

Quelques conséquences agronomiques de l'introduction d'une sole fourragère dans une succession culturale du milieu tropical humide de Côte d'Ivoire

Jean-Claude TALINEAU**, Guy HAINNAUX*,
Bernard BONZON**, Claude FILLONNEAU*,
Didier PICARD**, Marcel SICOT***,

Chercheurs agronomes de l'ORSTOM

* *Laboratoire d'Agronomie du Centre ORSTOM
d'Adiopodoumé B.P. V 51, Abidjan, Côte d'Ivoire*

** *Services Scientifiques Centraux*

70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy

*** *ORSTOM, B.P. 182, Ouagadougou, Haute-Volta
avec la collaboration technique d'Etienne BONNIN*

RÉSUMÉ

Introduire ou non une sole fourragère, assimilée à une jachère, dans une succession de cultures annuelles est une des questions la plus fréquemment posée aux chercheurs agronomes par les responsables de la mise au point de systèmes culturaux modernes de production agricole.

Pour apporter des informations sur l'intérêt agronomique de ces cultures, une expérimentation d'étude des interactions plante-sol dans le cas de quatre espèces fourragères — Panicum maximum, Cynodon aethiopicus, Stylosanthes guyanensis, Centrosema pubescens — a été conduite en Côte d'Ivoire pendant six années.

Il semble que les propriétés du sol ne soient modifiables que dans d'étroites limites. Les améliorations les plus sensibles portent sur la stabilité structurale et l'accroissement du taux de matière organique. Par contre les propriétés d'échange du sol et son acidité se dégradent le plus souvent. L'évolution des caractéristiques chimiques est sous la dépendance étroite des techniques d'exploitation des fourrages, principalement la fertilisation. Cette dernière influence est également sensible au niveau des effets résiduels sur les cultures suivantes qui sont par ailleurs relativement fugaces.

Parce qu'elles sont à l'origine de bilans en azote très largement positifs ou encore aptes à réduire dans certains cas l'acidification du sol, les légumineuses fourragères, dont les conditions d'exploitation sont par ailleurs peu contraignantes, doivent entrer dans les rotations de cultures annuelles, tout particulièrement dans les conditions de milieu du sud de la Côte d'Ivoire. Il en sera probablement ainsi tant que la maîtrise des principaux facteurs de production ne sera pas mieux assurée.

ABSTRACT

Whether to insert or not a forage crop as a fallow in annual crop rotation is one of the most frequent questions put to agronomists by the experts in charge of the elaboration of modern cropping systems for agricultural production.

In order to bring some informations about the agronomical interest of these crops, an experimentation to study the interactions between plant and soil in the case of four forage species — Panicum maximum, Cynodon aethiopicus, Stylosanthes guyanensis, Centrosema pubescens — has been carried out in the Ivory Coast for six years.

It seems that soil properties can only be modified between narrow levels. The most noticeable improvements concern structure stability and organic matter. On the other hand, in most cases, the cation exchange capacity and the pH value of the soil decrease. The evolution of chemical characteristics closely depends on forage management techniques, chiefly fertilizing. The latter influence is also felt upon the residual effects on the following crops, but they are rather fugacious.

As they give highly positive nitrogen balance and can, in some cases, reduce soil acidity, and as their cultivation conditions are not very constraining, forage legumes must be inserted in annual crop rotations, especially in the agricultural environment of southern Ivory Coast. It will be probably so, as the main factors of production have not been better mastered.

Graminées et légumineuses fourragères en milieu tropical, et en Côte d'Ivoire en particulier, sont l'objet d'une controverse entre agronomes depuis de nombreuses années.

L'essentiel du débat porte sur l'opportunité d'intégrer une sole fourragère dans un système de cultures annuelles stabilisé dans l'espace. Détracteurs et défenseurs de l'un ou l'autre modèle de rotation ne manquent pas d'arguments.

Pour les premiers, il n'y a pas nécessité d'introduire une sole fourragère dans une succession de cultures de plantes annuelles (Anonyme, 1975) si des règles simples telles que l'apport d'engrais minéraux et l'enfouissement de résidus de récolte sont appliquées (1). Bien plus, cette sole supplémentaire hypothèque le succès de la modernisation du schéma de production car elle accroît la complexité de la pratique agricole en y introduisant des exigences nouvelles peu compatibles avec le niveau de technicité actuel des agriculteurs. Enfin, la faiblesse du pouvoir de transformation de ces fourrages cultivés par les animaux locaux fait en sorte que la cause semble définitivement entendue.

Pour les seconds, favorables à l'intégration de la culture fourragère dans la rotation, cette sole est le plus souvent et abusivement confondue avec une « jachère », et elle doit jouer le rôle supposé de cette dernière à savoir une amélioration de l'ensemble des qualités du sol. Cet objectif n'est pas vain et il semble légitime de considérer que, *sous certaines conditions*, les cultures fourragères sont aptes à mobiliser et restituer dans la couche arable d'importantes réserves organiques et minérales et partant d'améliorer les qualités physiques et chimiques, toutes choses éminemment souhaitables en soi surtout au sein d'une succession de cultures.

Afin d'apporter des réponses à ces questions relatives à l'intérêt agronomique d'une sole fourragère, un programme de recherches destiné à l'étude des principales interactions sol-plantes fourragères a été initié en 1967 en Côte d'Ivoire (2). Une première synthèse partielle des résultats disponibles est possible qui permet, sinon d'harmoniser les points de vue précédents, du moins de définir déjà des critères de jugement objectif de situations culturales ; ces critères offrent la possibilité de raisonner les conséquences agronomiques de certains choix et de préciser certains risques.

(1) Le Buanec : communication orale en Côte d'Ivoire.

(2) Ce programme a fait l'objet d'un protocole d'accord avec le Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire, l'Institut d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays Tropicaux, l'Institut de Recherches Agronomiques tropicales et des Cultures vivrières sur les Stations de Bouaké et Gagnoa.

1. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Le programme de recherches reposait, du point de vue expérimental sur :

— Un dispositif central consistant en une expérimentation multilocale destinée à l'étude des évolutions des principales composantes plante et sol d'une succession culturale constituée de maïs (un cycle), cultures fourragères (trois ou quatre années selon les points d'essai) et maïs (trois cycles), les cultures de maïs servent de test d'homogénéité.

— Des expériences complémentaires plus légères et ponctuelles ayant pour objectif d'apporter des informations plus précises sur certains points comme par exemple l'analyse des rendements d'une culture continue de maïs conduite parallèlement, sur une seule station, aux essais du dispositif central.

Les résultats examinés ici concernent essentiellement ceux recueillis sur une série d'essais du dispositif multilocal.

1.1. CONDITIONS DE MILIEU

Les essais étaient implantés sur trois stations situées respectivement dans le Sud (Centre ORSTOM d'Adiopodoumé), le Centre-Ouest (Station de Recherche Agronomique de Gagnoa) et le Centre (Centre de Recherches Zootechniques de Bouaké) de la Côte d'Ivoire. Les principales caractéristiques édapho-climatiques des milieux de ces trois stations ont été mentionnées précédemment (Picard *et al.* 1973).

Les sols de ces stations appartiennent à la classe des sols ferrallitiques ; leur trait dominant tient à leur plus ou moins intense remaniement. Formés sur granite, de texture argilo-sableuse et gravillonnaire, ils sont moyennement saturés en bases sur les stations de Gagnoa et Bouaké. A Adiopodoumé, les sols sont issus de sables tertiaires ; ils sont sablo-argileux, très désaturés mais relativement bien pourvus en phosphore. Les possibilités de mise en réserve de l'eau des précipitations sont faibles et ne dépassent guère 1 mm par cm de sol en raison de la présence de gravillons ou d'un taux de sable élevé. Ces sols sont de réaction acide avec un pH compris entre 5 et 6. Les réserves minérales et organiques sont dans les trois cas, et surtout à Adiopodoumé, peu abondantes ; par contre, concentrées en surface, elles apparaissent comme facilement utilisables. A l'exception du concrétionnement qui limite la profondeur de sol facilement exploitable par les racines, les propriétés physiques de ces sols ne sont pas défavorables et assurent un bon drainage et une aération correcte.

La région de Bouaké se caractérise par un climat de transition entre le régime à deux saisons des pluies au sud auquel sont soumises les régions de

Gagnoa et Adiopodoumé et celui à une seule saison pluvieuse au Nord de la Côte d'Ivoire. Au cours de la saison sèche le déficit hydrique climatique (ETP-P) est de 370, 250 et 160 mm pour respectivement les stations de Bouaké, Adiopodoumé et Gagnoa. Les excédents hydriques climatiques de saison des pluies sont, dans le même ordre, de 290, 1 000 et 440 mm. Les conditions de sécheresse sont ainsi en moyenne deux fois moins sévères à Gagnoa qu'à Bouaké tandis qu'à Adiopodoumé les risques de pertes par drainage profond sont les plus élevés.

1.2. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

1.2.1. Dispositif expérimental

Les essais du dispositif multilocal étaient du type factoriel 2⁴ à deux répétitions mettant en comparaison pendant trois années (quatre à Adiopodoumé) sur des parcelles de 192 m² deux graminées - *Panicum maximum*, clone G 23 et *Cynodon aethiopicus* - et deux légumineuses - *Stylosanthes guyanensis* et *Centrosema pubescens* - les premières espèces de chacune des deux familles ayant un port « dressé » les secondes un port « rampant ». Les deux autres facteurs consistaient en :

— deux rythmes d'exploitation ; lent : 3 coupes par an ; rapide : 4 à 8 coupes par an, avec exportation des produits de la coupe,

— deux niveaux de fertilisation : avec et sans engrais appelés respectivement F et O, exprimés au tableau I.

Les engrais ont été appliqués en couverture aux trois époques annuelles de coupe du rythme lent, chaque dose étant apportée en deux fois, une et trois semaines après la coupe. Les faibles doses initiales ont été fortement accrues par la suite pour tenir compte et compenser le niveau élevé des exportations. En ce qui concerne l'azote, 60 % ont été apportés sous forme d'urée, le reste sous forme de sulfate d'ammoniaque.

1.2.2. Calendrier cultural

Précédées sur les trois stations de mai à août 1967 par une culture test de maïs, les cultures fourragères ont été implantées en octobre 1967 à Gagnoa et Adio-

podoumé et en mai 1968 à Bouaké. Elles ont pris fin en mars 1971 à Gagnoa et Bouaké et en mars 1972 à Adiopodoumé. Les effets résiduels ont été testés sur trois cultures de maïs successives.

1.2.3. Prélèvements d'échantillons et déterminations analytiques

La production fourragère en matière sèche est déterminée à chaque coupe et sa composition minérale en éléments majeurs est analysée pour situer le niveau des exportations.

Trois fois par an, à un rythme qui correspond à l'exploitation lente des fourrages et approximativement aux principaux changements de saison, toute la biomasse et les résidus végétaux sont mesurés et analysés ce qui permet de déterminer les immobilisations minérales dans les chaumes, collets, litières et racines.

Sur le même rythme, des prélèvements de sol ont été effectués pour obtenir des échantillons constitués par le regroupement de trois sous-échantillons prélevés sur des emplacements tirés au hasard. Les déterminations analytiques pratiquées sur ces échantillons sont destinées à caractériser les évolutions :

— des caractéristiques physiques du sol principalement la stabilité structurale,

— des caractéristiques chimiques concernant notamment la matière organique et les principaux éléments minéraux utilisés par les cultures.

Les résultats et interprétations des analyses d'échantillons de sol présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux horizons de surface 0-10 et 10-25 cm des deux seules stations de Gagnoa et Bouaké, à l'exception de l'analyse des composantes de la stabilité structurale qui concerne également la station d'Adiopodoumé.

1.2.4. Les études de bilan

Elles concernent les éléments minéraux majeurs assurant le fonctionnement du système sol - plante cultivée. Elles consistent pour chaque élément en une comparaison des cumuls des entrées et des sorties de cet élément du système sol-plante.

TABLEAU I
APPORTS ANNUELS D'ENGRAIS.

Apports en kg/ha de	Graminées			Légumineuses		
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 1	Année 2	Année 3
N	150	750	750	30	0	0
P	33	98	98	33	76	49
K	125	622	622	125	510	303
Ca	66	328	328	44	328	164
Mg	0	116	116	0	116	58

En fait, ce système est très ouvert et tout ne peut être contrôlé ; la méthode se borne donc à calculer la différence entre deux états du système sol à l'instant t :
 — l'un réel, soumis à l'ensemble des facteurs de l'évolution, et mesuré à l'instant t,

— l'autre théorique tel qu'il devrait être s'il n'était modifié que par les seuls facteurs contrôlés, à savoir pour un élément donné, un stock initial, augmenté

de l'apport cumulé par les engrais au temps t et diminué de l'exportation cumulée par les coupes et de l'immobilisation résiduelle instantanée à ce même temps t.

Si les différences sont positives c'est dire que le bilan est positif et donc que le système a réalisé des gains qui proviennent :

— d'un transfert d'un horizon à un autre réalisé par

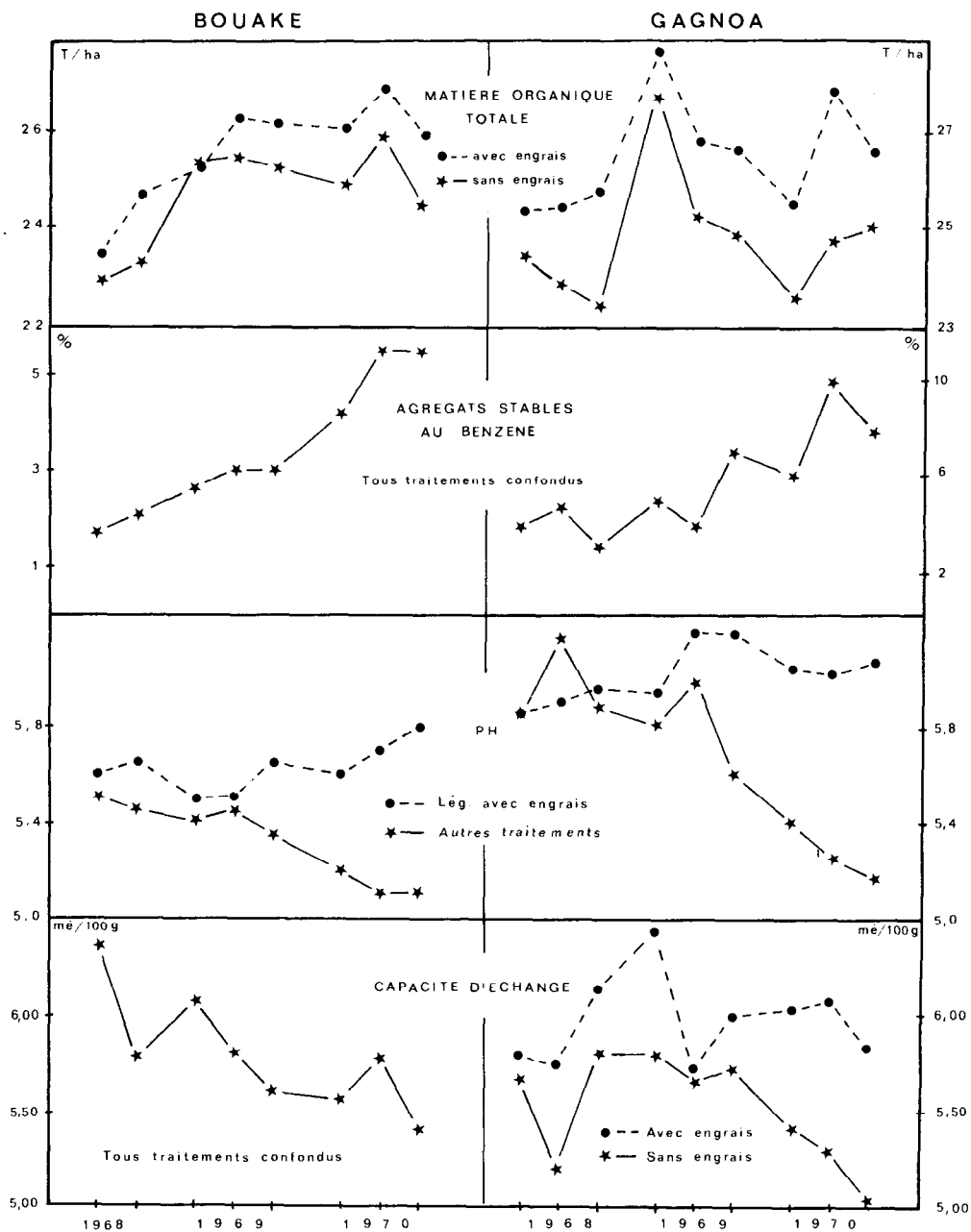


Fig. 1. — Evolution pendant la phase fourragère de quelques caractéristiques du sol dans l'horizon 0-10 cm.

les plantes qui puisent en profondeur et restituent en surface,

— d'apports extérieurs au système à partir de l'atmosphère - fixation symbiotique et non symbiotique d'azote - des eaux de pluie et d'apports latéraux par drainage oblique,

— de transformation à l'intérieur du système telles

que la minéralisation ou la libération des éléments sous des formes assimilables.

Les différences négatives révèlent la dominance des pertes dans le système ; elles ont pour origine :

— la transformation et la fixation des éléments sous des formes non utilisables,

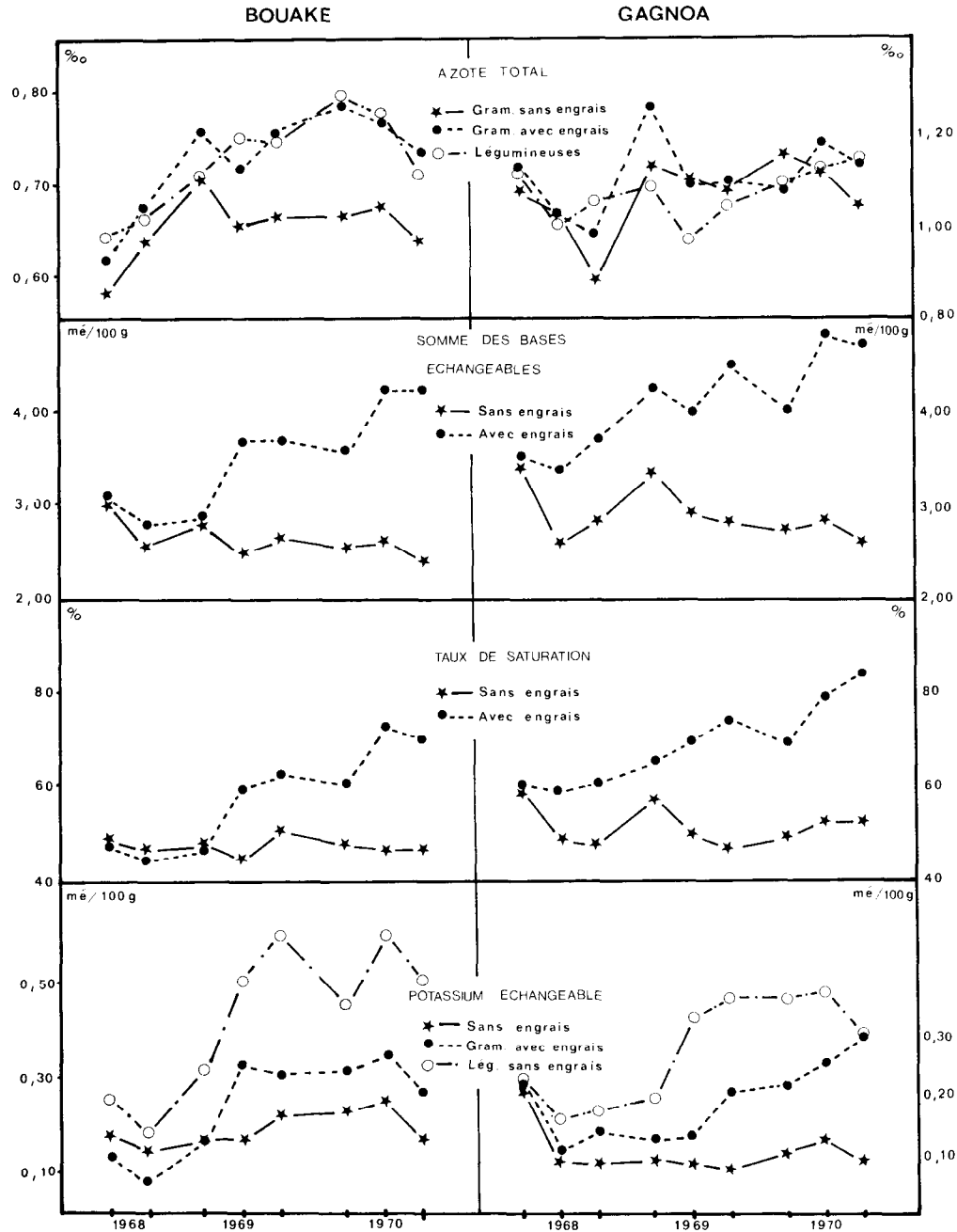


Fig. 2. — Evolution pendant la phase fourragère de quelques caractéristiques du sol dans l'horizon 0-10 cm.

— des entraînements par lixiviation verticale et oblique hors de la tranche de sol considérée,

— des pertes gazeuses particulièrement sensibles au moment des apports d'engrais en couverture.

L'interprétation de ces résultats a évidemment des limites qui tiennent au fait que les hypothèses explicatives sont nombreuses. De plus, il faut bien être conscient de la précision des estimations quantitatives (3) fortement entachées des erreurs dues à l'imprécision des déterminations analytiques et surtout aux difficultés d'échantillonnage d'un milieu extrêmement hétérogène. Néanmoins, dans la mesure où les différences mises en évidence se répètent et s'amplifient au cours du temps il devient possible de dégager les grandes tendances évolutives et d'opposer les principaux traitements culturels. La méthode reste précieuse pour montrer comment se réalise « l'économie » d'un élément dans un système sol-plante cultivée donné.

(3) Ainsi dans le cas de la station de Bouaké la teneur moyenne — 0,77 % — du sol en azote total des 25 premiers centimètres est connue avec un écart type égal à 0,143. Ce taux permet d'estimer un stock d'azote total de 2 800 kg avec une précision de ± 100 kg. L'exportation moyenne d'azote à chaque coupe par les tiges et feuilles est dans le cas le plus favorable — *Panicum maximum* fertilisé — de 72 kg.

2. RESULTATS

Outre sa capacité de production quantitative et qualitative, précédemment étudiée (Picard *op. cit.*, Talineau et al. 1976) l'intérêt d'une culture fourragère peut se mesurer :

— aux modifications bénéfiques de l'état physique et chimique du sol qu'elle engendre,

— aux effets résiduels dont peuvent profiter les cultures suivantes.

2.1. EVOLUTION DE QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DU SOL

Les évolutions dans le temps de quelques caractéristiques de l'horizon de surface 0-10 cm sont reportées en figures 1 et 2 et font ressortir quand elles existent, les plus importantes différences entre traitements.

2.1.1. Analyse de quelques paramètres de l'état physique

Le développement de l'état structural, en particulier sa stabilité, est illustré en figure 1 en considérant l'évolution dans le temps du taux d'agrégats stables au benzène de taille supérieure à 100 μ . L'amélioration de la stabilité structurale est nette et s'amplifie notablement en fin de deuxième année de culture. Peut-

TABLEAU II
EVOLUTION DANS LE TEMPS DE DEUX PARAMETRES D'ESTIMATION DE L'ETAT STRUCTURAL
DANS L'HORIZON 0-10 CM.

Espèces	Taux d'agrégats stables au benzène (%)				Indice de perméabilité K (cm/heure)			
	Gagnoa		Bouaké		Gagnoa		Bouaké	
	Initial	Après 2 ans	Initial	Après 2 ans	Initial	Après 2 ans	Initial	Après 2 ans
<i>Panicum maximum</i>	3,26	8,53	1,42	4,36	12,0	27,7	5,4	35,8
<i>Cynodon aethiopicus</i>	3,99	5,49	1,81	4,67	10,3	15,5	5,7	34,6
Moyenne graminées	3,62**	7,00**	1,62**	4,51**	11,1	21,6	5,5**	35,2**
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	3,66	4,69	1,92	3,86	12,3	14,3	8,6	30,5
<i>Centrosema pubescens</i>	4,06	4,82	1,78	4,32	12,2	17,2	11,3	33,4
Moyenne légumineuses	3,86	4,75	1,85**	4,09**	12,2	15,8	9,9**	32,0**
Moyenne générale	3,74**	5,88**	1,73**	4,30**	11,7	18,7	7,7**	33,6**

** Moyennes significativement différentes au seuil 5 % (test de Newman et Keuls : N et K).

être y-a-t-il lieu de parler d'un effet principal « prairie » puisqu'aucune distinction significative n'apparaît entre les traitements.

Cette amélioration est encore soulignée au tableau II qui met en évidence des différences significatives inter-annuelles pour les principaux traitements sur deux paramètres caractéristiques de la structure : le taux d'agrégats stables au benzène et l'indice de perméabilité.

La signification des traitements culturaux testés sur la stabilité de la structure — Indice d'instabilité (Hénin *et al.*, 1960) — et quelques-uns de ses composants en fin de culture fourragère apparaît au tableau III. Les effets de ces traitements sont nuls à Gagnoa, peu nombreux à Bouaké et liés à l'hétérogénéité du milieu. A Adiopodoumé le taux moyen d'agrégats stables croît avec la fertilisation et sous *Panicum* ; quant au taux d'agrégats stables au benzène il augmente de manière hautement significative sous les plantes à port dressé — *Panicum* et *Stylosanthes* — et sous l'influence de la fertilisation.

2.1.2. Evolution de la matière organique.

Les fluctuations du stock de matière organique totale sont représentées en figure 1 à partir des niveaux moyens atteints par les deux ensembles de traitements recevant ou non des engrais. Les évolutions relatives à ces deux traitements sont voisines, les différences se creusant légèrement au cours du temps. Le fait dominant est un accroissement précoce du stock pendant les dix-huit premiers mois suivi d'une phase plus ou moins en équilibre où alternent pertes et gains. L'amplitude des variations est plus forte à Gagnoa qu'à Bouaké.

Une expression chiffrée des variations annuelles moyennes du stock de matière organique de l'horizon 0-25 cm figure au tableau IV pour chaque espèce cultivée avec et sans engrais. Les résultats de ce tableau font ressortir la succession des deux phases d'accumulation puis de ré-équilibrage entre les constituants du stock qui correspond le plus souvent à une diminution de ce dernier, exception faite du comportement de *Cynodon* à Bouaké. Globalement sur toute la durée de

TABLEAU III
EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA STABILITE STRUCTURALE DES HORIZONS DE SURFACE
ET SES COMPOSANTES EN FIN DE PHASE FOURRAGERE.

Paramètre	Adiopodoumé		Gagnoa	Bouaké
Indice d'instabilité	Pas d'effet significatif		Pas d'effet significatif	<i>Effet principal Bloc**</i> 1 - 0,96 2 - 1,16
Eléments fins dispersés (% des éléments fins totaux)	Pas d'effet significatif		Pas d'effet significatif	<i>Effet principal Bloc*</i> 1 - 60,4 2 - 68,1
Taux moyen d'agrégats stables (%)	<i>Effet principal</i> sans engrais avec engrais	Fertilisation* 2,69 3,42	Pas d'effet	Pas d'effet
	<i>Interaction</i> <i>Panicum</i> <i>Centrosema</i> <i>Stylosanthes</i> <i>Cynodon</i>	Famille x Port* 3,61 3,19 2,76 2,06	significatif	significatif
		5 % N et K		
Taux d'agrégats stables au benzène (%)	<i>Effet principal</i> Dressé Rampant	Port** 2,31 1,73	Pas d'effet	Pas d'effet
	<i>Effet principal</i> sans engrais avec engrais	Fertilisation** 1,68 2,37	significatif	significatif

Seuils de signification du test F : * : 1 % ; ** : 5 % après correction Hartley ; *** : 1 % après correction Hartley.

TABLEAU IV
VARIATIONS DU STOCK DE MATIERE ORGANIQUE TOTALE AU COURS DU TEMPS DANS L'HORIZON 0-25 cm.

Espèce	Fertilisation	Stock de matière organique en t/ha en 1968		Accroissement du stock en %					
				1969/1968		1970/1969		1970/1968	
		Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké
<i>Panicum maximum</i>	sans engrais	51,0	49,0	+ 7,1	+16,7	- 2,4	- 7,2	+ 4,6	+ 8,4
	avec engrais	53,2	56,5	+ 12,4	+16,3	- 3,4	- 5,3	+ 8,6	+ 10,1
<i>Cynodon aethiopicus</i>	sans engrais	50,6	49,9	+ 4,0	+ 7,0	- 6,4	+ 4,3	- 2,7	+ 11,6
	avec engrais	51,0	50,1	+ 18,1	+ 6,0	- 8,5	+ 7,9	+ 8,0	+ 14,4
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	sans engrais	55,1	53,1	+ 6,3	+ 8,5	- 6,8	- 3,1	- 0,9	+ 5,1
	avec engrais	56,1	52,6	- 2,2	+ 9,5	- 6,3	- 2,4	- 8,4	+ 6,8
<i>Centrosema pubescens</i>	sans engrais	48,1	55,2	+ 1,0	+ 8,2	- 7,5	- 2,8	- 6,5	+ 5,1
	avec engrais	53,2	57,8	+ 4,9	+ 5,2	- 4,7	+ 2,1	- 3,6	+ 7,4

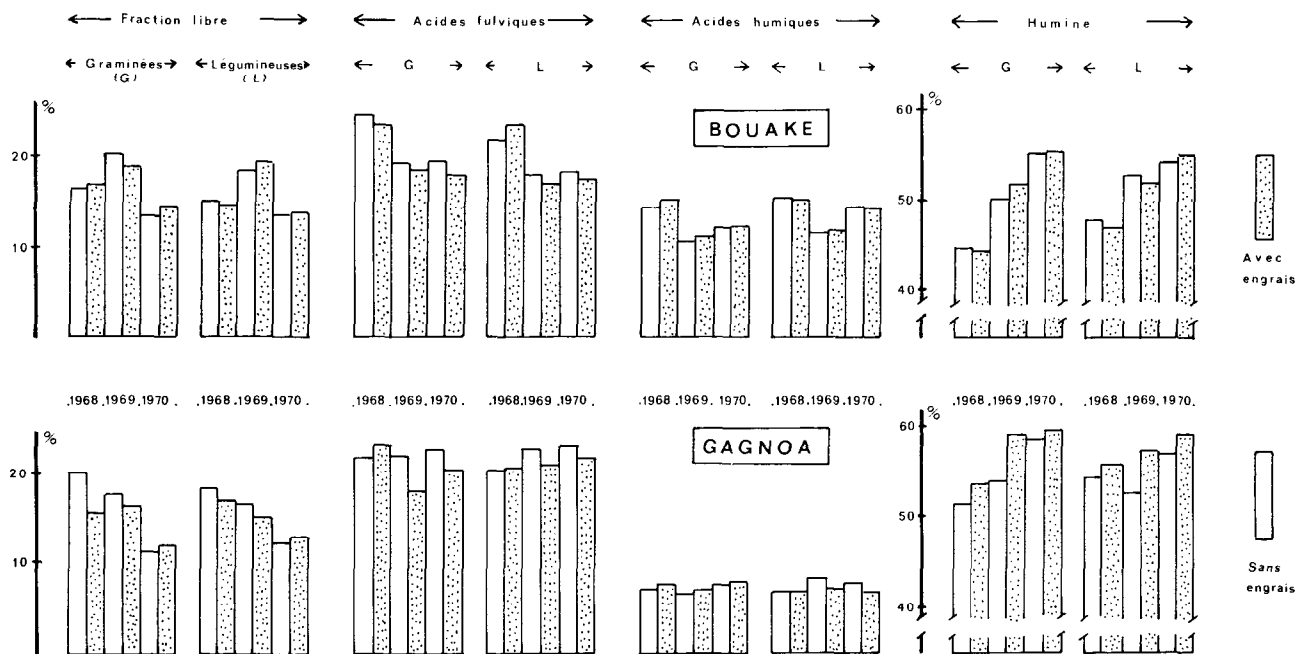


Fig. 3. — Evolution pendant trois années du taux des principaux constituants de la matière organique exprimé en % du carbone total dans l'horizon 0-10 cm pour quelques traitements culturaux.

la culture fourragère les gains sont fréquents, excepté sous légumineuses à Gagnoa et plus importants à Bouaké qu'à Gagnoa ; ils sont plus élevés sous graminées particulièrement quand on les fertilise.

La figure 3 donne un aperçu de l'évolution annuelle de quelques-uns des constituants de cette matière organique dans l'horizon de surface : fraction libre séparée à densité 2, acides fulviques et humiques extraits au pyrophosphate de sodium et inextractible assimilé à de l'humine.

Les stations se différencient par le rapport acides fulviques / acides humiques plus élevé à Gagnoa qu'à Bouaké mais ne sont pas distinctes quant à l'évolution annuelle qualitative de la matière organique. Au demeurant cette évolution bouleverse peu la répartition des diverses fractions et n'est guère influencée par les traitements culturaux. D'une manière générale ce sont les constituants extrêmes qui sont les plus variables c'est-à-dire la fraction libre ou matière organique grossière qui diminue dans le temps et le taux d'hu-

mine qui croît régulièrement. L'humification semble donc aboutir très vite à des produits très polymérisés. Il convient toutefois de noter, à Bouaké, des fluctuations sensibles des taux d'acides fulviques et humiques qui diminuent dans le temps avec, dans le cas des acides humiques, beaucoup moins d'amplitude sous légumineuses.

2.1.3. Fluctuations de l'état chimique du sol

La variation du pH dans le temps est représentée en figure 1. L'évolution sous légumineuses cultivées avec engrais qui conduit au maintien voire à une légère augmentation du pH se distingue de l'ensemble des autres traitements pour lesquels l'accroissement de l'acidité du milieu est de règle et correspond à environ 0,5 unités pH sur les deux stations.

Une seule courbe moyenne, représentée en figure 1, permet de suivre l'évolution de la capacité d'échange pour l'ensemble des traitements à Bouaké. A Gagnoa il semble possible de distinguer l'effet des engrais qui, malgré de fortes variations, contribuent au maintien de cette caractéristique à son niveau initial. A cette exception près la tendance générale pendant la culture fourragère est à la diminution de la capacité d'échange du sol.

Quelques évolutions, relatives à certaines caractéristiques importantes, tel le taux d'azote, ou encore l'état du complexe échangeable, sont rapportées en figure 2.

Les deux stations considérées se différencient à la fois par le niveau des teneurs en azote total, sensiblement plus élevé à Gagnoa, et par leurs principales fluctuations. A Gagnoa aucun traitement particulier ne se distingue et n'entraîne de modification des taux initiaux. A Bouaké par contre il y a enrichissement

général en azote, moins conséquent cependant dans le cas des graminées ne recevant pas d'engrais.

Les évolutions des caractéristiques de l'état du complexe échangeable — somme des bases et taux de saturation — ont des traits communs sur les deux stations étudiées. L'action des engrais est prédominante et conduit à des gains importants en cations échangeables qui accroissent le degré de saturation du complexe. La culture fourragère sans engrais provoque une désaturation du complexe et cela malgré la baisse générale de la capacité d'échange.

L'examen particulier du cas de l'évolution du potassium échangeable fait ressortir un substantiel enrichissement du sol en cet élément dans le cas des cultures pratiquées avec engrais et notamment sous légumineuses en raison du large excédent de la fertilisation sur les exportations. Sans apport d'éléments minéraux il y a maintien à un seuil minimal très faible.

2.2. LES BILANS EN AZOTE ET POTASSIUM DANS LE SYSTÈME SOL-PLANTE FOURRAGÈRE

Les bilans en azote et potassium des quatre espèces fourragères étudiées apparaissent au tableau V. Ils ont été établis pour la tranche de sol 0-25 cm et dans les deux conditions de fertilisation. Ils constituent des moyennes annuelles relatives à la deuxième et troisième année de culture.

Les bilans en azote mettent en évidence trois types de comportement dont l'analyse détaillée, dans les conditions de Bouaké, a déjà été effectuée (Hainnaux *et al.*, 1976).

— Le cas des légumineuses, avec ou sans fertilisation — l'apport d'azote étant de toute façon nul — pour lesquelles le bilan est positif et croissant dans le temps.

TABLEAU V

BILAN CUMULE EN AZOTE ET POTASSIUM EN DEUXIÈME ET TROISIÈME ANNÉE DE CULTURE FOURRAGÈRE DANS LE SYSTÈME PLANTE-SOL (tranche de sol 0-25 cm).

Espèce	Fertilisation	Bilan cumulé plante-sol-engrais (kg de N total à l'ha)				Bilan cumulé plante-sol-engrais (kg de K échangeable à l'ha)			
		En 1969		En 1970		En 1969		En 1970	
		Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké	Gagnoa	Bouaké
<i>Panicum maximum</i>	sans engrais	+ 987	+ 233	+ 957	+ 88	+ 599	+ 325	+ 683	+ 412
	avec engrais	+ 832	+ 193	+ 407	- 361	+ 554	+ 316	+ 621	+ 397
<i>Cynodon aethiopicus</i>	sans engrais	+ 293	- 64	+ 800	+ 99	+ 362	+ 184	+ 538	+ 389
	avec engrais	- 376	- 454	- 847	- 578	+ 279	+ 58	+ 254	- 54
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	sans engrais	+ 528	+ 316	+ 964	+ 489	+ 140	+ 151	+ 316	+ 332
	avec engrais	+ 154	+ 322	+ 633	+ 578	+ 49	+ 123	+ 57	+ 102
<i>Centrosema pubescens</i>	sans engrais	+ 280	+ 173	+ 702	+ 377	+ 168	+ 83	+ 236	+ 131
	avec engrais	+ 268	- 44	+ 740	+ 378	- 29	- 49	- 315	- 113

Les gains sont en moyenne plus importants d'une part à Gagnoa qu'à Bouaké, d'autre part sous *Stylosanthes* que sous *Centrosema*. La fertilisation semble avoir un effet dépressif sur le niveau des gains sous *Stylosanthes* à Gagnoa.

— Chez les graminées il y a deux situations, selon que ces cultures sont ou non fertilisées.

— Sans apport d'engrais les bilans sont positifs, très fortement à Gagnoa alors qu'ils ont tendance à devenir nuls en troisième année à Bouaké.

— En condition de fertilisation les bilans sont le plus souvent négatifs en particulier sous *Cynodon*. Même dans la situation a priori favorable du *Panicum* à Gagnoa la décroissance des gains est en fait considérable en troisième année de culture.

Les résultats des bilans en potassium à Bouaké ont déjà fait l'objet de précédentes interprétations (Hainnaux et al., 1973). Les données du tableau V suscitent l'établissement des regroupements suivants :

— Les situations relatives aux bilans fortement positifs et qui concernent les graminées, à l'exception de *Cynodon* fertilisé. Les conditions de la station de Gagnoa et la culture de *Panicum* se révèlent les plus favorables à la réalisation des gains les plus élevés.

— Le cas des bilans positifs mais offrant des gains plus modestes que les précédents et qui regroupe l'ensemble des légumineuses non fertilisées dont les gains augmentent dans le temps, *Stylosanthes* à Bouaké, *Cynodon* à Gagnoa fertilisés tous les deux et semblant en état d'équilibre.

— Les bilans nuls mais ayant tendance à devenir négatifs et qui concernent *Cynodon* et *Stylosanthes* à Gagnoa en condition de fertilisation.

— Enfin les bilans négatifs, dont les pertes croissent avec le temps, relatifs à la culture de *Centrosema* avec engrais sur les deux stations.

TABLEAU VI
ARRIERE-EFFETS DES TRAITEMENTS APPLIQUES A LA SOLE FOURRAGERE
SUR LE RENDEMENT EN GRAIN D'UNE POST-CULTURE DE MAIS (EN g/m²).

Traitements :

- Famille : graminée (G), légumineuse (L).
- Rythme d'exploitation : lent (L), rapide (R).
- Fertilisation : sans engrais (O), avec engrais (F).

Fertilisation de la post-culture de maïs	Adiopodoumé		Gagnoa			Bouaké	
	<i>Effet principal</i>	Fertilisation***	<i>Effet principal</i>	Fertilisation***		<i>Effet principal</i>	Famille*
	sans engrais	16,6	sans engrais	239		graminée	32
	avec engrais	79,7	avec engrais	416		légumineuse	47
Sans engrais			<i>Interaction</i>	Famille x Rythme x Fertilisation*		<i>Effet principal</i>	Fertilisation***
			LRF	443	} 5 % N et K	sans engrais	25
			LLF	422		avec engrais	54
			GLF	415			
			GRF	387			
			LLO	325			
			GRO	306			
			LRO	202			
			GLO	122			
			Pas d'effet significatif			<i>Effet principal</i>	Bloc***
					1	56	
					2	33	
Avec engrais	<i>Effet principal</i>	Fertilisation***			<i>Interaction</i>	Famille x Fertilisation***	
	sans engrais	106			GF	54	} 5 % N et K
	avec engrais	145			LO	49	
					LF	48	
					GO	28	

Seuils de signification : cf. tableau III.

2.3. QUELQUES ARRIÈRE-EFFETS DE LA SOLE FOURRAGÈRE

Ces effets résiduels sont appréciés à partir des premiers résultats d'analyse de variance qui figurent au tableau VI et qui se rapportent aux principaux effets des traitements culturaux appliqués aux cultures fourragères sur le rendement en grain d'une culture suivante de maïs. A Gagnoa et Bouaké il s'agit de la culture suivant immédiatement le retournement de la prairie tandis qu'à Adiopodoumé c'est la deuxième culture qui a été prise en compte, la première n'étant pas conduite à son terme en raison des conditions atmosphériques défavorables — tornade — et n'ayant fait l'objet d'aucune exportation.

Ces effets résiduels sont peu nombreux ; à Gagnoa ils n'apparaissent que si la culture test de maïs n'est pas fertilisée. L'arrière-effet dominant est celui de la fertilisation qui augmente les rendements de façon hautement significative. L'opposition graminée-légumineuse se manifeste à Bouaké si la culture suivante n'est pas fertilisée et atteste de la supériorité du précédent légumineuse. L'effet principal bloc constaté à Bouaké illustre le rôle prédominant d'un ensemble de propriétés du sol difficilement modifiables par les traitements culturaux.

Les interactions se manifestent au niveau famille-fertilisation à Bouaké et montrent l'arrière-effet dépressif des graminées non fertilisées. Elles sont d'un niveau plus élevé à Gagnoa puisque le rythme d'exploitation

intervient en jouant un rôle néfaste sur le rendement du maïs quand il est lent sur graminée et rapide sur légumineuse dans le cas, bien entendu, de l'absence d'apport d'engrais.

Une information supplémentaire a été obtenue à Adiopodoumé par rapprochement des résultats avec ceux d'une expérimentation conduite en parallèle et faisant correspondre à la sole fourragère, pendant la même durée, une culture continue de cycles successifs de maïs soumis à plusieurs types de fumure et aux restitutions des résidus de récolte. La comparaison des rendements des cultures de maïs conduites simultanément et suivant, d'une part la sole fourragère — deuxième culture-test d'octobre 1973 à janvier 1974 d'une durée de 82 jours et troisième culture-test d'avril à juillet 1974 longue de 100 jours —, d'autre part la succession des soles de maïs en continuant d'y appliquer les mêmes fumures, figure au tableau VII. Les apports d'engrais — 100 N, 50 P, 85 K, 70 CaO, 35 MgO — assurent des conditions d'alimentation, pour ces éléments majeurs, en principe non limitantes.

Les interprétations aboutissent aux conclusions suivantes.

— Les cultures fourragères, exploitées intensivement et cultivées sans engrais, épuisent le milieu, peut-être encore plus intensément qu'une culture de maïs conduite dans les mêmes conditions. Cet épuisement dont témoigne le faible niveau des rendements en maïs grain des cultures suivantes est d'ordre strictement

TABLEAU VII
ADIOPODOUME. COMPARAISON DES RENDEMENTS EN GRAIN SEC (g/m^2) D'UN MAÏS
SUIVANT PLUSIEURS MAÏS OU UNE SOLE FOURRAGÈRE.

Précédent cultural pendant quatre années	Culture suivante : maïs						
	Sans engrais		Avec engrais		Avec engrais et fumier (10 T/ha)		
	octobre à janvier	avril à juillet	octobre à janvier	avril à juillet	octobre à janvier	avril à juillet	
Maïs	— sans engrais	33	25	—	—	—	—
	— avec engrais	—	—	69	115	—	—
	— avec engrais et fumier (10 T/ha)	—	—	—	—	119	189
Panicum	sans engrais	34	12	130	151	—	—
	avec engrais	87	118	138	153	—	—
Cynodon	sans engrais	16	6	98	111	—	—
	avec engrais	79	94	123	165	—	—
Stylosanthes	sans engrais	8	12	114	155	—	—
	avec engrais	85	105	147	163	—	—
Centrosema	sans engrais	21	16	83	125	—	—
	avec engrais	68	110	173	156	—	—

minéral et se trouve facilement corrigé dans le cas où la sole fourragère a été fertilisée. Une telle situation révèle alors des arrières-effets bénéfiques de la prairie par rapport au précédent maïs conduit avec fertilisation. Malgré tout, ces effets résiduels supplémentaires semblent fugaces puisque déjà moins accusés en troisième culture-test qu'en deuxième.

— L'effet résiduel des cultures fourragères conduites avec fertilisation est important : les rendements des cultures suivantes sans apport d'engrais sont semblables à ceux de la même culture effectuée de façon continue avec engrais. Ces effets résiduels sont amplifiés par l'application d'engrais et procurent ainsi des rendements supérieurs à ceux observés en culture continue pratiquant l'apport d'engrais et de fumier. Là encore c'est un effet de courte durée qui n'est déjà plus décelable en troisième post-culture.

3. DISCUSSION

Les cultures fourragères sont éventuellement destinées à prendre place dans une succession de cultures annuelles. Dans cet objectif il importe de se préoccuper de l'influence d'une telle sole sur l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Un des faits les plus marquants concerne l'évolution de la matière organique dont le stock est susceptible d'un accroissement précoce et rapide s'expliquant par l'importance des restitutions de résidus végétaux au sol. Il est toutefois difficile d'admettre qu'il existe un équilibre stable à un niveau d'accumulation élevé, tant les fluctuations restent amples au cours du temps.

Le processus d'évolution qualitative de cette matière organique reste mineur mais semble cependant jouer un rôle important sur la dynamique d'autres caractéristiques comme la stabilité structurale. En effet l'amélioration de l'état structural n'est nullement dépendante des espèces cultivées. Elle correspond plus à des modifications qualitatives dans l'équilibre des fractions constitutives de l'humus telle qu'une augmentation du taux d'humine, qu'à une action des systèmes racinaires favorisant les processus d'agrégation des particules du sol ; ces derniers n'ont en fait pas rencontré les conditions de milieu favorables telles qu'elles sont décrites dans les études de Bui Huu Tri (1973) quant à la composition granulométrique et la qualité de l'argile dans les horizons de surface des sols des stations étudiées pour que se déclenche le phénomène de granulation par les racines.

Les caractéristiques du complexe échangeable du sol subissent des modifications dont la plus importante concerne la capacité d'échange en cations qui a, le plus souvent, tendance à diminuer dans le temps. Cette

dégradation du complexe est à rapprocher des évolutions qualitatives de la matière organique et du rôle probable et déterminant de certains constituants humiques dans les propriétés d'échange des sols. Quant au niveau de saturation du complexe il est dépendant de la dynamique cationique elle-même commandée par le rapport entre la consommation par les plantes et la disponibilité dans le sol. La pratique de la fertilisation permet de recharger le complexe mais ne peut freiner, dans le cas des graminées, l'acidification du sol probablement en raison des apports élevés d'azote sous forme de sulfate d'ammoniaque.

Etablis à partir des données concernant l'ensemble du système sol-plante cultivée les résultats des bilans en azote et potassium permettent de formuler quelques hypothèses sur la dynamique de ces éléments.

Les bilans fortement positifs en potassium sous graminées sont en rapport avec le haut potentiel d'absorption de cet élément par ces espèces qui s'explique par :

— l'extension et la forte densité racinaire permettant la prospection d'un important volume de sol,

— l'attraction préférentielle de ces racines pour les cations monovalents en raison de leur faible capacité d'échange,

— la possibilité de libération du potassium échangeable à partir de la forme fixée, la réaction d'échange étant facilitée par le faible taux de saturation du complexe absorbant en potassium.

Les pertes, constatées dans certaines situations relatives aux légumineuses, en particulier quand elles sont cultivées avec engrais, sont liées au faible pouvoir d'absorption de ces plantes : elles illustrent la mobilité de l'ion potassium et les risques de lixiviation dans ces conditions de milieu.

S'agissant de l'azote la discrimination des traitements culturels est très nette. Sans apport extérieur, à l'exception des eaux de pluie, les légumineuses sont capables de fixer, produire et immobiliser en trois années des quantités d'azote allant en moyenne de 400 à 800 kg à l'ha, preuve d'une fixation symbiotique active.

Chez les graminées non fertilisées le bilan en azote est le plus souvent positif et même fortement positif dans certaines conditions de milieu. Cela traduit l'aptitude de ces cultures à utiliser l'azote en profondeur et à la recycler rapidement en surface, et la probabilité d'un effet rhizosphère et même phyllosphère important concernant la fixation non symbiotique de l'azote.

Avec les apports d'engrais les graminées réalisent le plus souvent des bilans négatifs notamment pour *Cynodon* qui montrent l'existence de pertes soit gazeuses par volatilisation ammoniacale et dénitrification soit par entraînement en profondeur de formes nitri-

ques. Cela résulte en partie de l'impossibilité de la plante à absorber dans le minimum de temps la quantité d'azote disponible mise à sa disposition en raison d'une assimilation et d'un métabolisme lent et complexe contrairement à l'absorption très rapide du potassium.

Les conséquences de ces évolutions dans l'ensemble d'une succession culturale se résument à un petit nombre d'effets, liés le plus souvent à la fertilisation des fourrages, technique déterminante pour le maintien de la richesse minérale du sol. L'observation de la très grande fugacité des effets résiduels de la culture fourragère sur les cultures suivantes conduit à s'interroger sur l'importance qu'il convient d'accorder au sens des évolutions ou encore au niveau des équilibres atteints.

En définitive n'est-ce pas le rythme, la rapidité et l'ampleur des fluctuations auxquelles sont soumis ces équilibres qui sont le fait dominant ? Il semble bien que la pression conjuguée des cycles climatiques et des effets des techniques culturales dont la maîtrise n'est pas toujours assurée soit suffisante pour remettre brutalement en cause les améliorations acquises avant qu'il n'en soit tiré profit.

En d'autres termes l'enrichissement du sol doit-il être recherché à tout prix et n'est-il pas préférable de répondre au mieux aux besoins de chacune des cultures tout en s'assurant que les principales caractéristiques du sol ne tombent pas en-dessous de certaines limites ? Même avec ce seul objectif il apparaît, au vu des résultats comparant les rendements dans deux systèmes culturaux à Adiopodoumé, que les cultures fourragères sont tout à fait aptes à jouer ce rôle.

CONCLUSION

Les résultats présentés dans cette note ne sont que partiels. En effet il existe au sein du sol considéré comme un système de nombreuses interactions entre ses composants qui déterminent et fixent certaines limites à l'évolution de ces dernières comme à l'ensemble du système.

Comprendre l'action d'une culture sur ce système implique au préalable la compréhension du déterminisme de la stabilité de certains équilibres dans le sol lui-même. L'étude systématique d'un maximum de relations entre les caractéristiques sol, abstraction faite de l'influence de traitements culturaux, est un moyen d'y parvenir.

Au niveau actuel de l'analyse la principale conclusion est, qu'à l'exception de fortes différences induites dans la richesse minérale du sol par les apports d'engrais, l'ensemble des traitements culturaux testés ne peut faire l'objet d'une discrimination très nette quant à

leurs incidences sur l'évolution des caractéristiques du sol.

Ainsi l'influence des graminées et légumineuses fourragères sur les propriétés du sol est le plus souvent semblable en particulier au niveau de l'amélioration de la stabilité structurale ou encore de l'évolution des caractéristiques du complexe échangeable. Des divergences subsistent dans les fluctuations du pH, qui se maintient sous légumineuses, ou du stock de matière organique dont l'accroissement est plus important sous graminée.

Tout en ayant souligné les difficultés d'extériorisation de ces améliorations en termes de rendement sur les cultures suivantes il s'est avéré, dans les conditions de la station d'Adiopodoumé, que la sole fourragère entraînait des suppléments de rendement sur les cultures vivrières test par rapport à la culture continue pratiquée avec engrais.

Etant donné par ailleurs la possibilité d'une exploitation semi-intensive, donc assez peu contraignante, qu'offrent les légumineuses, il est possible d'affirmer que ces plantes ont un rôle à jouer dans les rotations de cultures vivrières annuelles. Tant que les pratiques traditionnelles n'auront pas franchi un seuil minimal d'intervention en matière d'apport d'engrais et d'enfouissement des résidus de récolte il semble bien que la présence d'une telle sole dans les successions culturales soit même indispensable. Son avenir immédiat et ses meilleures chances de succès résident dans la réduction des coûts supplémentaires engendrés par son introduction dans la rotation. Cela peut s'obtenir non seulement par une plus grande rigueur dans l'utilisation des techniques culturales d'implantation, mais surtout par l'amélioration de l'exploitation de cette culture par les animaux qui, tout en restant extensive, peut devenir rentable.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 22 octobre 1976

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1975. — Intensification de l'agro-système en cultures assolées dans le Centre de la Côte d'Ivoire. Bilan des résultats de la recherche. Instituts du GERDAT de Bouaké — IEMVT, IRAT, IRCT — *Multigr.* 55 p.
- BUI HUU TRI, MONNIER (G.), 1973. — Etude quantitative de la granulation des sols sous prairie de graminées. I. Paramètres définissant la structure granulaire et leur relation avec la porosité du sol. *Ann. agron.* 24 (4) ; 401-24.
- HAINNAUX (G.) *et al.*, 1973. — Bilan et dynamique du potassium sous cultures fourragères en zone tro-

- picale humide. C.R. 10^{me} Colloque de l'Inst. Int. de la Potasse. Abidjan (Côte d'Ivoire) : 291-303.
- HAINNAUX (G.) *et al.*, 1976. — Economie de l'azote sous cultures fourragères en milieu tropical humide. *ORSTOM, multigr.*, 23 p. (à paraître).
- HENIN (S.) *et al.*, 1960. — Le profil cultural. S.E.I.A. 320 p.
- PICARD (D.) *et al.*, 1973. — Comportement de quelques plantes fourragères en Côte d'Ivoire en fonction de différents modes d'exploitation. *Cah. ORSTOM sér. Biol.*, n° 19 ; 3-14.
- TALINEAU (J.-C.) *et al.*, 1976. — Caractéristiques de la production de quatre espèces fourragères cultivées dans trois régions de Côte d'Ivoire. (A paraître).