

Une méthodologie d'étude des relations sol-plante-techniques culturales par enquête diagnostic.

Application à la culture bananière au Cameroun.

Synthèse des résultats.

B. DELVAUX, A. LASSOUDIÈRE, X. PERRIER et J. MARCHAL

UNE METHODOLOGIE D'ETUDE DES RELATIONS SOL-PLANTE-TECHNIQUES CULTURALES PAR ENQUETE DIAGNOSTIC.

Application à la culture bananière au Cameroun.

Synthèse des résultats.

B. DELVAUX, A. LASSOUDIÈRE, X. PERRIER et J. MARCHAL.

Fruits, Juin 1986, vol. 41, n° 6, p. 359-370.

RESUME - Une enquête diagnostic a été réalisée afin de déterminer l'incidence des conditions pédologiques et de l'itinéraire technique sur la production bananière au Cameroun.

Les différentes phases de cette enquête sont présentées : examen du contexte, collecte des données *in situ* et leur traitement, principalement par analyse multidimensionnelle.

Les rendements médiocres sont liés à la présence de sols argileux fins, acides et désaturés, à la non-pratique de la jachère et du sous-solage, aux déséquilibres cationiques. Sur les sols à fertilité adéquate, certaines techniques culturales ont un effet marquant sur les rendements : la pratique de la jachère propre, le pralinage de la souche avant plantation et la fertilisation potassique.

Le sous-solage a un effet très net sur la production. Une fertilisation adéquate des terres moins fertiles rentabilisera leur irrigation. L'étude des relations sol-plante a permis de définir les niveaux critiques et les proportions optimales des éléments K, Ca et Mg dans le sol et dans la plante.

Cinq zones pédo-agronomiques sont définies dans le cadre d'un système d'avertissements agricoles.

AVANT-PROPOS

L'objectif finalisé de la recherche agronomique est de pouvoir agir sur l'ensemble des composantes d'un système de culture donné pour en améliorer la production.

Pour atteindre un tel objectif, il apparaît nécessaire de procéder par diverses étapes, dont la première est l'analyse, en milieu réel, des principales composantes intervenant dans l'élaboration du rendement. C'est la phase d'identification et de hiérarchisation qui nécessite une exploration très globale et, sans a priori, d'un système de culture donné. Une deuxième étape de la recherche agronomique consiste en une approche explicative de l'action des divers facteurs identifiés et hiérarchisés, et de leur interaction, sur l'élaboration de la production. La troisième étape consiste en la mise au point de techniques, d'outils ou de modèles utilisables en vue d'une amélioration de la production, d'une réduction des coûts ou d'une maîtrise de la culture.

* - B. DELVAUX - FAO/IRA - Centre national des Sols - PMB 25 BUEA (Cameroun). Adresse actuelle : IRFA, B.P. 153 - 97202 FORT-DE-FRANCE (Martinique)
A. LASSOUDIÈRE - IRFA/IRA - Centre de Recherches agronomiques B.P. 13 - NYOMBE (Cameroun)

X. PERRIER - IRFA - Centre de Biométrie - B. P. 5035-34032 MONTPELLIER (France)
J. MARCHAL - IRFA - Service de Physiologie - B.P. 5035 34032 MONTPELLIER (France).

C'est dans ce cadre là que s'inscrit le présent travail d'enquête-diagnostic réalisé sur la bananeraie camerounaise, conjointement par l'Institut de Recherche agronomique du Cameroun (IRA), la FAO et l'IRFA. Sa réalisation est le fruit d'une étroite collaboration entre agropédologues, agronomes, physiologistes et biométriciens. Ce travail représente une contribution importante à la phase d'identification et de hiérarchisation des principales composantes agronomiques de la production bananière au Cameroun et débouche sur des actions de recherche qui auront pour but de préciser les diverses relations, d'expliquer les divers processus et de mettre au point des techniques adaptées.

Cette phase d'identification devrait être suivie par des actions d'enquête-diagnostic complémentaires qui permettront d'apporter des informations nouvelles ou plus détaillées et surtout de mettre en évidence des variations dans le temps des principales composantes.

L'acquis méthodologique est important et devrait être enrichi par des opérations de même type conduites dans des situations différentes.

J. GANRY

Directeur des Recherches sur bananier

INTRODUCTION

La banane dessert est cultivée au Cameroun depuis plusieurs décennies à des fins d'exportation, principalement vers les marchés européens.

Les variétés plantées sont la Grande Naine, l'Américain et la Poyo (sous-groupe Cavendish).

La zone bananière couvre, en 1983, près de 5.500 hectares, en terrains plantés et en jachère, les exploitations - de tailles diverses - étant dispersées entre les latitudes N 4°05' et 4°50' et les longitudes E 9°17' et 9°47'.

Au cours des dix dernières années, la production a sensiblement décliné, avec cependant de fortes différences d'une plantation à l'autre.

Ces différences furent souvent attribuées à des conditions pédologiques variables, sans pour autant en connaître les raisons avec exactitude, à l'insuffisance de certains intrants ou à des accidents climatiques (fortes sécheresses).

Les interactions entre les différents facteurs de production furent souvent soupçonnées, mais jamais évaluées avec précision.

Il s'est donc avéré nécessaire de mener une large étude visant à préciser l'incidence du milieu écologique et des techniques culturales sur les rendements.

Dans un premier temps, cette optique nous a conduits à dresser un inventaire des principales caractéristiques de la zone étudiée afin de préciser le cadre de l'étude, de définir les objectifs et de choisir la méthodologie y répondant le mieux.

LES CARACTERISTIQUES DE LA BANANERAIE CAMEROUNAISE

Géographiquement, on distingue deux zones (figure 1) :

- la zone du Mont Cameroun (4°05'/4°13' N - 9°16'/9°22' E), où les plantations sont situées sur les basses pentes Est du volcan (altitude 350 à 620 m) et dans la plaine de Tiko (altitude 50-60 m).

- la zone du Mungo (4°33'/4°53' N - 9°37'/9°50' E), où les terres cultivées en banane sont d'altitude variable (45 à 520 m), le relief étant déterminé par des plateaux de lave en pente douce étagés de 45 à plus de 600 m d'altitude.

Le régime climatique.

Il est équatorial à deux saisons : une longue saison des pluies d'avril à novembre avec de très faibles ensoleillements de juillet à septembre et une saison sèche de mi-décembre à mi-mars. Pendant cette période, la pluviométrie est erratique ; la «brume sèche» (harmattan) peut persister pendant plusieurs semaines (SIEFFERMANN, 1973).

Les précipitations annuelles sont comprises entre 2.300 et 3.000 mm avec des variations locales liées à la présence de massifs montagneux et à l'exposition des plantations aux vents océaniques.

La température moyenne annuelle varie en fonction de l'altitude, de 23 à 28°C, les moyennes annuelles des minima et des maxima variant de 17 à 22°C et de 27 à 32°C.

L'insolation est faible : 1 à 2 heures et 3 à 4 heures par jour, respectivement en saison des pluies et en saison sèche.

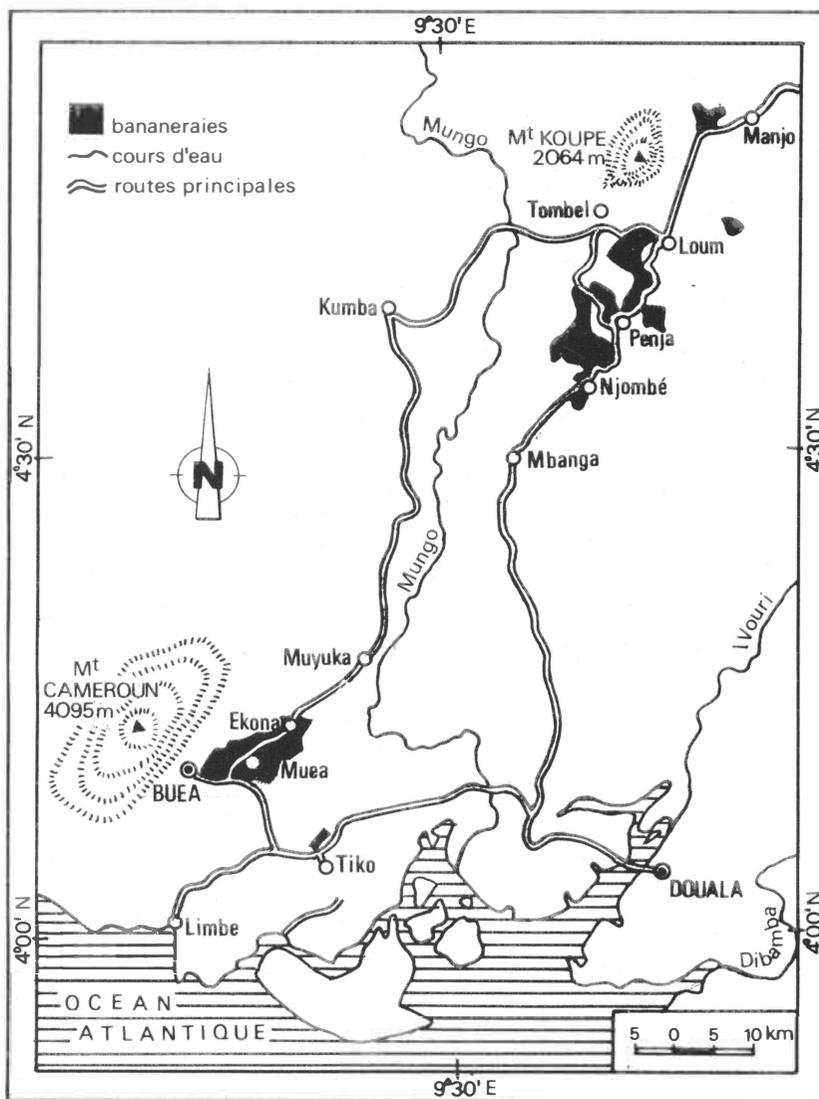


Figure 1 • CARTE DE SITUATION DE LA BANANERAIE CAMEROUNAISE AVEC DEUX ZONES GEOGRAPHIQUES :

- MONT CAMEROUN : Buea - Muea - Ekona et Tiko.
- MUNGO : Axe Njombé - Penja - Loum - Manjo.

L'humidité relative est élevée en saison pluvieuse (90-100 p. 100). Durant la saison sèche elle ne descend jamais au-dessous de 60 p. 100 sauf durant les sécheresses exceptionnelles comme celle de 1982-1983 (AUBERT, 1973 ; TEZENAS du MONTCEL, 1976, 1977 ; Rapports annuels IRA).

Les conditions climatiques de la zone étudiée peuvent être considérées comme relativement uniformes. Les différences de pluviométrie et de température ne se reflètent pas dans les régimes hydriques et thermiques des sols, respectivement udic et isohyperthermic (IRA/FAO, 1980 ; VAN WAMBEKE, 1982). L'altitude influe plus sur la

longueur du cycle du bananier que sur le potentiel de production de la plante elle-même.

Les conditions pédologiques.

Les sols de la bananeraie camerounaise, tous développés sur basalte d'époque quaternaire, diffèrent en fonction de leur stade d'évolution pédogénétique.

Ce basalte (série noire supérieure) est naturellement riche en calcium et magnésium et relativement pauvre en potassium, de par les minéraux primaires qu'il contient

(augite, olivine, plagioclases calciques - DUMORT, 1968 ; SIEFFERMANN, 1973).

L'altération de la roche-mère basaltique produit une substance silico-alumineuse amorphe, l'allophane, dont les conditions de maintien sont essentiellement d'ordre climatique et, localement, topographique. A ce stade, on identifie des Andosols (ou Andepts - Soil Taxonomy, 1975 ; Andisols, G. SMITH 1978 et ICOMMAND, 1983).

Sous l'influence du climat, l'allophane subit une déshydratation progressive et des minéraux argileux cristallisés, l'hallowite et ensuite la kaolinite, s'individualisent. Parallèlement à la perte du caractère andique, se développe un

horizon argilique (SIEFFERMANN, 1973 ; AWAH, 1979 ; LOSSEAU, 1979).

Plusieurs types de sols sont ainsi différenciés en fonction des facteurs suivants : l'âge du dépôt, les modalités de dépôts (laves, cendres, scories et lapillis), l'éloignement par rapport aux cônes d'émission et la topographie.

Les traits de différenciation les plus marquants sont la texture, le taux de matière organique, la capacité d'échange (CEC), les réserves et teneurs en bases échangeables. Ces propriétés sont corrélées entre elles : avec la perte du caractère andique, la teneur en argile croît, la teneur en matière organique et la CEC décroissent ; les réserves et teneurs en calcium et magnésium diminuent selon le schéma global suivant :

	altération et pédogenèse		
	Sols récents	----->	Sols évolués
		perdes du caractère andique	
. Texture	. dominée par les limons	----->	. argiles fines
. Taux de M.O. *	. élevés (7-9 p. 100)	----->	. plus faibles (1-3 p. 100)
. CEC *	. élevées (45-55 mé/100 g)	----->	. plus faibles (10-25 mé/100 g)
. Réserves et teneurs en Ca et Mg *	. élevées (pH = 5,8-6,2)	----->	. faibles (pH = 4,2-4,5)
. Classification **	. Eutrandepts	-----> Humitropepts	Tropudults - Tropohumults

* - valeurs déterminées pour les horizons superficiels (0-30 cm)
 ** - Soil Taxonomy, 1975.

Alors que les relations entre le caractère andique des sols et leurs teneurs en matière organique et en argile se vérifient dans toute la zone, il n'en est pas de même pour les cations échangeables.

Certains sols argileux fins, à plus faibles teneurs en M.O., ont en effet des teneurs en bases élevées : tel est le cas de sols évolués enrichis par des apports récents de cendres et des sols développés dans des dépôts récents de granulométrie fine. Par ailleurs, on rencontre des andosols très acides, avec des valeurs de pH-eau faibles (4,3 à 4,5) liées à l'utilisation du sulfate d'ammoniaque pendant plusieurs décennies. Ces sols sont respectivement classés comme Tropudalts et Dystrandeps (**).

Les techniques culturales.

L'itinéraire technique pratiqué est variable d'une plantation à l'autre. Un relevé des techniques culturales effectué en 1983 fait ressortir des différences d'une plantation à l'autre et parfois entre les secteurs d'une même plantation (DELVAUX, LASSOUDIERE, 1984).

Ces écarts concernent le type de jachère réalisé, la fertilisation potassique, l'irrigation, la préparation du sol et la désinfection du matériel végétal avant plantation.

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

Orientation et objectifs de l'étude.

La connaissance du contexte général de la bananeraie camerounaise permet de sélectionner les facteurs, qui du fait de leur variabilité, peuvent être explicatifs des différences de production.

Etant donné la relative uniformité du climat, ces facteurs sont les *conditions pédologiques* de la zone étudiée et les *techniques culturales* qu'on y pratique.

Les limites d'une approche basée exclusivement sur l'expérimentation multilocale et l'absence d'évaluation de l'effet des facteurs pédologiques et techniques sur les rendements nous ont conduits à adopter une démarche de type enquête (GRAS et CHIAVERINI, 1980 ; CONESA *et al.*, 1975-1976 et 1979).

Ses objectifs sont de trois ordres :

- Recherche : définition des niveaux critiques et des équilibres cationiques.
- Avertissements agricoles : définition de zones pédo-agronomiques : utilisation des cartes pédologiques pour la fertilisation.
- Stratégie d'itinéraire technique : mise en évidence et

hiérarchisation des facteurs limitants.

La méthodologie expérimentale choisie pour répondre au mieux à ces objectifs devait tenir compte de deux contraintes :

- couverture la plus complète de la variabilité pédologique (nombre de points d'échantillonnage assez élevé),
- caractérisation maximale de chaque point d'échantillonnage (pédologique, biologique, agronomique, phytotechnique).

Seule la méthodologie d'*Enquête Diagnostic* pouvait, dans son principe, satisfaire ces objectifs tout en intégrant leurs contraintes.

Par enquête diagnostic on entend identifier et hiérarchiser les facteurs écologiques et techniques les plus explicatifs du rendement en utilisant la variabilité du milieu naturel. Ce type d'approche est préféré à la voie expérimentale classique, il permet en effet de :

- comparer plusieurs types de sols différents ;
- préjuger de l'effet d'une même technique culturale dans des conditions pédologiques différentes ;
- éviter les délais et le coût qu'auraient représenté la conduite d'essais multilocaux et l'obtention de leurs résultats.

Le schéma méthodologique.

La méthodologie suivie pour la réalisation de l'*Enquête* comprend trois étapes essentielles et consécutives :

- la connaissance de la distribution spatiale des sols (cartographie pédologique 1/10 000),
- la collecte de l'information disponible dans 151 parcelles cultivées, sélectionnées en fonction de la distribution des sols, du cycle du bananier et de l'itinéraire technique.

Cette information est de type :

- . analytique (échantillonnage sol-plante),
- . agronomique (observation, appréciation, potentiel de production),
- . phytotechnique (techniques culturales pratiquées).

- L'enregistrement et le traitement statistique des données recueillies.

La collecte des données.

Les données recueillies concernent le sol, la plante et les techniques culturales. Elles ont été collectées sur une période très courte (2 semaines), afin de ne pas intégrer des effets saisonniers.

Dans chaque parcelle, on a donc effectué les opérations suivantes :

- un choix de 30 bananiers au stade fleurs-mains découvertes. Sur ces 30 bananiers, on a procédé à :
 - . un échantillonnage foliaire : limbe interne et nervure

de la feuille antépénultième au stade fleur découverte (APFD) (MARTIN-PREVEL, 1980),

- . la prise de la circonférence du faux tronc à 100 cm au-dessus du niveau du sol et la détermination du nombre de mains femelles de l'inflorescence, critères agronomiques du potentiel de production, particulièrement la circonférence (LOSSOIS, 1963),
 - . un prélèvement de sol au pied de chaque bananier (couche superficielle 0-25 cm).
- une appréciation agronomique au niveau de la parcelle : conduite de plantation, état de la végétation et des régimes, alimentation minérale apparente (CHARPENTIER et MARTIN-PREVEL, 1968) et état sanitaire.
- un relevé des techniques culturales obtenu grâce à des questionnaires soumis aux responsables des plantations.

L'information relative aux conditions d'enracinement des bananiers fut obtenue grâce aux données de la cartographie pédologique (texture, compaction, structure, porosité, drainage, développement de profil, etc.).

RESULTATS

Ils concernent deux volets majeurs :

- les relations entre le type de sol et la plante, principalement d'ordre nutritionnel, mais aussi sous l'angle du profil cultural (profondeur et répartition du système racinaire) ;
- l'incidence hiérarchisée des facteurs pédologiques et techniques sur le potentiel de production.

Relations sol-plante.

La zonalité pédo-agronomique.

Les résultats d'analyse de sols et de feuilles ont été interprétés par le biais du calcul de leurs composantes principales (ACP), et confrontés à d'autres variables (potentiel de production, caractéristiques liées aux types de sol, ancienneté de la mise en culture, itinéraire technique).

Les relations mises en évidence sont schématisées dans la figure 2, qui est construite à partir d'une ACP réalisée sur 8 variables analytiques. Ces relations ont permis de définir cinq grandes zones pédo-agronomiques.

Le déficit magnésien - avec symptômes nets du bleu magnésien (*) sur bananier - est exclusif des sols argileux fins, acides et désaturés alors que le déficit potassique - avec symptômes visuels de carence (**) - est typique des sols à caractère andique prononcé et à fortes teneurs et proportions en calcium échangeable.

* - marbrures violacées sur les pétioles suivies de pourriture malodore ; le bleu est lié à un excès relatif de K par rapport à Mg.

** - jaunissement fulgurant des feuilles âgées suivi de dessèchement ; enroulement de la nervure centrale et cassure (aspect recroquevillé).

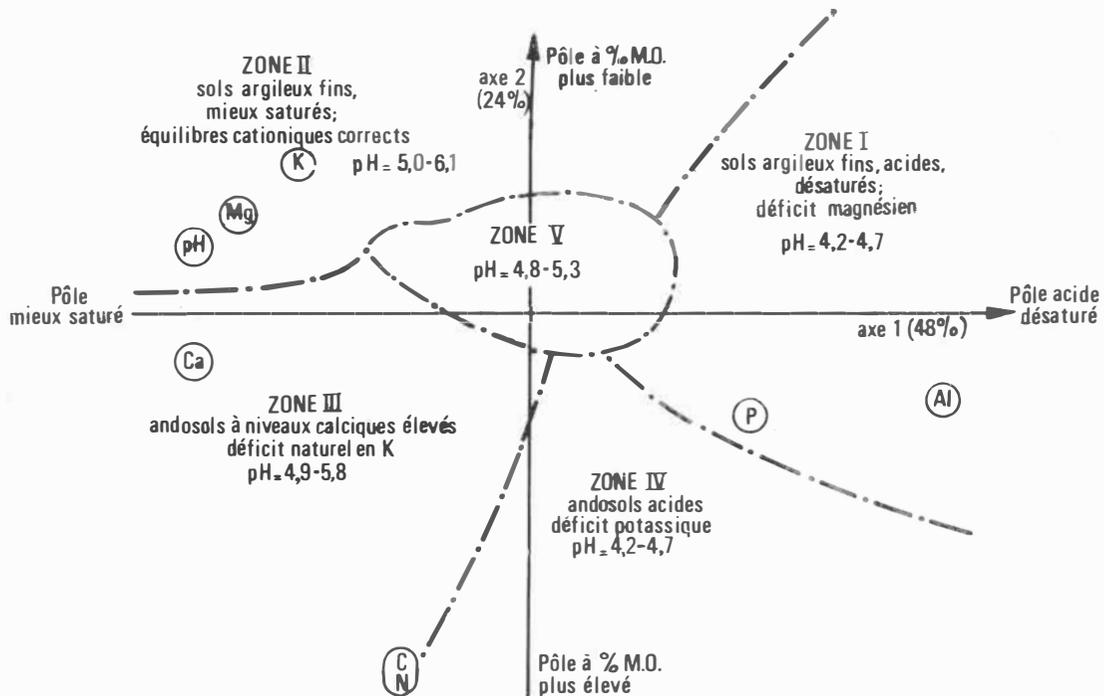


Figure 2 • ACP-8 VARIABLES : % C, N TOTAUX, P DISP, pH-EAU; Ca, Mg, K, Al ECHANGEABLES (HORIZONS SUPERFICIELS 00-25 cm, 151 POINTS).

La représentation des variables dans le système d'axes 1 et 2 (72% de la variance totale) fait ressortir :

- sur l'axe 1 : un pôle calcique à pH plus élevé et un pôle acide, désaturé, à teneurs en Al plus élevées (2,5 me/100 g);
- sur l'axe 2 : deux pôles à teneurs en matière organique élevées et plus faibles, correspondant à la perte progressive du caractère andique.

La projection des parcelles et l'identification ponctuelle du type de sol permet de les regrouper en cinq grandes zones pédo-agronomiques (limites en traits discontinus : I à V) : les sols argileux fins, évolués, soit acides et désaturés (I), soit à teneurs en bases élevées (II); les andosols, soit à niveaux calciques et magnésiens élevés (III), soit acides à teneurs relativement fortes en Al échangeable (IV); les sols intermédiaires, argilo-limoneux à argileux, à équilibres cationiques satisfaisants (V).

Les cas de nutriments adéquats correspondent à des sols à teneurs suffisantes et équilibrées en K, Ca, Mg.

Ces corrélations permettent l'utilisation des cartes pédo-logiques détaillées pour la programmation de la fumure. La zonalité pédo-agronomique proposée ci-dessous est définie à partir des propriétés physico-chimiques et morphologiques des sols. Elle influe sur la nutrition du bananier, la répartition de son système racinaire, et donc sur la productivité actuelle. Pour une même zone, les différences de potentiel de production sont principalement liées aux techniques culturales, secondairement à des accidents au niveau du profil cultural : pierrosité, drainage.

● Zone I.

- sols argileux, fins (kaolinite - halloysite), acides (pH* = 4,2 - 4,5) et désaturés avec un déséquilibre K-Mg; réserves cationiques faibles;
- nutrition magnésienne insuffisante (bleu magnésien), faible assimilation en P et parfois en K (carences doubles K-Mg); assimilation du Mn nettement plus forte que dans les autres zones;

* pH-eau : rapport sol-eau : 1/2,5.

- sols particulièrement tassés (horizon argilique - structures à tendance massive) avec un enracinement limité et mal réparti - aussi bien latéralement qu'en profondeur (10-20 cm) - ; un système racinaire plus profond améliore l'assimilation en Mg (absence de bleu) et en P;
- potentiels de production : médiocres à faibles.

● Zone II.

- sols argileux fins (halloysite - kaolinite), mieux saturés et à pH* plus élevés (5,0-6,1); réserves élevées en Ca, Mg; bonne rétention de K;
- nutrition cationique adéquate;
- présence d'un horizon argilique limitant l'enracinement à une profondeur de 20-30 cm;
- potentiels de production; moyens à élevés en fonction de l'itinéraire technique.

● Zone III.

- andosols à niveaux calciques élevés et à pH* corrects (5,0-6,0); réserves élevées en Ca et Mg; déficit naturel en K facilement corrigé par la fertilisation;
- système racinaire mieux réparti et plus profond (35-40

cm dans les sols peu pierreux) ; lissage des flancs du sillon surtout lorsque le sillonnage est réalisé en terre humide ;

- potentiels de production : très variables, faibles à élevés ; la fertilisation potassique manque ; certains sols sont pierreux et/ou graveleux (irrigation indispensable).

● Zone IV.

- andosols acides, à teneurs relativement élevées en Al échangeable (1,2-2,5 mé/100 g), moins saturés ($\text{pH}^* = 4,2-4,6$) ; déficit naturel en K, réserves élevées en Ca, Mg ;
- faible assimilation en K, facilement corrigée par la fertilisation ; localement plus faible assimilation en P ;
- profil cultural similaire à celui de la zone III ;
- potentiels de production : faibles à bons ; la fertilisation potassique manque et l'acidité du sol semble avoir peu d'incidence sur le potentiel de production ; certains sols sont particulièrement pierreux et leur irrigation est indispensable.

● Zone V.

- sols argilo-limoneux (halloysite) à teneurs en bases satisfaisantes, généralement bien équilibrés ($\text{pH}^* = 4,8-5,4$) ;
- nutrition cationique généralement adéquate ; cependant fortes carences potassiques sur sols mis en culture très récemment et non corrigés ;
- le système racinaire est suffisamment profond (25-35 cm de profondeur) ; sa répartition latérale est limitée (sillonnage) ;

* - pH-eau : rapport sol-eau : 1/2,5.

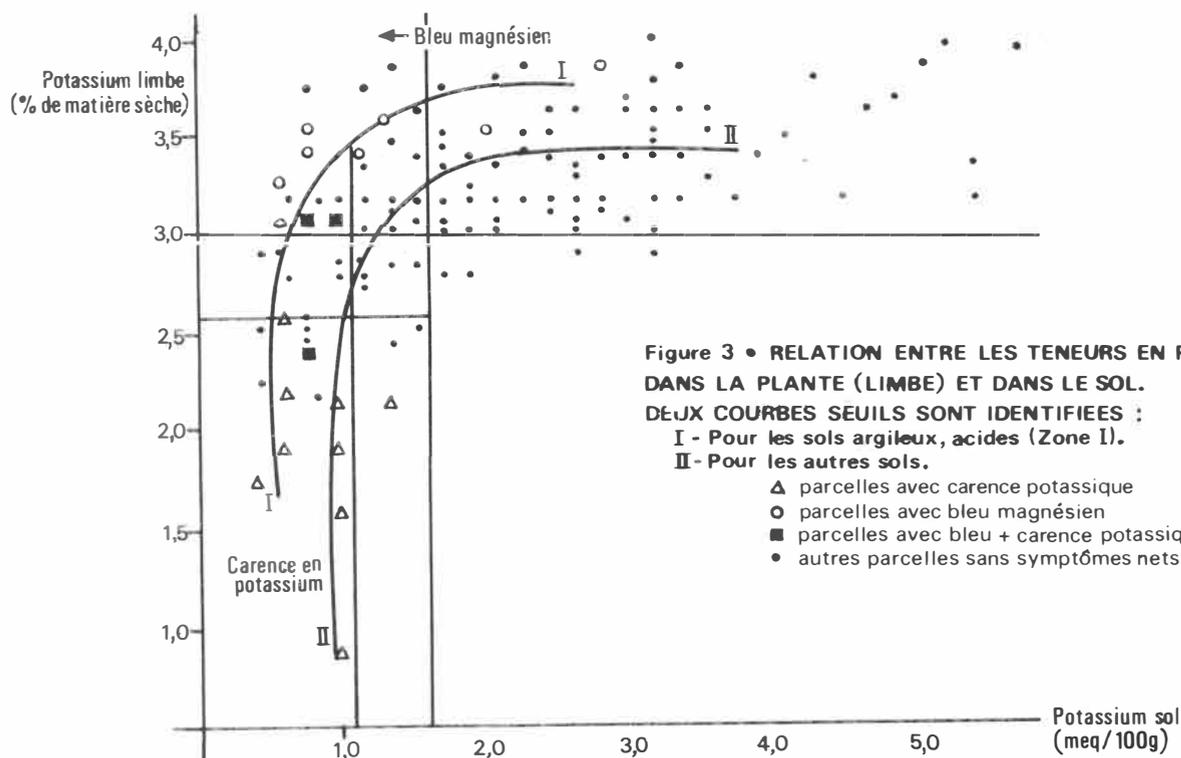


Figure 3 • RELATION ENTRE LES TENEURS EN POTASSIUM DANS LA PLANTE (LIMBE) ET DANS LE SOL.

DEUX COURBES SEUILS SONT IDENTIFIEES :

I - Pour les sols argileux, acides (Zone I).

II - Pour les autres sols.

△ parcelles avec carence potassique

○ parcelles avec bleu magnésien

■ parcelles avec bleu + carence potassique

• autres parcelles sans symptômes nets visuels.

- potentiels de production : faibles à élevés ; l'effet de la fertilisation potassique est positif.

Outre la précision de la nature des relations sol-plante et la définition de zones pédo-agronomiques, les ACP ont permis de sélectionner les facteurs pédologiques «diagnostiques», c'est-à-dire ayant une incidence non négligeable sur le potentiel de production.

Il s'agit des teneurs en argile et en matière organique, propriétés liées à l'évolution des sols (chronotoposéquence), des teneurs en Ca et K échangeables, de la proportion du K par rapport à la somme des trois cations et de la proportion en graviers dans le profil cultural.

Les déséquilibres cationiques ont été identifiés comme facteurs limitants importants. Ceci nous a conduits à étudier les relations entre les trois cations par simple voie graphique.

Niveaux critiques et proportions optimales.

Les relations entre les cations K, Ca, Mg furent systématiquement étudiées dans le sol et la plante.

Les niveaux critiques (niveau limite de déficience) et les proportions optimales de ces trois éléments sont définis grâce à l'interprétation des graphiques (figure 3 pour exemple), corrélés aux appréciations de la nutrition minérale au champ (symptômes de carence) et aux potentiels de production.

Ces niveaux sont résumés dans les tableaux 1 et 2

Ces critères d'interprétation seront systématiquement utilisés dans le cadre du suivi annuel sol-plante pour les conseils de fertilisation.

TABLEAU 1 - Diagnostic foliaire (analyse du limbe interne de la feuille APFD).

Niveau critique (en p. 100 de matière sèche)	Teneurs adéquates	Proportions optimales (p. 100 de S1 = K + Ca + Mg)
K 2,60	3,0 - 3,9	52 - 60
Ca	0,66 - 1,00	22 - 29
Mg 0,25	0,30 - 0,45	16 - 25

TABLEAU 2 - Diagnostic sol (couche superficielle 0-25 cm).

Niveau critique (en méq/100 g sol)	Teneurs adéquates	Proportions optimales (p. 100 de Ss = K + Ca + Mg)
K 1,5 (1,1)*	1,6 - 2,5	12 - 18
Ca	6,0 - 12,0	56 - 66
Mg 1,4	2,0 - 3,5	18 - 30

* - (1,1) pour les sols de la zone I.

Incidences hiérarchisées des facteurs pédologiques et techniques sur le potentiel de production.

La méthode de régression par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été utilisée ; elle ne nécessite pas l'hypothèse de linéarité des relations et permet la prise en compte de variables de nature différente. En effet celles-ci peuvent être des *variables quantitatives*, soit discrètes

(nombre de mains ♀ de l'inflorescence), soit continues (teneur en Ca échangeable) ou des *variables qualitatives*, sans structure (précédent cultural) ou avec structure basée sur une hiérarchie a priori (alimentation potassique : bonne, moyenne, insuffisante).

Cette harmonisation vise à transformer toutes les données en variables qualitatives réparties en classes codées, d'où les tableaux ci-après :

TABLEAU 3 - Les six variables «pédologiques» sélectionnées à partir des ACP, sont réparties en classe :

Variable	Classe	Code
Texture	argile	T1
	argile limoneuse	T2
	autres	T3
Teneur en carbone total (p. 100)	0 - 2	C1
	2 - 3	C2
	3 - 4	C3
	> 4	C4
Teneur en Ca échangeable (mé/100 g)	0 - 3	CA1
	3 - 6	CA2
	6 - 9	CA3
	> 9	CA4
Teneur en K échangeable (mé/100 g)	0 - 1	K1
	1 - 2	K2
	2 - 3	K3
	> 3	K4
Proportion en K échangeable (K/Ss* x 100)	0 - 8	KSS1
	8 - 16	KSS2
	16 - 24	KSS3
	> 24	KSS4
Contenu en graviers p. 100 (estimation 0-60 cm prof.).	0 - 3	G1
	3 - 15	G2
	15 - 35	G3
	> 35	G4

* - Ss : K + Ca + Mg (mé/100 g).

TABLEAU 4 - Les techniques culturales furent choisies en fonction de leur caractère différentiel.

Variable	Classe	Code
Irrigation	absence	IRI1
	présence	IRI2
Type de jachère	absence	JA1
	jachère propre	JA2
	défriche non entretenue	JA3
Sous-solage	absence	SOS1
	présence	SOS2
Pralinage	absence	PRA1
	présence	PRA2
Fertilisation potassique	présence	FK1
	absence	FK2

TABLEAU 5 - Les valeurs du potentiel de production (circonférence du faux tronc à 1 m) sont réparties en sept classes de potentiel croissant :

Classe de potentiel Code de productivité croissante	1	2	3	4	5	6	7
circonférence (cm) du faux tronc à 1 m	< 45	45 -	49 -	53 -	57 -	61 -	> 65
		49	53	57	61	65	

L'AFC a donc porté sur un tableau de contingence multiple croisant les modalités des 11 variables explicatives et les 7 modalités de la variable à expliquer (potentiel de production). Chaque case du tableau contient le nombre d'individus prenant simultanément la modalité de la variable

explicative et la modalité du potentiel de production. Cette analyse permet de préciser l'incidence du sol et de l'itinéraire technique sur le potentiel de production, les facteurs limitants étant hiérarchisés (figure 4).

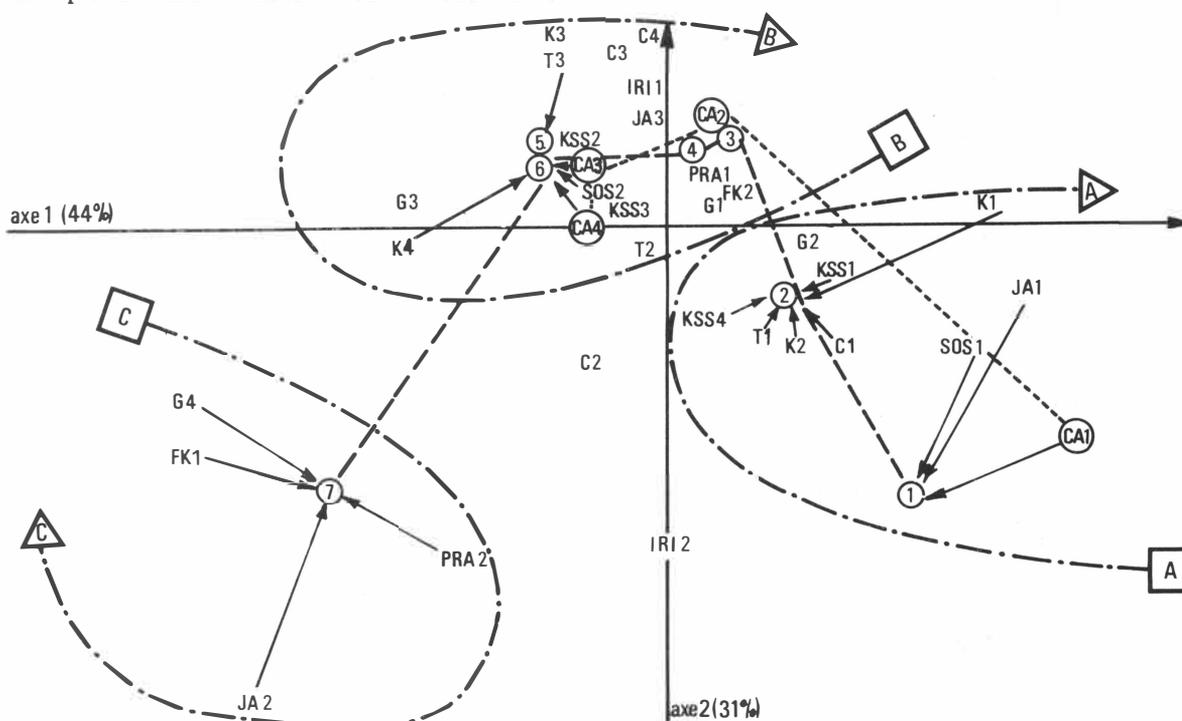


Figure 4 • AFC PRECISANT L'INCIDENCE DU SOL ET DE L'ITINERAIRE TECHNIQUE (11 variables à 2, 3 ou 4 modalités) SUR LE POTENTIEL DE PRODUCTION (7 classes 1 à 7), LES CODES DES CLASSES ETANT SPECIFIÉS DANS LE TEXTE.

Ensemble A : les facteurs défavorables à la culture bananière sont d'ordre pédologique (acidité -CA1-, déséquilibres cationiques -KSS1, KSS4-) et technique (absence de jachère -JA1- et de sous-solage -SOS1-).
 Ensemble B : les potentiels moyens à bons (3 à 6) sont atteints sur sols fertiles (C3, C4, CA4, T3, K3, etc.), malgré certains déficits techniques (entretien de la jachère, fertilisation, déficit hydrique, etc.).
 Ensemble C : sur ces sols, une productivité élevée peut être atteinte par la pratique de la jachère propre -JA2-, du pralinage -PRA2- et de la fertilisation potassique -FK1-.

Les médiocres potentiels de production sont liés à la présence de sols argileux fins, acides, lessivés en cations (CA1) et à la non pratique de la jachère (JA1) et du sous-solage (SOS1). Le déficit en potassium (K1, KSS1) de certains sols est un facteur limitant important, de même que son excès (KSS4).

Les sols les plus évolués - argileux et relativement pauvres en matière organique (T1, C1),- ont une aptitude plus faible pour la culture bananière.

Sur les sols à propriétés physico-chimiques adéquates (T3, C3, C4, KSS2, KSS3), certaines techniques ont un effet marquant sur les rendements : la fertilisation potassique (FK1), la pratique de la jachère propre (JA2) et du pralinage de la souche avant plantation (PRA2).

L'effet du sous-solage (SOS2) sur le potentiel de production est net, de même que celui de la teneur en calcium (CA3, CA4). L'irrigation (IRI2) n'est pas liée aux meilleurs rendements : pratiquée sur des sols à niveaux de fertilité différents, elle n'induit pas un net surcroît de production (potentiel 1,2) dans le cas des terres dégradées (CA1). Une fertilisation appropriée de celles-ci rentabiliserait leur irrigation.

Les sols plus graveleux (G4) ont une potentialité élevée en culture irriguée : il s'agit de sols récents, les graviers étant fins (2-25 mm) (lapillis, scories) , très poreux et riches en minéraux altérables.

Ces sols garantissent souvent une meilleure répartition du système racinaire, mais l'irrigation et la fertilisation potassique y sont indispensables.

En résumé, les facteurs limitant la production bananière dans la zone étudiée se hiérarchisent comme suit :

1. acidité du sol, absence de jachère et de sous-solage ;
2. fortes teneurs en argile et faibles teneurs en matière organique ; déséquilibres cationiques ;
3. la non pratique du pralinage et de la fertilisation potassique ;
4. le non entretien de la jachère et le déficit hydrique en saison sèche.

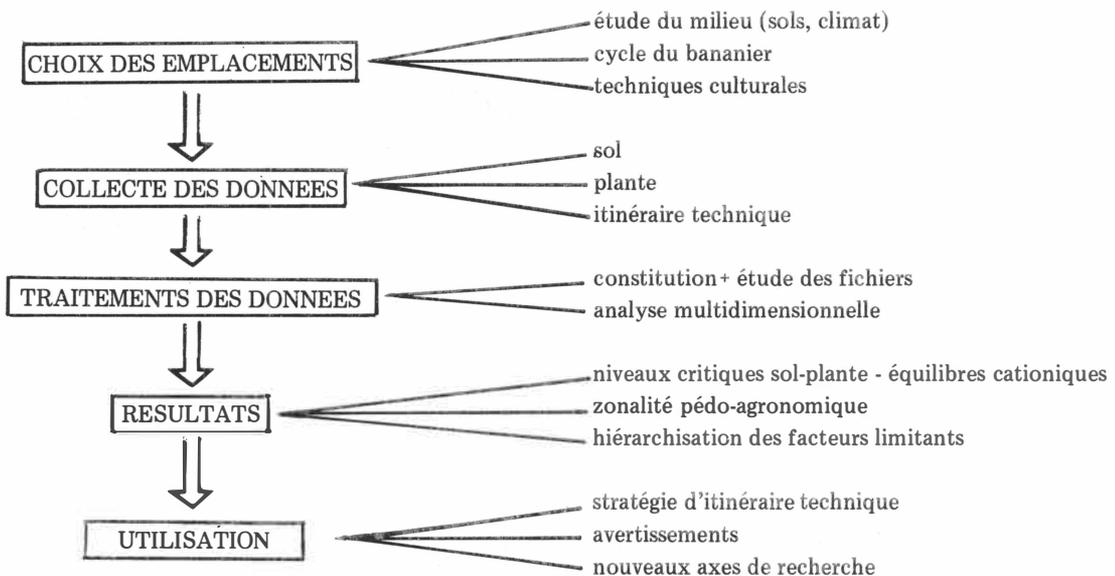
Il est important de noter que l'acidité actuelle reflète un historique particulier : l'utilisation du sulfate d'ammoniaque pendant plusieurs décennies, l'ancienneté de la mise en culture bananière. La gravité de cette acidification est cependant fortement liée au type de sol et à ses réserves minérales (DELVAUX et MOUKAM, 1982 ; DELVAUX, LASSOUDIÈRE, PERRIER, 1984).

Enfin la figure 4 permet de distinguer globalement trois ensembles (A, B, C) :

	A	B	C
conditions pédologiques	inaptes	aptes	aptes
itinéraire technique	inadéquat	déficitaire	adéquat
productivité	faible	moyenne	élevée

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En guise de conclusion, on schématise comme suit la conduite de l'Enquête Diagnostic :



Au niveau de l'utilisation des résultats, le diagnostic permet une stratégie d'itinéraire technique adaptée en fonction du type de sol et de l'itinéraire actuel (classement des parcelles en fonction des facteurs pédologiques, techniques et de leur productivité - DELVAUX, LASSOUDIÈRE, 1984).

Quant aux perspectives, elles concernent deux volets importants : les avertissements agricoles et l'adaptation de la recherche aux besoins de la profession.

Avertissements agricoles.

La pleine valorisation des résultats de l'Enquête Diagnostique ne pourra être atteinte que dans le cadre d'un système d'avertissements-conseils couvrant tous les aspects des itinéraires techniques en culture bananière (LASSOUDIÈRE, 1978 et 1981 ; GANRY, 1979 et 1984).

L'objectif d'un tel système est d'obtenir la productivité optimale en mettant en oeuvre les techniques culturales à leur maximum d'efficacité pour chaque zone pédo-agronomique. Quatre principes de base sont à prendre en compte :

- approfondissement de la connaissance du milieu naturel et suivi permanent de sa dynamique (sol, climat, parasitisme) ;
- réajustement régulier des pratiques culturales à partir des résultats de recherche et des données du milieu : avertissements (fertilisation, irrigation, intervalle fleur/coupe, cercosporiose, trachysphaera) et suivis (profil cultural, charançons, nématodes) ;
- formation et information des personnels à divers niveaux de responsabilité ;
- recherche permanente d'amélioration des itinéraires techniques.

D'ores et déjà, l'établissement de zones pédo-agronomiques sert de base aux conseils de fertilisation pour les éléments K, Ca, Mg. Ces conseils seront formulés à partir d'un suivi annuel sol-plante effectué dans une dizaine de parcelles pilotes par zone pédo-agronomique.

Recherche - Développement.

L'expérimentation agronomique étant essentiellement menée de manière analytique, on peut en concevoir certaines limites : utilisation des résultats en milieu réel, extra-

polarisation, risques de non-réponse, etc. (A. LASSOUDIÈRE, 1978, 1981).

Ces limites sont souvent liées à une connaissance insuffisante ou incomplète des facteurs limitants et surtout de leur hiérarchisation, mais aussi à une faible appréhension des interactions entre le sol, la plante - ou la population de plantes -, le climat, le parasitisme et l'itinéraire technique, l'historique pouvant exercer une incidence plus ou moins marquée en fonction de ces divers facteurs.

Par une approche plus globale, l'Enquête Diagnostique permet de comparer des milieux et des itinéraires techniques différents simultanément, en s'appuyant sur la variabilité *in situ* et en ne négligeant pas les interactions entre variables.

Un diagnostic général est posé sur la culture dans la zone étudiée mais les résultats doivent déboucher sur une expérimentation plus pertinente et mieux localisée et sur la proposition de nouveaux axes de recherche. L'Enquête se limite en effet à un constat - utile pour les développeurs et les producteurs - mais n'apporte pas d'innovations sur le plan strictement agronomique.

Enfin, un lien capital se constitue entre la recherche et le développement par le biais des avertissements agricoles, et en particulier par «effet retour» à la recherche. Ils sont en effet susceptibles de promouvoir l'évolution des systèmes de culture et de définir de nouveaux thèmes de recherche, mieux adaptés à la fois aux besoins de la profession et aux exigences de la recherche appliquée.

De nouveaux axes pourraient par exemple inclure :

- une analyse de l'effet jachère : varie-t-il en fonction du milieu ? Est-il de nature biologique (parasitisme) ou physico-chimique ?
- l'étude des «composantes» de l'acidité du sol : d'identiques et basses valeurs du pH-eau (4,2-4,5) n'ont pas la même incidence sur la productivité selon le type de sol : très faible sur andosols, l'incidence peut être particulièrement dépressive sur les sols plus évolués à kaolinite et halloysite ;
- la dynamique des cations dans le sol en fonction de la pluviosité dans chaque zone pédo-agronomique ; la susceptibilité des sols au tassement ;
- la recherche d'itinéraires techniques permettant de préserver un environnement édaphique et biotique compatible avec la culture bananière. En effet, la monoculture se traduit par une évolution de cet environnement, pouvant à terme, compromettre la culture elle-même.

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT (B.), GAILLARD (J.P.), PY (C.), LOSSOIS (P.) et MARCHAL (J.). 1973.
Influence de l'altitude sur le comportement de l'ananas «Cayenne lisse» : essais réalisés au pied du Mont Cameroun.
Fruits, 28 (3), 203-214.

AWAH (E.T.). 1979.
Physical, chemical, micromorphological and field characteristics of three soils developed in volcanic mudflows of the Cameroun Mountain and their classification.
MSc. Thesis, Wageningen, The Netherlands.

- CHARPENTIER (J.-M.) et MARTIN-PREVEL (P.). 1968.
Carences et troubles de la nutrition chez le bananier.
Guide de diagnostic pratique.
Ed. IRFA, Paris, 75 p., 86 diapositives.
- CONESA (A.P.), ROUX (M.), BAILLON (P.), HADJ MILOUD (D.), MAGINIEAU (C.) et LEMAIRE (G.). 1975.
Etude globale de la culture de la betterave à sucre sur le périmètre du Haut-Chelif.
I.- Analyse factorielle des correspondances.
Ann. Agron., 26 (6), 709-740.
- CONESA (A.P.), CAZES (P.), TOMASSONNE (R.), BAILLON (P.), HADJ MILOUD (D.), MAGINIEAU (C.) et LEMAIRE (G.). 1976.
Etude globale de la culture de la betterave à sucre sur le périmètre du Haut-Chelif.
II.- Analyses en régression.
Ann. Agron., 27 (1), 61-84.
- CONESA (A.P.), METTAUER (H.), HAEFLINGER (R.), TRENDEL (R.), TUAL (Y.) et GROSS (P.). 1979.
Etude de la productivité de l'agro-système betterave en Alsace.
Essai d'établissement d'un modèle empirique prédictif.
Ann. Agron., 30 (3), 281-303.
- DELVAUX (B.) et LASSOUDIÈRE (A.). 1984.
Etude agropédologique de la zone bananière camerounaise :
Enquête Diagnostic.
Institut de la Recherche agronomique, MESRES, Cameroun.
- DELVAUX (B.) et LASSOUDIÈRE (A.). 1984.
Le problème du passage de la Recherche au Développement : une méthodologie d'étude des relations sol-plante-techniques culturales : Résultats pour la culture bananière camerounaise et perspectives.
Conférence à l'ENSA, Yaoundé, Juin 1984.
- DELVAUX (B.), LASSOUDIÈRE (A.) et PERRIER (X.). 1984.
Influence des conditions pédologiques et des techniques culturales sur la production bananière au Cameroun : Enquête Diagnostic.
- Partie I : Les caractéristiques de la bananeraie camerounaise.
- Partie II : Méthodologie.
- Partie III : Relations sol-plante et définition des niveaux critiques.
- Partie IV : Utilisation des cartes pédologiques pour les avertissements de fertilisation.
- Partie V : Effets des facteurs diagnostiques.
- Partie VI : Conclusions et perspectives.
Revue Science et Technique (Cameroun, MESRES) sous presse.
- DELVAUX (B.) et MOUKAM (A.). 1982.
Soil fertility degradation and restoration under banana cultivation - Ekona Banana Estate of CDC - Centre de Recherches agronomiques d'Ekona, Section de Pédologie, RT n° 19.
- DUMORT (J.C.). 1968.
Notice explicative sur la feuille Douala-Ouest. Carte géologique de reconnaissance au 1/500 000.
Direction des Mines et de la Géologie, Yaoundé, 1968.
- GANRY (J.). 1979.
Analyse du milieu climatique et la notion d'avertissement en agriculture : cas de la culture bananière aux Antilles.
Actes du Colloque d'Abidjan - Informatique et Biosphère. Journées d'études du 22 novembre 1979, 67-87.
- GANRY (J.). 1984.
Evolution des techniques culturales et des systèmes de culture bananière aux Antilles françaises.
Fruits, 39 (1), 43-49.
- LASSOUDIÈRE (A.). 1978.
Projet de mise au point d'un système d'avertissements et de conseils (SAC) pour la zone bananière de l'Agneby (République de Côte d'Ivoire).
IRFA, Doc. int. R.A. 78, n° 29, 11 p.
- LASSOUDIÈRE (A.). 1981.
Mise au point d'un système d'avertissements - Conseils pour la zone bananière du Niéky : Bilan 1979-1981.
IRFA, Côte d'Ivoire, 70 p.
- LOSSEAU (A.). 1979.
Caractéristiques d'une chrono-toposéquence sur matériaux volcaniques du Cameroun.
Université Catholique de Louvain, Belgique.
- 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.
Fruits, 35 (9), 507-518.
- SIEFFERMAN (G.). 1973.
Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun : variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical.
ORSTOM, Paris.
- SMITH (G.). 1978.
Proposal for reclassification of Andepts.
- TEZENAS du MONTCEL (H.) et LAVILLE (E.). 1977.
Influence des conditions climatiques sur le développement du *Trachysphaera fructigena* sur bananier dans le Sud-ouest du Cameroun.
Fruits, 32 (2), 77-85.
- VAN WAMBEKE (A.). 1982.
Calculated soil moisture and temperature regimes of Africa.
Soil Management Support Services (SMSS), Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, SMSS Technical Monograph B.
- ICOMAND (International Committee on the classification of Andisols) Circular letter n° 5 : Proposed revision of the 1978 Andisol proposal.
New Zealand Soil Bureau, 1983.
- IRA-FAO. Soils and Soil Fertility management of the lands of the Ekona Banana Estate (CDC).
Centre de Recherches agronomiques d'Ekona - Section Pédologie, R.T. n° 11, 1980.
- IRA
Rapports annuels des Centres de Recherches agronomiques d'Ekona et de Nyombé (Cameroun).
- USDA - Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.
U.S. Soil Conservation, USDA Agric. Handbook n° 436, 1975.

