pedología, clima), los autores describen los suelos de las bananeras donde la producción de bananas es utilizada para la fabricación de cerveza y para el consumo en fresco. Este estudio, realizado en 170 parcelas y 87 explotaciones de tipo «familiar», aborda la observación morfológica de perfiles culturales y la caracterización físico-química de los suelos. Las relaciones entre la fertilidad de las tierras y algunos factores del medio (altitud, roca madre, grupo de suelo) o culturales son estudiados. Las tierras más ricas se observan sobre los ferrosoles formados sobre granita. En relación con las prácticas culturales, la fertilidad de las tierras es mejor en las bananeras antiguas, así como en las de monocultura, comparadas a las parcelas donde la planta de banano esta asociada con otras plantas de subsistencia.

