

MISE AU POINT SUR L'UTILISATION AGRICOLE DES SOLS DE LA RÉGION DE SÉFA (Casamance)

par

C. CHARREAU

Maître de Recherches (ORSTOM)
Centre de Recherches Agronomiques
de Bambey (IRAT/Sénégal)

R. FAUCK

Inspecteur Général de Recherches (ORSTOM)
Directeur du Centre ORSTOM
de Dakar

INTRODUCTION

En 1949, la Compagnie Générale des Oléagineux Tropicaux s'installa sur les plateaux de Séfa, en Moyenne-Casamance (Sénégal) et défricha une superficie d'environ dix mille hectares dans le but de produire de l'arachide en culture motorisée. Pour des raisons à la fois économiques et techniques, cet objectif fut rapidement dépassé : il apparut que le véritable problème était, en fait, de mettre au point un système de culture mécanisée fixée et continue, avec rotation de différentes cultures, problème qui n'avait guère été abordé jusque-là en zone tropicale sèche. De nombreuses études de pédologie et d'agronomie générale furent réalisées à cette occasion sur le périmètre de la CGOT. En 1962, la Société de Développement Agricole et Industriel de la Casamance (SODAICA), société sénégalaise d'économie mixte, succéda à la CGOT.

A la demande de cette société fut réalisée, en 1966, une étude globale sur l'évolution des sols de Séfa après quinze années de culture continue *, laquelle fut suivie d'une mise au point sur les sols et leur utilisation agricole réalisée en collaboration par les chercheurs de l'ORSTOM et de l'IRAT.

Il apparut que certaines des conclusions de cette étude, primitivement destinée à n'avoir qu'une diffusion locale, pouvaient concerner une zone beaucoup plus vaste et avoir une portée plus générale. Pour cette raison, il a été jugé utile d'extraire de ce document la partie ayant trait à l'utilisation agricole des sols et de lui assurer une plus large diffusion.

Ce travail reprend, en partie, les éléments du bilan de l'évolution des sols *, les complète par les données récentes acquises par la recherche et tente d'en engager les conclusions agronomiques.

Le plan de rédaction comporte quatre parties :

- Principales caractéristiques pédoclimatiques.
- Propriétés physiques des sols et techniques culturales.
- Constituants organiques et caractéristiques biologiques.
- Propriétés chimiques et fertilisation minérale.

* FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (Ch.), 1969. Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *L'Agron. Trop.*, XXIV, 3, 263-301.

12 MAI 1970

C. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 14027

CHAPITRE I

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES PEDOClimATIQUES

Les conditions naturelles et les sols de la région de Séfa ont fait l'objet de nombreuses études dont les principales sont mentionnées dans la liste bibliographique (16, 13).

On ne fera que rappeler ici, très brièvement, les principales caractéristiques climatiques et pédologiques de la région de Séfa.

La région étudiée se trouve en Moyenne-Casamance, dans la zone méridionale du Sénégal ; elle est approximativement comprise entre les latitudes Nord : 12° 45' et 12° 55' et les longitudes Ouest : 15° 31' et 15° 38'. Le climat est de type soudano-guinéen, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche très prononcée (sept à huit mois) et d'une saison des pluies qui débute à la mi-juin pour se terminer fin octobre. La hauteur moyenne de pluie annuelle est de 1.300 mm, avec un maximum accentué en août (450 mm). Pendant quatre à cinq mois de l'année, la pluviométrie est largement excédentaire par rapport à l'ETP. Le substratum géologique est constitué par les grès argilo-sableux du continental terminal (mio-pliocène), matériau entièrement kaolinisé dès son dépôt.

Le modelé de la région est très mou : il comporte de vastes plateaux d'altitude maximale de 40 m, entaillés par un réseau de vallées fossilisées à fond plat et colmaté ; ces vallées ne sont le siège d'aucun écoulement, même temporaire. Les pentes de raccordement au plateau sont faibles et généralement inférieures à 3 %. Les plateaux sont ceinturés de deux séries d'affleurements de cuirasses ferrugineuses anciennes, situées à des cotes sensiblement constantes et dont la mise en place a été corrélée avec l'abaissement des nappes phréatiques au quaternaire.

La végétation naturelle consiste en forêts claires (semi-décidues) moyennement denses à *Daniella oliveri* et Combretacées. Cette forêt n'est jamais complètement défeuillée pendant la saison sèche. La strate herbacée est composée principalement de grandes Andropogonées. Dans les clairières, *Pennisetum purpureum* domine. Cette végétation est soumise, annuellement, aux feux courants de milieu et de fin de saison sèche (février à juin). Le défrichement primitif avait dessiné des parcelles de culture de 1 km de long sur 250 m de large, séparées par des brise-vent naturels de 50 m de large, les parcelles étant orientées nord-sud. Le plan parcellaire a été réaménagé par la suite et le nombre de brise-vent a beaucoup diminué.

Les sols de plateau se rattachent, dans la classification française, à deux groupes principaux :

- sols ferrallitiques faiblement désaturés appauvris ;
- sols ferrugineux tropicaux lessivés, avec deux sous-groupes : à concrétions et hydromorphes.

Les sols des dépressions (non exploités par la SODAICA) sont des sols hydromorphes minéraux à gley de profondeur et d'ensembles ; il y a également quelques sols hydromorphes humiques à gley.

Les profils du groupe ferrallitique faiblement désaturé appauvri sont caractérisés par l'homogénéité de la couleur (du rouge brun au rouge clair) et de la texture de l'horizon B dont la grande profondeur est le fait essentiel.

Les sols ferrugineux tropicaux ont une différenciation nettement plus marquée en horizons, les horizons B étant caractérisés par des couleurs variant du beige clair au rouge clair et par des accumulations de fer, généralement sous forme de taches et concrétions bien individualisées, ces dernières n'apparaissant généralement pas à moins de 60 cm de profondeur.

Dans les deux groupes de sols, les horizons supérieurs sont toujours relativement appauvris en éléments colloïdaux par rapport aux horizons B, avec 8 % à 15 % d'argile contre 30 % à 40 % en profondeur, les taux de limon fin (0,002 à 0,020 mm) étant toujours faibles. L'argile est une kaolinite plus ou moins bien cristallisée, associée dans le cas des sols beiges à de très faibles quantités d'illite. Statistiquement, il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes de sols, en ce qui concerne la granulométrie, la teneur en bases échangeables et le pH. Cependant, les sols rouges, un peu plus riches en fer, ont une meilleure porosité et une meilleure stabilité structurale.

La carte pédologique au 1/20.000 de la région de Séfa, récemment établie, distingue 6 unités cartographiques : 2 pour les sols ferrallitiques, 2 pour les sols ferrugineux tropicaux, 2 pour les sols hydromorphes.

Dans la suite de l'exposé, les différentes séries seront regroupées en trois catégories :

- sols ferrallitiques ou sols « rouges »,
- sols ferrugineux tropicaux ou sols « beiges »,
- sols hydromorphes.

En effet, les différentes séries de sols rouges de plateau, d'une part, les différentes séries de sols beiges (plateau et pente), d'autre part, ne présentent entre elles, dans l'état actuel des connaissances, que des différences non significatives sur le plan de la mise en valeur agricole.

Il est possible que des différences apparaissent plus tard au fur et à mesure de l'avancement des connaissances, au fur et à mesure surtout de l'intensification des cultures et donc de leur sensibilité plus grande aux caractéristiques des sols. Si ces derniers peuvent se niveler au point de vue chimique par l'utilisation rationnelle d'engrais minéraux à doses élevées, il n'en est peut-être pas de même en ce qui concerne la structure ou les régimes hydriques, malgré les progrès probables des techniques culturales ; des subdivisions nouvelles apparaîtront alors nécessaires.

En ce qui concerne les sols hydromorphes, leur étude est moins avancée que celle des sols de plateaux ; en particulier, leur mode d'évolution dans le temps et en fonction des traitements est un point qui devrait être précisé.

CHAPITRE II

PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS ET TECHNIQUES CULTURALES

I) LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS EN FORET

Sous couvert forestier, les propriétés physiques des sols rouges et beiges de Séfa peuvent être considérées comme satisfaisantes et l'on pourrait, à cet égard, bien augurer de leur mise en culture. Les sols sont profonds, les teneurs en argile, assez faibles dans les horizons superficiels, s'accroissent sensiblement à partir de 20 cm de profondeur ; la réserve d'eau utile, de l'ordre de 80 mm à 100 mm jusqu'à 1 m de profondeur, paraît suffisante ; les porosités globales sont supérieures ou égales à 40 % jusqu'à 40 cm de profondeur. Les valeurs de l'indice d'instabilité structurale de HÉNIN sont inférieures ou au plus égales à 0,7 dans l'horizon de surface : la structure peut donc être regardée comme stable. La perméabilité, mesurée sur échantillon remaniés, est cependant médiocre : elle ne dépasse pas 3 cm/h sur sol beige et 4 cm/h sur sol rouge. A cet égard, se manifestent de sensibles différences dans le comportement des sols beiges et dans les sols rouges : ces derniers renferment, en effet, une certaine quantité de « pseudo-sables » qui leur confèrent une meilleure perméabilité et une meilleure structure, et surtout une plus grande stabilité, dans le temps, de ces deux caractéristiques (11).

La cohésion est assez forte sur les deux types de sol ; cependant, les mesures faites en saison sèche indiquent des forces de résistance à la pénétration * qui sont de l'ordre de 160 kg de 0 cm à 20 cm et de 800 kg de 20 cm à 40 cm. Ce sont là des valeurs moyennes qui peuvent être largement dépassées dans d'autres conditions.

Ces propriétés physiques sont, dans l'ensemble, favorables à la mise en culture. Avant d'examiner leur évolution après vingt ans de mise en culture et les possibilités d'infléchir cette évolution dans un sens favorable à la production végétale, il importe de rappeler ici les traitements qu'ont subi ces sols au moment de la déforestation et les techniques culturales qui ont été utilisées pendant la première phase de la mise en valeur.

II) MODALITES DE LA DEFORESTATION ET DES TECHNIQUES CULTURALES LORS DE LA PREMIERE PHASE DE MISE EN VALEUR

Le défrichement a comporté la série d'opérations suivantes :

En saison humide :

abattage des arbres par passage d'une forte chaîne tirée par deux tracteurs.

En saison sèche :

andainage, hors de la parcelle, des arbres abattus : opération réalisée au bull-dozer ;

déracinement des grosses souches ;

« rootcutage » systématique de toute la surface par passage d'une lame droite à 20 cm de profondeur ;

ratissage, puis planage et régalage.

* Les mesures sont faites à l'aide d'un pénétromètre constitué d'un barreau métallique que l'on enfonce par percussions dans le sol.

Tous ces travaux, et surtout ceux qui furent réalisés en saison sèche, ont détérioré considérablement le sol. La couche superficielle est devenue poudreuse par passages successifs des chenilles de tracteurs, par roulage des arbres, raclages des régaleuses. Les parties les plus basses du sol ont été décapées avec mise à nu de l'horizon B argileux ; les micro-cuvettes ont été, par contre, comblées avec la poussière, ce qui a donné lieu à une érosion éolienne spectaculaire. Vingt ans après, les traces d'hétérogénéité causée par le défrichement sont encore bien visibles sur les profils de sols.

C'est donc un sol à structure superficielle très dégradée par ces traitements brutaux qui a été livré à la mise en culture.

Une fois le défrichement exécuté, l'objectif primitif de la CGOT était la monoculture motorisée de l'arachide. Très vite, les agronomes s'aperçurent que le dessèchement rapide des sols en fin d'hivernage limitait la période de travail mécanique. La récolte, en particulier, devenait très difficile huit jours après la dernière pluie avec, pour conséquence, l'augmentation importante des restes en terre de l'arachide.

Sur le plan mécanique, les efforts de traction croissaient très vite dans le temps, avec ruptures fréquentes de pièces et formation de mottes de grande taille, de cohésion élevée, dans lesquelles les graines d'arachide restaient emprisonnées.

Toute la suite de la mise en valeur de la CGOT a alors été orientée par le souci de récolter le plus tôt possible les arachides, ce qui supposait un semis précoce, d'autant plus que ce dernier se révélait, en station, comme générateur des rendements les plus élevés. En conséquence, la nécessité de réaliser les travaux de préparation du sol le plus rapidement possible en début des pluies a conduit à rechercher des façons culturales rapides, donc relativement superficielles, avec des disques. Au début, les pulvérisateurs furent employés, mais quand les études sur l'érosion eurent démontré le danger d'un émiettement du sol en début de pluies, seuls des déchaumages furent systématiquement réalisés.

La pratique de déchaumages superficiels paraissait intéressante à deux autres points de vue :

économique : du fait de sa rapidité d'exécution ;

agronomique : puisqu'elle était conforme aux théories de l'époque qui tenaient en forte suspicion les labours ou toute autre forme de travail profond du sol et préconisaient un travail superficiel et léger.

Cependant, d'autres problèmes agronomiques surgissaient, en particulier la lutte contre les herbes, provenant des sols forestiers ayant d'importantes réserves de graines. L'« explosion » de *Pennisetum* en cours d'hivernage était si intense que plusieurs centaines d'hectares devaient être complètement abandonnés. La seule solution trouvée fut alors la réalisation d'un deuxième déchaumage après le démarrage d'un nombre suffisamment important de mauvaises herbes. Il est résulté du décalage obligatoire des semis que la date de l'arrachage de l'arachide n'a pu être suffisamment avancée pour résoudre le problème posé par le dessèchement du sol et l'augmentation brusque de sa cohésion.

Après un ou deux ans, l'ensemble des techniques culturales mises au point se rapprochait du modèle suivant, valable pour toutes les cultures (arachide, mil, sorgho, riz) :

déchaumage à la 16 disques après environ 40 mm de pluie ;

épandage d'engrais ;

deuxième déchaumage à la 30 disques, réalisé environ une dizaine de jours après le premier ;

hersage suivi de semis ;

deux ou trois binages, dont un binage-buttagé pour l'arachide destiné à faciliter son arrachage ;

arrachage mécanique dans le cas de l'arachide.

La rotation utilisée était du type quadriennal : engrais vert ou jachère enfouie-arachide-céréale (mil, sorgho, riz)-arachide. Le seul travail profond du sol réalisé en quatre ans de culture était donc le labour d'enfouissement d'engrais vert et de jachère ; encore celui-ci était-il généralement réalisé à une époque beaucoup trop précoce (fin août-début septembre), ce qui avait le désavantage de laisser le sol exposé nu, pendant un certain temps, aux fortes pluies d'hivernage.

Ce système cultural a été utilisé, avec quelques variantes, pendant près d'une vingtaine d'années.

Il importe maintenant de voir dans quel sens les propriétés physiques du sol ont évolué sous son influence et celle de la déforestation préalable.

III) L'EVOLUTION DES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS APRES MISE EN CULTURE

Dès les premières années de mise en culture apparurent des indices d'une diminution d'infiltration de l'eau dans le sol. Les agronomes remarquèrent qu'en août certaines parcelles se ressuyaient mal, c'est-à-dire qu'après de très fortes intensités de la pluviométrie, des flaques d'eau nombreuses parsemaient les parcelles. Dans ces conditions, il était pratiquement impossible de réaliser les binages en temps voulu et, dans les secteurs inondés, les pieds d'arachide se chlorosaient. On pouvait noter que les parcelles les plus atteintes étaient les plus anciennement cultivées, généralement cinq et six années de suite. Egalement, il s'agissait surtout des sols beiges de plateaux, les moins bien drainés extérieurement. Par contre, sous forêt et en particulier dans les lisières forestières adjacentes à certaines parcelles, il n'y avait jamais d'excès d'eau en surface.

Ces observations étaient confirmées par les mesures en cases d'érosion : celles-ci montraient que l'infiltration qui était presque totale sous couvert forestier était diminuée dans la proportion de 10 % à 50 % sous culture ; cette proportion variait suivant la pente du terrain, la nature de la culture et la pluviométrie de l'année.

La perméabilité mesurée au laboratoire sur échantillon remanié accusait également une baisse sensible après mise en culture. Alors que, sous forêt, la plupart des mesures étaient comprises entre 2,0 cm/h et 3,7 cm/h, après six années de culture la grande majorité des valeurs se trouvait entre 1,7 cm/h et 2,0 cm/h pour les sols beiges ; la baisse de perméabilité était moins accusée pour les sols rouges.

On observa également, en saison des pluies, l'aggravation progressive des phénomènes de battance, d'éclatement des agrégats, avec les conséquences qui en découlaient : structure particulière, séparation des sables et de l'argile, microcolluvionnements.

Les mesures, au laboratoire, des indices d'instabilité de HÉNIN mirent en évidence l'augmentation de cet indice après plusieurs années de culture. Alors que sous forêt les valeurs variaient de 0,4 à 0,7, elles passent de 1,3 à 1,6 après six ans de culture ; ceci traduit une assez forte diminution relative de la stabilité structurale du sol. D'après les critères habituels, la stabilité reste cependant assez élevée. Il est à noter que, comme pour la perméabilité, la diminution de stabilité est nettement plus accusée pour les sols beiges que pour les sols rouges. Ceci est à mettre en relation avec l'existence de « pseudo-sables » dans les sols rouges, induisant à la fois une meilleure perméabilité et une résistance plus élevée à l'éclatement des agrégats.

En saison sèche, on put constater dans les sols sous culture une augmentation très nette de la compacité et de la cohésion par rapport aux sols sous forêt : ces observations traduisent également, d'une autre manière, la dégradation de la structure. Elles furent confirmées par des mesures de densité apparente (compacité) et de résistance à la pénétration (cohésion).

Des mesures de densité apparente effectuées en 1957 (13) sur sols rouge et beige, sous forêt et sous culture, ont donné les résultats moyens suivants :

Profondeur	Sol rouge		Sol beige	
	Forêt	Culture	Forêt	Culture
0-10 cm	1,42	1,50	1,37	1,65
10-20 cm	1,49	1,67	1,47	1,69
20-40 cm	1,47	1,61	1,62	1,62

Il y a, dans les deux cas, une augmentation très nette de la densité apparente après déforestation et mise en culture. Cette augmentation se traduit par une baisse de 3 à 10 points de porosité.

En février 1966, des mesures de résistance à la pénétration furent faites sur les parcelles de mesures de l'érosion sous forêt et sous culture (sol beige) ; jusqu'à 50 cm, les profils hydriques étaient à peu près identiques dans les différentes stations (27). Les résultats furent les suivants (en kg) :

Profondeur	Forêt	Culture
0-20 cm	150-160	1.390-3.460
20-40 cm	720-880	280- 810

Les forces de résistance à la pénétration augmentent donc de deux à cinq fois après mise en culture. Toutes ces observations et mesures traduisent une péjoration des propriétés physiques du sol après mise en culture.

Il a été noté que l'identité complète des caractéristiques sous forêt et sous culture (densités, en particulier) n'était obtenue qu'au-dessous de 60 cm, ce qui laisse supposer que ce n'est pas seulement les 20 cm supérieurs qui sont affectés au point de vue des caractéristiques structurales.

Il est difficile de discerner, dans cette évolution, la part qui est imputable à la déforestation et celle qui revient à la mise en culture proprement dite. Pour répondre à cette question, il aurait fallu disposer de mesures plus nombreuses et plus systématiques, régulièrement espacées dans le temps. Il semble, cependant, que pour la plupart des propriétés physiques, l'évolution ait été assez brutale et le niveau actuel atteint dès la deuxième ou troisième année de mise en culture. Par la suite, l'évolution paraît beaucoup plus lente : on semble avoir atteint un état d'équilibre au moins provisoire.

IV) LE PHENOMENE EROSIF

Comme conséquence extrême de la péjoration des propriétés physiques des sols on observe, dès la deuxième année de mise en culture, le développement de l'érosion hydrique. Malgré la topographie très plane (pentes de 1 % à 3 %), l'érosion se manifeste avec une ampleur inattendue, le phénomène allant en s'aggravant d'année en année. La station de recherches joua là un rôle de premier plan en attirant l'attention sur la gravité du phénomène, en analysant ses causes et en préconisant les premières méthodes de lutte. Dès 1954, commença à être implanté, à Séfa, un réseau de parcelles de mesure de l'érosion sur le modèle de celles existant aux Etats-Unis. Ce dispositif était le premier du genre installé en Afrique de l'Ouest. Les principaux résultats acquis pendant la première phase d'études peuvent être résumés comme suit (15, 17, 35) :

A) CONCERNANT LE RUISSELLEMENT

De l'ordre de 1 % de la pluviométrie sous forêt, il passe en moyenne à 25 % sous culture (extrêmes : 10 % à 50 %).

Il varie peu au cours de la saison de culture et semble peu influencé par le développement du couvert végétal.

Sur courte distance (moins de 50 m), il agit peu comme agent érosif, le rôle essentiel, dans ce domaine, étant imputable à l'énergie cinétique de la pluie (effet « splash » ou rejaillissement).

Il augmente rapidement avec la pente :

16,3 %	sur pente de 1,0 %,
21,9 %	sur pente de 1,5 %,
30,0 %	sur pente de 2,0 %.

Les différentes cultures ne paraissent pas avoir sur lui d'influence spécifique.

La mesure du débit de ruissellement constitue la meilleure méthode d'estimation du débit d'infiltration de l'eau dans le sol : ce débit d'infiltration diminue très rapidement au cours d'une pluie.

La culture motorisée augmente le ruissellement par rapport à la culture traditionnelle : celui-ci passe en moyenne de 24 % à 33 %.

B) CONCERNANT L'EROSION

De l'ordre de 0,2 t/ha sous forêt, elle n'est jamais inférieure, sous culture, à 2 t/ha et peut atteindre des valeurs de 50 t/ha (moyenne : 10 t/ha).

Le facteur essentiel de l'érosion est l'énergie cinétique de la pluie, responsable de l'effet de rejaillissement ou effet « splash ». La couverture végétale joue donc un rôle très important dans la lutte contre l'érosion. L'érosion diminue fortement, jusqu'à s'annuler presque complètement, à partir de la mi-août, époque où le sol est généralement couvert par la végétation.

L'érosion augmente avec la pente, en moyenne :

4,75 t/ha	sur pente de 1,0 %,
8,62 t/ha	sur pente de 1,5 %,
11,81 t/ha	sur pente de 2,0 %.

Elle est peu influencée par la nature de la culture : des plantes telles que le maïs et le riz pluvial, ayant mauvaise réputation du point de vue de la conservation du sol, ne provoquent pas plus d'érosion que les autres ; tout dépend des techniques culturales adoptées.

La culture motorisée, avec les techniques culturales de l'époque, augmente l'érosion par rapport à la culture traditionnelle : 14,12 t/ha en moyenne contre 8,67 t/ha. Le danger principal réside dans l'émiettement du sol consécutif à certaines façons culturales (pulvérisage rapide et brutal).

Il y a très peu de différence, du point de vue érosion et ruissellement, entre forêt brûlée et forêt protégée.

Ces différents résultats, joints aux observations faites sur le terrain, incitèrent la CGOT à prendre un certain nombre de mesures pour enrayer le développement de l'érosion.

- abandon des pentes supérieures à 1,5 % ;
- réorientation partielle des voies d'accès ;
- aménagement de systèmes anti-érosifs (terrasses à lit en pente) pour les zones les plus touchées ;
- regroupement des parcelles en fonction de la topographie.

Ces mesures ont porté leurs fruits ; l'appauvrissement des sols par érosion est toujours un fait réel, mais ne revêt plus le caractère catastrophique qu'il avait auparavant.

V) LA MODIFICATION DES REGIMES THERMIQUES ET HYDRIQUES DES SOLS

En saison sèche, des mesures systématiques ont montré que la température de l'horizon I atteint 8° de plus sous culture que sous forêt. Les amplitudes de variations thermiques ont donc augmenté sous culture, avec toutes les conséquences sur la vie microbienne et l'évaporation. Or, l'égalité des températures sous forêt et sous culture n'est pas complètement atteinte à 1 m de profondeur, montrant ainsi que c'est l'ensemble du profil qui se trouve sous un régime micro-climatique différent du fait de la déforestation. Compte tenu de ces modifications de température, on s'explique pourquoi le point de flétrissement du sol est atteint sous culture quinze jours après la dernière pluie, alors qu'il ne l'est sous forêt que deux mois à deux mois et demi plus tard (13).

Le passage de la forêt à la culture s'est traduit également par une évolution très sensible du régime hydrique des sols. On a vu précédemment que le ruissellement, quasi nul sous forêt, pouvait prendre une réelle importance sous culture et représenter 150 mm à 650 mm, soit 10 % à 50 % de la pluviométrie.

On pouvait donc penser que la mise en culture se traduirait par un assèchement progressif de la zone défrichée et un abaissement de la nappe phréatique. Or, une vingtaine d'années après le défrichement, c'est le phénomène inverse qui est observé : d'après les hydrogéologues, le niveau de la nappe phréatique s'est élevé de 8 m, donnant naissance, dans le thalweg de Diendé (bassin versant de l'ordre de 20 km²), à une source débitant 300 l/sec à 500 l/sec (34). Les thalwegs entaillant le plateau déboisé, thalwegs qui étaient autrefois à sec dès le mois de décembre et qui sont maintenant en eau toute l'année ; les thalwegs voisins, dont le bassin versant est entièrement boisé, ne présentent pas de modifications dans leur régime d'écoulement.

Cette contradiction entre l'hypothèse et les faits paraît pouvoir s'expliquer, à notre avis, par trois motifs jouant concurremment :

a) Le volume d'eau parvenant, par ruissellement superficiel, jusqu'aux thalwegs pourrait contribuer à alimenter la nappe phréatique.

Il se peut, en effet, qu'étant donné la cote très basse et le fond colmaté des vallées, le drainage y soit très peu efficace et qu'un apport d'eau supplémentaire (provenant du ruissellement) se trouve en fait stocké sur place et contribue à alimenter la nappe du plateau.

Toutefois, cette hypothèse est en contradiction avec l'allure générale de la surface piézométrique de la nappe en Moyenne-Casamance, qui indique nettement un drainage de cette nappe par la rivière et ses affluents ; d'autre part, elle n'est pas compatible non plus avec l'apparition de sources dans ces thalwegs. Elle ne peut donc être retenue comme explication d'ensemble, mais pourrait l'être localement, dans certains cas particuliers. Ce point devrait être vérifié par les hydrogéologues.

b) L'importance du ruissellement, à l'échelle du bassin versant, a été surestimée.

Les mesures de ruissellement ont été effectuées sur des parcelles de 40 m à 50 m de long. Or, les bassins versants sont très étendus et les pentes très longues (plusieurs kilomètres). Pour de telles longueurs, le modelé n'est pas uniforme ; il y a des replats et des obstacles divers dans la topographie, provoquant des arrêts de ruissellement et une infiltration préférentielle. Le volume global du ruissellement atteignant le thalweg est donc inférieur, et parfois de beaucoup, à la somme des ruissellements parcellaires. Il ne lui est équivalent que dans le cas où le ruissellement a acquis une puissance telle qu'aucun obstacle ne peut plus arrêter son cours ; c'est ce qui a été observé lors des premières années de mise en culture, lorsque érosion et ruissellement étaient à leur maximum, ce n'est plus le cas maintenant, sauf exceptions locales.

c) La forêt continue à évaporer pendant la saison sèche, alors que, sous culture et après récolte, l'évaporation diminue rapidement jusqu'à des taux extrêmement faibles : les profils hydriques se trouvent figés dans un état de pseudo-équilibre pendant plusieurs mois de la saison sèche. Les horizons superficiels sont très desséchés (mulch naturel), mais l'humidité se trouve conservée à faible profondeur dans le sol. Le phénomène se reproduisant de façon identique chaque année, il y a une augmentation progressive du stock d'eau en profondeur et relèvement du niveau de la nappe phréatique.

Il est probable que c'est ce dernier processus qui joue le rôle essentiel dans le relèvement du niveau de la nappe phréatique. En reprenant le chiffre de 8 m en vingt ans fourni par les hydrogéologues, on peut estimer que cela représente un gain cumulé de $8 \times 0,4 = 3,2$ m d'eau (en estimant la porosité moyenne du sol à 40 %). En moyenne annuelle, l'évaporation sous culture serait donc réduite de $3.200 : 20 = 160$ mm par rapport à la forêt. Ce chiffre est parfaitement vraisemblable si l'on considère qu'il représente à peu près l'évaporation de la forêt pendant quatre ou cinq mois de saison sèche (janvier-mai), période pendant laquelle l'évaporation des sols cultivés est pratiquement nulle.

Quel qu'en soit le mécanisme exact, cette modification radicale du régime hydrique en passant de la forêt à la culture se traduit d'ores et déjà par d'importantes conséquences pour les sols et pour la mise en valeur de la région.

Lors de la dernière prospection, réalisée en 1968 (36), on a pu noter des différences sensibles dans la morphologie des profils de sols de plateau en comparant les observations récentes aux descriptions des mêmes sols faites vers les années 1950, soit peu de temps après le défrichement. Il semble y avoir une accentuation générale des processus d'hydromorphie, tendant à faire évoluer tous les sols vers le type sol beige à taches et concrétions. Du point de vue agronomique, ceci se traduit par une modification de la structure (disparition des pseudo-sables) et une augmentation de la compacité et de la cohésion. Cette évolution est assez rapide et devrait encore se poursuivre dans le même sens pendant un temps indéterminé.

La modification du régime de l'écoulement dans les thalwegs entaillant le plateau de la SODAICA pose un certain nombre de problèmes pour la riziculture pratiquée sur les sols hydromorphes de ces bas-fonds. Suivant la dimension et le modelé de ces dépressions, la modification de l'écoulement aura des répercussions bénéfiques ou néfastes pour la riziculture. C'est ainsi que, dans le petit marigot de Bassaf, au sud-ouest du domaine de la SODAICA, l'augmentation de l'écoulement et sa prolongation en saison sèche ont eu des conséquences très heureuses pour la riziculture : elles ont permis l'irrigation de plusieurs dizaines d'hectares de rizières aménagées avec maîtrise complète du plan d'eau (rizières des Formosans à Diendé). Au contraire, dans le grand marigot de Salikénié, à l'est du domaine, la riziculture traditionnelle, pratiquée sur de petites superficies, est devenue impossible en raison de l'épaisseur de la lame d'eau superficielle. Il conviendrait de prévoir un plan d'aménagement d'ensemble pour ce marigot, avec creusement de tranchées sur les bordures du thalweg pour intercepter la nappe du plateau avant qu'elle n'ennevoie la dépression.

VI) LES ACQUISITIONS RECENTES DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE EN MATIERE DE PHYSIQUE DES SOLS ET DE TECHNIQUES CULTURALES

Le système cultural mis au point par les techniciens de la CGOT a fonctionné de façon relativement satisfaisante et a permis d'obtenir des rendements honorables pour les cultures traditionnelles : arachide, mil, sorgho. Cependant, l'introduction de nouvelles cultures telles que riz pluvial et maïs ne donnait pas en grande culture les résultats escomptés. D'autre part, ainsi qu'on l'a vu précédemment, le système utilisé ne permettait pas de maintenir les caractéristiques physiques du sol à un niveau satisfaisant : infiltration médiocre et forte battance en saison des pluies, avec risque d'érosion sur les pentes un peu accentuées, cohésion et compacité très grandes en saison sèche ; enracinement des cultures souvent médiocre.

Ces observations sur le mauvais état structural des sols furent particulièrement nettes en 1963 et cette année marqua un tournant dans l'orientation des recherches agronomiques poursuivies à la station de Séfa (7). Les chercheurs pensèrent, en effet, que cet état de choses pouvait être largement amélioré et qu'il était nécessaire, pour cela, de réexaminer entièrement le problème des techniques culturales et de leur adaptation au milieu pédoclimatique.

Trois facteurs, en particulier, devaient être pris en considération :

- la précocité des semis,
- les travaux de préparation du sol,
- les successions culturales.

Ayant examiné ces trois facteurs, on essaiera ensuite de définir les normes d'un système cultural adapté au milieu climatique.

A) LA PRECOCITE DES SEMIS

La nécessité de semer précocement est apparue d'abord lors des études menées sur l'érosion. Les dégâts causés par l'impact des gouttes de pluie : destruction des agrégats et projection des particules ter-
reuses, se révélèrent en effet rapidement comme les causes essentielles de la dégradation des sols. Le rôle
de protection du sol par le développement du couvert végétal a été bien mis en lumière par l'allure des
courbes cumulatives de l'érosion en fonction du temps ou de la pluviométrie cumulée, courbes qui pré-
sentaient toujours un phénomène d'amortissement très net à partir de la mi-août. Dès cette date,
le sol est en effet généralement entièrement couvert par la végétation ; l'érosion devient alors très faible
(5 % à 10 % du total annuel) alors que pluie et ruissellement sont encore très notables (entre 30 %
et 50 % du total annuel de la mi-août à la fin de la saison).

Il est donc indispensable, à cet égard, de prendre toutes mesures pour assurer un développement
aussi rapide que possible du couvert végétal. L'une de ces mesures consiste naturellement à semer aussi
précocement que les pluies le permettent.

Les résultats de l'année 1965 montrent bien l'influence de la date de semis sur le développement
du ruissellement et de l'érosion (27). La comparaison portait sur deux cultures d'arachides, installées
toutes deux après labour d'enfouissement d'engrais vert fin septembre 1964, et semées l'une le 18 juin
et l'autre le 2 juillet, soit à une quinzaine de jours d'intervalle. Ces résultats sont les suivants :

Date de semis	Parcelles	Erosion (t/ha)	mm	Ruissellement pluviométrie (%)	Rendements gousses (kg/ha)
18 juin	1	3,65	221,9	14,3	1.961
	3	2,28	66,6	3,7	2.128
	Moyenne	2,96	144,2	8,6	2.045
2 juillet	4	4,77	460,1	25,4	1.949
	8	8,04	413,6	22,8	2.314
	Moyenne	6,40	436,8	24,1	2.132

Le retard de quinze jours au semis a donc doublé l'érosion et triplé le ruissellement. Les rende-
ments sont très peu différents et légèrement en faveur du semis tardif. Habituellement, cependant, il n'en
est rien et la supériorité des semis précoces s'affirme également nettement pour les rendements. Il y a
naturellement un risque de sécheresse en début de saison plus important, mais l'expérience prouve que
pour toutes les cultures, y compris celles, comme le riz pluvial, réputées jusqu'alors sensibles à la
sécheresse, il est préférable d'assumer, dans des limites raisonnables, ce risque plutôt que de consentir
aux inconvénients multiples d'un semis retardé.

A cet égard, les résultats de l'essai « variétés × dates de semis » implanté en 1967 sur riz plu-
vial (26) sont particulièrement probants.

En moyenne pour quatre variétés, les rendements en fonction de la date de semis sont les suivants :

semis du 1^{er} juin : 31,6 q/ha,
semis du 16 juin : 31,0 q/ha,
semis du 23 juin : 33,8 q/ha,
semis du 30 juin : 28,4 q/ha,
semis du 15 juillet : 22,2 q/ha.

Les semis postérieurs au 23 juin fournissent donc des rendements nettement inférieurs à ceux des
semis antérieurs.

Or, la pluviométrie du 20 juin au 10 juillet a été nettement déficitaire cette année-là : 19,5 mm
du 20 au 30 juin et 1,5 mm du 1^{er} au 10 juillet. D'autre part, le semis du 1^{er} juin a été effectué en sec
et n'a reçu que 23 mm jusqu'au 10 juin. Malgré cette sécheresse relative de début de saison, les semis
précoces ont affirmé nettement leur supériorité.

L'explication de la supériorité des semis précoces peut être recherchée également dans l'interven-
tion de processus biochimiques : dès les premières pluies s'observe un « pic » de minéralisation azotée
plus ou moins important, mais toujours fugace, ainsi qu'une reprise « explosive » de la vie microbienne.
La plantule bénéficie ainsi d'excellentes conditions de nutrition azotée et la radicule se développe dans
un milieu microbien favorable. Ces conditions fugaces ne se retrouvent pas par la suite. Il est habituel-
lement observé que la croissance des plantes semées dès les premières pluies est beaucoup plus rapide
que celle des plantes à semis retardé.

Pour bien des raisons, il est donc très recommandé de semer aussitôt que les pluies le permettent,
en moyenne vers le 20 juin.

Or, le système de culture utilisé jusqu'à présent, nécessitant deux déchaumages successifs, ne permet guère de semer au mieux avant la fin du mois de juin et, ordinairement, pas avant le 5 ou 10 juillet. Ces dates sont nettement trop tardives et c'est une des raisons pour lesquelles il a paru nécessaire de rechercher d'autres techniques permettant de satisfaire à cette exigence primordiale : la précocité des semis.

Une autre raison a été la mise en évidence de l'intérêt, pour les sols et les cultures, du travail profond du sol.

B) LE TRAVAIL PROFOND DU SOL

1) INTERET DU TRAVAIL PROFOND DU SOL

Ces sols sableux ou sablo-argileux du Sénégal présentent, à l'état naturel, une compacité trop grande pour permettre un enracinement satisfaisant des cultures. Le rôle essentiel du travail profond du sol, outre sa fonction d'ameublissement, sera de modifier quantitativement et qualitativement la porosité du sol : alors qu'elle excède rarement 36 % à 37 % dans un sol non travaillé, elle peut dépasser 44 % à 49 % après labour ; corrélativement, la proportion de pores de grandes dimensions est augmentée et la nature de la porosité change. Cette modification de porosité est très favorable au développement racinaire, ainsi que l'ont montré plusieurs études de corrélations réalisées en divers points du Sénégal (2, 31) et notamment à Séfa (sur maïs dans l'essai « labour de fin de cycle » en 1967). On peut considérer que les autres incidences du labour sur le sol : modification de granulométrie, de régime hydrique et même lutte contre l'herbe, sont secondaires par rapport au rôle essentiel qu'il joue dans l'amélioration de la structure, de la porosité et de l'ameublissement. Les conséquences bénéfiques pour l'enracinement des cultures se traduisent par une meilleure alimentation hydrique et minérale de la plante et donc des augmentations substantielles de rendements. Des comparaisons ont été faites dans de nombreux essais implantés en plusieurs points du Sénégal entre divers modes de préparation du sol et, en particulier, entre les façons superficielles (grattage avec les instruments traditionnels ou passage de disques ou de scarificateurs) et labour profond (15 cm à 25 cm). Partout et sur toutes les cultures, le labour profond a donné d'importantes plus-values de rendement, pouvant aller jusqu'à 100 % du témoin.

A Séfa même, quelques essais de ce genre ont été implantés et les résultats vont dans le même sens que ceux de l'ensemble du Sénégal. C'est ainsi que dans l'expérimentation « labour de fin de cycle » (28) on a comparé, en 1967 et 1968, entre autres traitements, la préparation habituelle du sol avec deux déchaumages successifs et un labour exécuté à la fin de l'hivernage précédent et repris en début de saison des pluies par un pulvérisage aux disques ; cette dernière modalité de préparation n'est certes pas la plus recommandable mais, en l'occurrence, elle a été choisie, car les semis sur les deux traitements ont été effectués à la même date (assez tardive). Les résultats sont les suivants (en kg/ha) :

Moyenne	Maïs (1967-1968)	Arachide après mil (1968)	Arachide après maïs (1968)
Façons superficielles ..	1.175	1.699	1.342
Labours	1.582	1.802	1.871

Plus démonstratifs encore ont été les semis effectués en 1968 sur riz pluvial, comparant une façon superficielle (grattage à la daba) et un labour de préparation ; il y avait un essai de ce type pour chaque grande catégorie de sols. En raison de la sécheresse exceptionnelle du mois d'août et de l'attaque parasitaire qui a suivi, les rendements ont été, dans l'ensemble, médiocres et peu significatifs. Par contre, les observations faites sur le développement végétatif ont mis très nettement en évidence la supériorité du labour sur la façon superficielle de préparation. Cette supériorité se manifestait également sur l'enracinement qui était plus profond et ramifié sur le labour.

A Séfa, également, on a pu montrer la non-validité des arguments habituellement avancés par les détracteurs du travail profond du sol, tentant à faire croire que celui-ci favorise dangereusement l'érosion sur les sols tropicaux réputés fragiles.

Au cours de l'année 1968, en effet, on a comparé sur les parcelles de mesures de l'érosion, deux traitements :

sol nu, traité aux herbicides totaux ;

sol nu, ayant eu l'année précédente un labour d'enfouissement de pailles de maïs ;
trois binages exécutés au cours de la saison.

Les résultats ont été les suivants (8) :

	Ruissellement		Turbidité spécifique (g/l)	Erosion (t/ha)
	mm	Pluviométrie (%)		
Sol nu, non travaillé	270,7	37,2	6,68	18,09
Sol nu, labouré	151,5	20,8	4,28	6,48

Loin de favoriser l'érosion, le travail profond du sol a au contraire diminué de 44 % le ruissellement et de 64 % l'érosion.

La fâcheuse et tenace réputation du travail du sol en matière de dégradation et d'érosion dans les zones tropicales tient probablement à une confusion persistante entre profondeur et intensité de travail. Si ce dernier facteur, conduisant à un émiettement du sol et accroissant sa susceptibilité à l'érosion, est effectivement toujours à proscrire, il n'en va pas de même du premier ; suivant les modalités d'exécution, les deux facteurs peuvent être largement indépendants. Comme dans les pays tempérés, le travail profond du sol, en zone tropicale sèche, peut être tout à la fois un facteur important de productivité agricole et de conservation du sol.

2) LES MODALITES DE TRAVAIL DU SOL

Plusieurs facteurs sont à considérer :

- les instruments utilisés,
- la profondeur de travail,
- l'humidité du sol,
- l'époque de travail,
- le modelé du terrain,
- l'incorporation de matière végétale.

a) LES INSTRUMENTS UTILISÉS.

Les charrues sont les instruments de choix. Elles permettent de travailler le sol plus profondément et plus efficacement que n'importe quel appareil de pseudo-labour.

Les charrues à soc et versoir paraissent faire un meilleur travail que les charrues à disques. Ces dernières, même travaillant à faible vitesse, ont tendance à trop pulvériser le sol et à faire, en sols sableux, des labours trop fondus. Elles restent cependant parfaitement utilisables et conviennent bien pour l'enfouissement de matière végétale.

Les déchaumeuses à disques, largement utilisées jusqu'à présent, s'apparentent beaucoup plus à des instruments de pseudo-labour qu'à des charrues : il y a, en effet, déplacement du sol mais pas de véritable retournement ; par ailleurs, le travail reste trop superficiel (8 à 10 cm).

b) LA PROFONDEUR DE TRAVAIL.

Si, comme on l'a vu plus haut, le rôle principal du travail du sol est de modifier qualitativement et quantitativement la porosité de l'horizon travaillé, il paraît assez logique de chercher à offrir aux racines le maximum de volume de terre travaillée pour leur développement, donc à labourer aussi profondément que possible, jusqu'à 30 à 40 cm, par exemple. Ceci est d'autant plus vrai que le rôle d'écran au développement racinaire joué par le fond du labour est plus net, ce qui est le cas dans les terres de Moyenne-Casamance.

Cependant, il faut tenir compte également du fait que le profil pédologique est ici assez différencié et qu'il existe un contraste marqué entre l'horizon superficiel sablo-argileux, assez riche en matière organique et éléments minéraux, et l'horizon situé entre 20 et 40 cm plus argileux, mais plus pauvre en matière organique et souvent en éléments fertilisants. Dans ces conditions, il paraît préférable d'homogénéiser progressivement le profil cultural en labourant un peu plus profondément chaque année, plutôt que de labourer à grande profondeur dès la première année. Dans la pratique, on commencera par une profondeur de 15 cm pour aboutir au bout de trois ou quatre ans à une trentaine de centimètres.

c) HUMIDITÉ DU SOL.

En saison sèche, le labour est impossible sur les sols de Séfa. Le travail du sol réalisable à cette époque de l'année serait un pseudo-labour à la dent sous-soleuse (type Gouvy). Cette dent provoque l'éclatement du sol et réalise un travail nettement inférieur en qualité à celui d'un labour ; son emploi peut cependant se révéler utile en culture attelée bovine, en cas d'équipement insuffisant du paysan.

Pour le labour de saison des pluies, le choix de la date sera essentiellement déterminé par l'observation des états d'humidités du sol. Pour des terres de texture moyenne, il est possible de décrire le comportement du sol aux différentes humidités en observant sur un même graphique les variations de l'adhérence et de la cohésion ; on peut ainsi définir les conditions de travail aux différentes humidités. Ceci est difficile dans les sols de Moyenne-Casamance en raison de la nature sablo-argileuse de l'horizon superficiel ; plasticité et adhésivité sont des notions qui n'ont alors guère de sens (sauf pour les horizons profonds plus argileux).

On ne peut donc raisonner sur la courbe d'adhérence, mais uniquement sur celle de la cohésion en fonction de l'humidité. Le taux d'humidité optimal, pour effectuer un labour avec mottes de petites dimensions, facile à reprendre, semble se situer un peu au-dessous de la capacité de rétention, soit entre 10 et 12 % d'humidité pondérale pour les sols beiges de Séfa.

Ces valeurs sont faibles ; compte tenu du fort pouvoir évaporant de l'air, l'humidité du terrain en surface variera très rapidement de l'optimum au médiocre ; la marge de temps disponible après chaque pluie pour effectuer dans de bonnes conditions les labours sera assez réduite (deux à trois jours).

d) L'ÉPOQUE DE TRAVAIL.

Bien que la saison des pluies soit un peu plus étalée en Moyenne-Casamance que dans les régions nord et centre du Sénégal, il n'en reste pas moins que l'agriculteur disposera de fort peu de temps pour combiner, en début de saison, la double nécessité des labours de préparation et des semis précoces ; ceci d'autant plus que, comme on vient de le voir, la marge de temps disponible après chaque pluie est assez réduite.

Pour échapper en partie à cette contrainte, on a cherché à voir s'il n'était pas possible de reporter la réalisation d'une partie des labours à la fin de la saison des pluies. Ceci n'est possible que si le cycle pluviométrique est légèrement supérieur au cycle végétatif des principales cultures, de façon à pouvoir débarrasser le terrain sitôt la récolte terminée et effectuer le labour dans des conditions satisfaisantes.

A Séfa, le cycle pluviométrique est d'environ 150 jours tandis que le cycle végétatif de plusieurs cultures habituellement pratiquées ne dépasse pas 120 jours : arachide (120 jours), riz pluvial (110 jours), maïs (90 à 105 jours). Derrière toutes ces cultures, il est théoriquement possible d'effectuer un labour. Ces labours de fin de campagne doivent permettre de semer plus précocement en début de saison des pluies.

Un essai dit « labour de fin de cycle » a été mis en place dès 1963 pour vérifier cette hypothèse. Trois traitements correspondant à trois dates d'exécution des labours entraînant trois dates de semis différentes y étaient comparés.

Les résultats sont les suivants, pour un maïs succédant à une arachide et pour une arachide succédant à un maïs :

Préparation du sol	Date de semis	Rendements maïs (kg/ha)					Rendements arachide (kg/ha)			
		1965	1966	1967	1968	Moyenne 1965-1968	1966	1967	1968	Moyenne 1966-1968
Labour de fin de cycle. Reprise en sec au tiller	Précoce	2.583	2.730	1.846	1.905	2.266	2.540	1.916	2.058	2.171
Labour de préparation		1.708	2.512	2.266	790	1.819	1.889	1.352	1.864	1.702
Labour de fin de cycle. Reprise en humide par un labour	Tardive	1.245	921	926	1.913	1.251	1.485	943	1.871	1.433

La supériorité du premier traitement se manifeste donc assez régulièrement chaque année sur maïs et arachide. Sur mil, par contre, il n'y a pratiquement pas de différence entre les traitements.

Il ressort de ces essais que le labour de fin de campagne, repris en sec et semé précocement, peut présenter un certain nombre d'avantages par rapport au labour en début de campagne :

- semis plus précoce et développement plus rapide de la végétation ;
- découlant de cela, meilleure colonisation par les racines et meilleure conservation du profil cultural ;
- plus grande facilité dans la lutte contre l'herbe ;
- au total : meilleure protection du sol et rendements plus élevés.

Le dernier traitement, qui avait été mis en place pour lutter éventuellement contre un envahissement par l'herbe, se révèle inintéressant à tous les points de vue.

e) LE MODELÉ DU TERRAIN.

En Moyenne-Casamance, la quasi-totalité des semis sont effectués sur billons. Certains ont pensé que l'adoption généralisée de cette technique était motivée par le souci de lutter contre l'érosion. Cette opinion nous paraît contestable, car les billons traditionnels sont habituellement orientés dans le sens de la pente. Par ailleurs, en admettant qu'ils soient correctement orientés, l'avantage du billon sur le labour à plat en ce qui concerne la conservation du sol ne paraît pas tellement démontré ; la réalisation rigoureuse d'un dispositif de billons en courbes de niveau sur de vastes superficies est très difficile, voire impossible à exécuter. Il y aura toujours un ou plusieurs points faibles dans le dispositif où l'eau, s'accumulant derrière un billon, finira par le faire céder, perçant ensuite tous les billons se trouvant en aval et pouvant ainsi entraîner des dégâts très sérieux.

Enfin, et c'est sans doute l'aspect le plus important de la question, même lorsqu'il permet d'entraver le ruissellement, le microrelief créé par le billonnage a le très gros inconvénient, dans ces sols sableux à sablo-argileux, d'aggraver les conséquences de l'érosion par battance ; sables et argiles sont entraînés sur le flanc du billon et viennent se déposer alternativement, par lits successifs, dans le fond du sillon. Le billon « fond » progressivement sous l'action de la pluie et dans le sillon se développe une structure litée qui, si elle n'est pas détruite par un travail profond du sol, se révèle très défavorable à l'enracinement de la culture et, donc, à sa croissance et à sa production. Les observations de ce genre sont particulièrement nettes dans les pays de vieille culture, sur les plateaux de Basse-Casamance, par exemple (37).

La culture traditionnelle en billons pourrait s'expliquer par deux autres raisons : l'amélioration du drainage au niveau des racines (surtout lorsque les billons sont orientés dans le sens de la pente) et la nécessité de lutter contre l'envahissement par l'herbe. C'est cette dernière raison qui nous paraît prépondérante. La préparation du terrain est, en effet, habituellement assez tardive et s'effectue sur un terrain déjà couvert d'herbe. En enterrant cette herbe dans le billon, les cultivateurs pratiquent ainsi une sorte d'engrais vert dérobé et s'assurent, par la suite, une bien meilleure maîtrise de l'herbe qu'en culture à plat, après préparation superficielle et retournement insuffisant.

Le labour à plat correctement exécuté, suffisamment profond et fermé, permet de concilier ces trois impératifs :

infiltration de l'eau dans le sol,
réduction de la dégradation,
maîtrise de l'herbe.

L'incidence comparée, sur le ruissellement et l'érosion de labour à plat et du billonnage, a été étudiée en cas d'érosion. Cette étude n'a cependant guère de sens sur des parcelles aussi petites, car elle permet difficilement de préjuger du comportement des billons vis-à-vis du ruissellement sur grandes superficies ; on a affaire ici à une loi de « tout ou rien » : ou les billons tiennent et ruissellement et érosion sont nuls ; ou ils cèdent et les quantités d'eau et de terre entraînées dans les cuves peuvent être très importantes. Par ailleurs, les mesures ne portent que sur la terre entraînée par le ruissellement et ne rend pas compte de la dégradation se produisant *in situ*, entre deux billons. Cette étude doit donc se faire en plein champ, sur bassins versants de petites superficies ou portions de versants.

Les études en cuves d'érosion ont permis, par contre, comme on le verra plus loin, de mettre en évidence l'influence bénéfique sur la conservation du sol et l'infiltration de l'eau d'un système cultural combinant labour à plat et semis précoce, en comparaison avec le système cultural habituellement pratiqué impliquant façons superficielles et semis relativement tardif.

Notons, enfin, que la technique du billonnage présente de nombreux inconvénients pratiques en culture motorisée et plus encore en culture attelée : difficulté de réaliser mécaniquement les labours, les semis, les entretiens et la récolte.

Une autre technique peut, pour certaines cultures, avoir une incidence favorable : c'est celle du buttage. Des essais en ce sens ont été réalisés à Séfa sur maïs et montrent une très légère supériorité du buttage sur la culture à plat ; le semis sur billons, qui figurait également dans ces essais, est le moins bon de tous les traitements (26). Cependant, le buttage présente, dans certains cas, l'inconvénient de rendre plus difficile la reprise des terrains pour la culture suivante.

Les binages-buttages ont donné également de bons résultats sur arachide en évitant les asphyxies locales par les flaques d'eau avec cependant, en contrepartie, le danger d'aggraver l'érosion lorsque la préparation du terrain était médiocre et la levée plus ou moins défectueuse.

f) L'INCORPORATION DE MATIÈRE VÉGÉTALE.

Jusqu'à présent, il n'a été question que de labours sans enfouissement de matière végétale. Or, les premiers labours qui ont été réalisés à Séfa étaient des labours d'enfouissement d'engrais vert ou de jachère. Pendant une quinzaine d'années, ce sont même les seuls labours qui intervenaient régulièrement dans la rotation, une fois tous les quatre ans en principe. Leur intérêt a été très discuté et il importe maintenant de faire le point sur cette question en examinant successivement :

- le labour de fumure verte (engrais vert proprement dit et jachère) en tant que modalité de travail du sol ;
- l'utilisation de la sole de régénération comme sole fourragère, ses modalités de réalisation et sa place dans la rotation ;
- les autres labours d'enfouissement de matière végétale : pailles et fumier.

α) LE LABOUR DE FUMURE VERTE EN TANT QUE MODALITÉ DE TRAVAIL DU SOL.

Le labour de fumure verte, lorsqu'il est correctement réalisé, se révèle être une modalité particulièrement intéressante de travail profond du sol. Il présente tous les effets d'un labour ordinaire avec, en plus, les avantages suivants :

- développement d'une structure particulière dite « mie de pain » et d'une macroporosité biologique dû à l'action de la mésofaune ;
- rémance d'action sur le sol beaucoup plus marquée que pour un labour ordinaire : la preuve en est fournie non seulement par l'observation de profils culturaux, mais aussi par des mesures de cohésion (résistance à la pénétration) effectuées un, deux ou même trois ans après son exécution ;
- amélioration possible du bilan humique du sol : ce dernier point n'est pas encore parfaitement prouvé.

L'engrais vert a été accusé parfois de favoriser l'érosion. Cette critique était valable autrefois quand l'enfouissement se faisait en pleine saison des pluies : entre la mi-août et la mi-septembre. Il est certain que le sol dénudé se dégradait alors rapidement sous l'effet des fortes pluies du milieu de l'hiver ; lorsque le sous-sol était assez argileux et le labour bien fermé, il se produisait en outre, au fond du labour, des phénomènes de gleyification préjudiciables au sol et aux cultures.

Cette critique n'est plus valable maintenant, où l'on recommande de repousser la date du labour d'enfouissement tout à la fin de la saison des pluies.

En ce qui concerne l'action sur les rendements des cultures, la fumure verte a été généralement comparée à la jachère traditionnelle, brûlée sur place. Plusieurs essais anciens réalisés entre 1952 et 1958 ont montré la supériorité de la fumure verte sur la jachère brûlée, sans qu'il apparaisse de différences nettes entre les traitements secondaires que l'on faisait subir à cette fumure verte (fauche, mulch, enfouissement complet, etc.). Par ailleurs, un rôle important était reconnu à la fumure verte dans l'homogénéisation des sols après le défrichement.

Plus récemment, l'essai « régénération du profil », mis en place en 1964, mettait en évidence une supériorité manifeste de divers traitements de fumure verte sur le traitement « jachère brûlée » (29). Cette supériorité se traduisait, pour le maïs succédant à la jachère brûlée, de la façon suivante (en kg/ha, différences hautement significatives) :

	1967	1968	Moyenne
Jachère brûlée	709	715	712
Fumure verte (moyenne de quatre traitements)	2.297	1.413	1.855
Culture de maïs avec enfouissement de pailles	2.302	1.076	1.539

Cette supériorité continue à se manifester, bien que de façon moins nette, sur la culture de mil succédant au maïs (2.206 kg/ha contre 2.030 kg/ha pour la jachère brûlée).

Il est remarquable de noter que, dans les premières séries du même essai, en 1965 et 1966, où l'arachide succédait directement à la sole de régénération, les traitements jachère brûlée et fumure verte étaient pratiquement équivalents. Parallèlement, les effets sur le sol qui, dans le cas de la nouvelle rotation, sont encore bien visibles deux ou trois ans après le labour d'enfouissement (observations de profils et mesures de pénétrométrie), s'atténaient beaucoup dès la première année de culture, lorsque celle-ci était une arachide : il y a là une tendance à un nivellement par le bas des traitements. Cette observation souligne l'importance de la nature de la culture et de la végétation dans la conservation du profil cultural.

Cependant, un problème est de se demander si la fumure verte est supérieure ou non à la jachère brûlée et un autre si la culture continue est possible dans les conditions de la Casamance ou s'il est indispensable d'interrompre périodiquement la rotation par une sole dite de régénération, destinée exclusivement à améliorer le sol.

L'ensemble des études menées tant à Séfa que dans d'autres points du Sénégal autorise maintenant à répondre à cette importante question de la manière suivante :

La jachère à courte durée, composée de graminées annuelles et brûlée en fin de saison sèche ne paraît pas avoir d'effet important sur le sol en dehors de son incidence sur le bilan minéral (qui joue dans le cas de fumures faibles). En lui laissant une durée suffisante, elle peut limiter la dégradation et maintenir la fertilité dans des systèmes de culture à caractère extensif ou dans des régions particulièrement défavorisées des points de vue sol et climat.

La fumure verte convenablement réalisée est supérieure, à tous les points de vue, à la jachère brûlée ; elle n'est cependant réellement indispensable que dans les régions à courte saison des pluies, où elle représente, en fait, la seule modalité possible de travail profond du sol, compte tenu des diverses contraintes qui pèsent sur la réalisation des labours de préparation et rendent difficile, voire impossible, leur généralisation sous peine de retarder exagérément les semis.

Or, la Moyenne-Casamance n'est défavorisée ni du point de vue sol ni du point de vue climat ; la saison des pluies y est suffisamment étalée pour qu'on puisse effectuer les travaux de préparation du sol, soit au début, soit en fin de saison, tout en conservant la pratique impérative des semis précoces. On peut donc affirmer, dans ces conditions, que la sole de régénération en tant que telle n'est pas indispensable à Séfa et que la culture continue y est possible, sous réserve d'effectuer chaque année des travaux profonds de préparation du sol et de satisfaire convenablement aux exigences minérales des cultures.

Les bénéfices supplémentaires à attendre de l'incorporation au sol de matière végétale peuvent d'ailleurs, en Moyenne-Casamance, être obtenus, comme on le verra, par d'autres voies : celle de l'enfouissement de pailles de céréales à court cycle ou de fumier.

Cependant, dans la mesure où les travaux de préparation du sol et les fertilisations minérales ne peuvent être portés d'emblée à leur optimum, il est recommandé de s'en tenir à un système cultural moins intensif et de continuer à faire intervenir la sole de fumure verte tous les quatre ou cinq ans dans la rotation : ceci constitue une assurance qu'il serait imprudent de négliger avant de s'être assuré que toutes les autres conditions requises sont bien remplies.

β) LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION EN TANT QUE SOLE FOURRAGÈRE ANNUELLE.

Concernant la fumure verte, il est cependant un autre point à prendre en considération : la possibilité de combiner cette technique avec la production fourragère. Le bétail de l'exploitation, s'il est réduit au cheptel de trait, peut en effet, dans la majorité des cas, satisfaire ses besoins nutritifs à partir des seuls résidus de récolte ; il n'en va pas de même dans le cas du cheptel de rente : d'où l'intérêt, pour l'exploitation agricole, d'une sole fourragère. Or, l'exploitation de la jachère annuelle par fauche peut fort bien se combiner avec la technique de la fumure verte (enfouissement de regain). Le pâturage, par contre, semble moins intéressant en raison, d'une part, du gaspillage inévitable de fourrage et, d'autre part, des effets du piétinement sur le sol humide. Mais ce sont les mils et sorghos utilisés comme engrais vert qui offrent, de loin, les meilleures ressources pour la production fourragère ; des niveaux de production de 15 t/ha de matière sèche peuvent être atteints à Séfa moyennant une bonne fertilisation minérale. Là encore, avec la préfauche fin août ou début septembre, l'ensilage et l'enfouissement des repousses, il est parfaitement possible de combiner production fourragère et fumure verte.

Les combinaisons possibles sont multiples. Il en résulte une certaine souplesse qui permet, selon les situations, de mettre l'accent tantôt sur la production de fourrage, tantôt sur l'amélioration du profil cultural, sans jamais sacrifier complètement un objectif à l'autre.

γ) LES AUTRES LABOURS D'ENFOUISSEMENT : PAILLES ET FUMIERS.

L'enfouissement des résidus de récolte (pailles pour les céréales) est possible, à Séfa, avec les céréales à cycle relativement court : maïs et riz pluvial. Il ne l'est pas, par contre, avec les céréales traditionnelles, mils et sorghos, dont le cycle végétatif est très supérieur à la durée de la saison des pluies. L'enfouissement des pailles de maïs est pratiqué à la station de Séfa depuis plusieurs années et a toujours donné d'excellents résultats, tant sur le sol (profil cultural) que sur les rendements des cultures suivantes.

Les résultats précédemment cités concernant l'arachide succédant à un maïs dans l'essai « labour de fin de cycle » sont obtenus, dans les deux traitements comportant un labour de fin de cycle, après enfouissement de pailles. Dans l'essai « régénération du profil », il y a également, à côté des quatre traitements de fumure verte et du traitement jachère brûlée, un traitement enfouissement de pailles de maïs. Les résultats de la culture suivante (maïs) sont intermédiaires entre ceux de la fumure verte et ceux de la jachère brûlée, mais représentent cependant plus du double de ce dernier traitement (voir chiffres plus haut). Dans un essai « rotation-assolement », une culture de maïs avec enfouissement de pailles est comparée à un sorgho engrais vert : les effets sur les rendements des cultures suivantes sont très comparables dans les deux cas. L'enfouissement de pailles de céréales à court cycle est donc une pratique très recommandable qui peut suppléer, dans une large mesure, à la suppression de la sole d'engrais vert.

La présence du bétail sur l'exploitation permettra de tirer parti des pailles des céréales à long cycle, en les transformant en fumier. Les problèmes pratiques de fabrication du fumier à partir de ces résidus, problèmes qui se posent surtout en saison sèche (arrosage), peuvent actuellement être considérés comme résolus, après les expérimentations menées dans ce sens à Bambey. Il restera à examiner l'influence spécifique du fumier sur le sol, en dehors de l'aspect des restitutions minérales, question qui est actuellement en cours d'étude.

g) LA REPRISE DES LABOURS ET LA PRÉPARATION DU LIT DE SEMENCES.

La reprise des labours pour la préparation du lit de semences n'offre, en principe, pas de difficultés particulières lorsqu'il n'y a pas eu d'enfouissement de matière végétale. Lorsque le labour a été réalisé à un taux d'humidité optimum (fabrication de petites mottes nuciformes), les premières pluies suffisent même à déliter les plus grosses mottes et à égaliser le terrain, permettant un semis direct au semoir : c'est souvent le cas, en particulier pour les labours de fin de cycle. Plus généralement, il est nécessaire de reprendre le labour avec un cultivateur à dents rigides ou, à la rigueur, avec un pulvérisateur à disques ; ce dernier instrument est cependant déconseillé, car il émiette trop le sol.

Le semis lui-même demande certaines précautions : les levées défectueuses qui ont été parfois observées lors des semis sur labour sont dues, bien souvent, à un contact insuffisant entre les graines et les particules du sol. Il convient alors de tasser un peu le terrain. Les roues plombeuses du semoir remplissent cet effet, mais il peut arriver que cet effet de tassement soit insuffisant et qu'il faille le compléter par le passage d'un rouleau, par exemple : ce dernier point demande cependant à être examiné de près.

Les labours d'enfouissement de matière végétale, fumure verte et pailles, posent davantage de problèmes de reprise. Il y a deux difficultés à surmonter : la formation d'une croûte superficielle durcie et les repousses végétales.

La croûte se forme après la chute d'une pluie suffisamment importante pour détruire la structure superficielle ; il y a reprise en masse et formation d'une croûte durcie, difficilement brisée par les instruments légers dont dispose la culture attelée.

La solution paraît être de reprendre le terrain aussitôt après exécution du labour d'enfouissement ; divers instruments peuvent être utilisés : dents rigides (herse ou tiller), dents souples, houe rotative... L'opération doit être recommandée après chaque pluie importante, sous peine de perdre une grande partie du bénéfice procuré par le labour d'enfouissement. En reprenant ce dernier à la limite de la saison des pluies, on peut espérer limiter le nombre de passages au minimum (un seul dans les meilleures conditions).

Cette technique de reprise précoce, aussitôt après labour, se justifie d'autant plus que c'est le seul moyen pratique d'éviter les repousses végétales et le salissement du labour après exécution. Même lorsque le labour est suffisamment fermé, on ne peut, en effet, empêcher totalement que ces repousses se produisent, obligeant à une intervention spéciale avant la préparation du lit de semences. La reprise précoce paraît très efficace pour prévenir les repousses végétales ; elle permet de préparer en même temps le lit de semences et laisse le terrain propre, prêt à être semé dès le début de la prochaine saison des pluies.

C) LA SUCCESSION CULTURALE

L'alternance céréales-légumineuses avait été posée autrefois comme règle impérative pour la succession culturale. La légumineuse ne pouvait guère être, en fait, que l'arachide, les céréales pouvant être, au choix : mil, sorgho, riz.

Cette alternance continue à donner des résultats satisfaisants sur le plan agronomique ; toutefois, cette règle ne revêt plus le caractère impératif qu'elle avait autrefois. La modification des techniques culturales, l'introduction en grande culture d'une nouvelle plante : le maïs, ont contribué à l'assouplir.

De même, la rotation quadriennale autrefois recommandée, comportant un engrais vert et deux arachides, ne paraît plus tellement se justifier ni du point de vue technique, puisque, en dehors de son aspect de sole fourragère, la sole d'engrais vert ne semble plus indispensable, quand les autres conditions culturales sont réunies, ni du point de vue économique puisque, depuis cette époque, les prix de l'arachide ont baissé, tandis que ceux des céréales (et notamment le riz) avaient tendance à augmenter. Il n'y a, actuellement, plus d'impératif agronomique obligeant à adopter telle succession plutôt que telle autre : le choix des spéculations végétales et de leur succession sera donc essentiellement guidé par des considérations économiques.

Cependant, pour les raisons qui ont été énoncées plus haut, il demeure recommandé, tant que les travaux de préparation du sol et la fertilisation minérale n'auront pas été portés à leur optimum, de conserver, à titre d'assurance, une sole de fumure verte (jachère enfouie ou engrais verts) dans la rotation. Il sera préférable de lui faire succéder une céréale plutôt qu'une arachide, car la céréale tirera un meilleur parti que l'arachide du profil cultural ainsi amélioré et protégera beaucoup mieux celui-ci de la dégradation. Compte tenu de ces éléments, la rotation culturale qui semble actuellement la mieux adaptée est une rotation quinquennale du type :

jachère enfouie ou engrais vert-maïs-riz-arachide-mil.

Les positions du riz et du mil dans la rotation peuvent être permutées.

D) LE CHOIX D'UN SYSTEME CULTURAL

Le choix d'un système cultural sera guidé par les préoccupations précédemment énoncées :

- nécessité de semer aussi précocement que possible ;
- nécessité d'effectuer périodiquement, si possible annuellement, un travail profond du sol ;
- intérêt d'effectuer une partie des labours à l'automne ;
- nécessité d'une préparation soignée du lit de semences, préparation pouvant, avec profit, s'effectuer aussitôt après exécution des labours ;
- intérêt de saisir chaque occasion pour réaliser les travaux profonds du sol sous forme de labour d'enfouissement en incorporant au sol de la matière végétale sous différentes formes : fumure verte, résidus de récolte pailleux, fumier.

Les effets sur le sol et les rendements des cultures d'un tel ensemble de techniques ont été testés pendant plusieurs années sur parcelles de mesures de l'érosion. On a comparé en effet pendant trois ans, de 1966 à 1968, deux systèmes de culture : l'un dérivé de l'ancien système mis au point par les techniciens de la CGOT, considéré comme témoin ; l'autre intégrant les nouvelles acquisitions de la recherche agronomique en matière de physique des sols et de techniques culturales.

Les différences entre les deux systèmes portaient sur trois points et peuvent être schématisées ainsi :

	Système témoin	Système nouveau
Mode de préparation du sol	Disquage superficiel	Labour profond
Date de préparation du sol	Printemps	Automne
Date de semis	Retardée d'une quinzaine de jours	Précoce

Les cultures furent :

- en 1966, le maïs (ZM 10) ;
- en 1967, le maïs (BDS) ;
- en 1968, le riz (Taïchung native n° 1).

Les labours d'automne, réalisés en 1966 et 1967, furent des labours d'enfouissement de pailles de maïs.

Les résultats ont été résumés dans le tableau ci-dessous (8) :

Caractéristiques	Années	Système témoin	Nouveau système
Ruissellement (mm)	1966	103,00	80,8
	1967	628,5	408,0
	1968	84,5	42,5
	Moyenne	272,3	177,1
Ruissellement pluviométrie (%)	1966	8,2	6,5
	1967	42,5	27,5
	1968	13,8	7,0
	Moyenne	27,1	15,9
Turbidité spécifique (g/l)	1966	9,25	6,26
	1967	3,17	1,38
	1968	1,05	1,02
	Moyenne	3,71	2,09
Erosion (t/ha)	1966	9,54	5,05
	1967	19,91	5,64
	1968	0,89	0,43
	Moyenne	10,11	3,71
Rendements en grains (q/ha)	Maïs 1966	38,8	35,4
	Maïs 1967	17,3	25,5
	Riz 1968	—	—

L'adoption du nouveau système cultural entraîne une diminution sensible du ruissellement et de l'érosion : respectivement 35 % et 63 % en moyenne sur trois ans. Ceci traduit une nette amélioration dans l'adaptation des techniques culturales au milieu pédo-climatique.

Concernant les rendements, ceux-ci sont, en 1966, légèrement supérieurs sur le système témoin, en raison d'une sécheresse sévère dans la première quinzaine de juillet qui a nettement défavorisé les maïs semés précocement. En 1967, l'avantage revient nettement au nouveau système avec une supériorité de 56 % par rapport au témoin. En 1968, la sécheresse catastrophique du mois d'août a provoqué l'explosion de maladies parasitaires et le dépérissement du riz : les rendements très faibles n'ont pas de signification réelle. Cependant, les observations faites en cours de campagne permirent de constater que le développement végétatif du riz était beaucoup plus satisfaisant sur le nouveau système que sur le témoin.

Ces deux systèmes de culture sont d'ailleurs comparés depuis 1967 dans une expérimentation en plein champ, l'essai « labour de fin de cycle » (28), la seule différence, pour le système témoin, étant que le pulvérisage unique sur parcelles d'érosion est remplacé, en plein champ, par un déchaumage suivi, à une dizaine de jours d'intervalle, d'un pulvérisage. Les résultats sont les suivants (en kg/ha) :

	Mil 1967-1968	Maïs 1967-1968	Arachide sur mil 1968	Arachide sur maïs 1968
Système témoin	2.294	1.175	1.699	1.342
Nouveau système	2.179	1.876	1.752	2.058

Il y a peu de différences pour le mil et pour l'arachide succédant au mil et, par contre, une nette supériorité du nouveau système pour le maïs et l'arachide succédant au maïs.

Dans la rotation quinquennale recommandée, il sera assez facile de respecter les règles culturales précédemment énoncées, tous les labours de préparation pouvant se réaliser, en principe, en fin de campagne, ce qui facilitera les semis précoces.

La jachère ou l'engrais vert seront fauchés fin août, les produits de la fauche étant, suivant les cas, exportés pour la nourriture du bétail ou déposés en paillis sur le terrain ; le regain sera enfoui début octobre et la reprise du labour se fera avec un cultivateur à dents dès la fin des pluies, si possible.

Pour les cultures suivantes : maïs, riz, arachide, les labours pourront également, en principe, s'effectuer en fin de campagne étant donné le cycle végétatif relativement court de ces cultures. Il y aura enfouissement de pailles dans le cas du maïs et exportation de celles-ci pour la nourriture du bétail dans le cas du riz et de l'arachide. Seule la dernière culture de la rotation ne se prêtera pas à la technique du labour de fin de campagne.

CHAPITRE III

LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LES PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES

Depuis l'époque du défrichement, de nombreuses analyses de carbone, azote et humus ont été faites sur les sols de Séfa. Cependant, les variations spatiales, dues à l'hétérogénéité des sols, sont très grandes. A cette difficulté vient s'en ajouter une seconde qui est celle de la variabilité saisonnière des caractéristiques du sol, cette variabilité étant toutefois beaucoup moins importante que la variabilité spatiale.

Quoi qu'il en soit, l'évolution de la matière organique dans l'horizon superficiel du sol (0 à 20 cm) aussitôt après défrichement a été suffisamment rapide et marquée pour qu'il n'y ait aucun doute sur sa réalité. L'interprétation est plus difficile pour la seconde phase, d'évolution plus lente, qui a commencé deux ou trois ans après mise en culture et se poursuit actuellement.

On examinera successivement :

- le carbone et l'azote,
- l'humus,
- les caractéristiques biologiques,
- le problème du relèvement de taux de matière organique du sol,
- la fumure azotée.

1) LE CARBONE ET L'AZOTE

Des prélèvements couplés forêt/culture ont été faits périodiquement depuis 1950, époque du défrichement. Les principaux résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous ; ils concernent l'horizon superficiel de 0 à 20 cm (24) :

Année de prélèvement	Nombre d'années après défrichement	Localisation	Type de sol	Carbone			Azote			Référence
				Forêt (%)	Culture (%)	Indice	Forêt (%)	Culture (%)	Indice	
1951	1	Moyenne	Rouge et beige	7 à 8	5 à 6	73	1,50	1,00	67	FAUCK, 1956
1956	6	Non précisé	Rouge et beige	7 à 8	4 à 6	67	1,50	1,00	67	FAUCK, 1956
1958	8	Non précisé	Non précisé	6,5	4,1	63	0,90	0,60	62	COINTÉPAS, 1958
1961	11	Station	Beige	5,9	3,4	58	0,44	0,30	68	PORTERS et FAUCK, 1961
1965	15	Sankoya	Moyenne	13,9	8,0	57	0,47	0,31	68	FAUCK <i>et alii</i> , 1966
1966	16	Ca 52-53	Rouge	9,2	5,3	58	0,69	0,42	61	FAUCK <i>et alii</i> , 1966
1966	16	Ca 50-51	Beige	13,4	5,0	37	0,85	0,36	42	FAUCK <i>et alii</i> , 1966

Comme on le voit, il y a une forte baisse du carbone et de l'azote après défrichement et mise en culture. Il est difficile, cependant, de déduire de ces chiffres la courbe d'évolution de la matière organique en fonction du temps, les variations saisonnières et surtout spatiales étant trop importantes. Il y a une diminution brutale aussitôt après défrichement puisque, dès l'année suivante, 30 % du carbone et de l'azote ont disparu. Cette perte initiale importante semble pouvoir s'expliquer par l'érosion et le brûlis intense qui ont été la conséquence directe des travaux de défrichement ; il ne s'agit pas là du processus normal de dégradation de la matière organique qui fait intervenir concurremment : érosion modérée, lessivage et oxydation.

Par la suite, il semble que la baisse se poursuit, mais sur un rythme beaucoup plus lent ; les taux de carbone et d'azote des sols forestiers servant de référence étant eux-mêmes assez variables, il est difficile de se rendre compte si l'on a atteint un état d'équilibre ou si la matière organique continue à se dégrader sous culture. Quoi qu'il en soit, on peut estimer, en se fondant sur les derniers chiffres obtenus, qu'une quinzaine d'années après le défrichement et la mise en culture la perte de matière organique dans l'horizon superficiel (0 à 20 cm) est de l'ordre de 18 t/ha sur un total de 43,5 t/ha, soit 41 % (profil CA 52-53 ; densité apparente : 1,4).

Un autre point à prendre en considération est la différence de répartition de la matière organique dans les profils sous forêt et sous culture. Au-dessous de 20 cm de profondeur, les taux de carbone et d'azote sont comparables. C'est dans les dix premiers centimètres que la perte en matière organique est la plus forte en passant de la forêt à la culture, de sorte que, dans les profils sous culture, on assiste à une certaine homogénéisation et à un nivellement par le bas des teneurs en matière organique, tandis que, pour les sols sous forêt, le profil est très contrasté.

Les chiffres du tableau ci-dessous illustrent ces données. Les profils ont été prélevés en 1961 (24) ; ils concernent un sol beige de la station.

Profondeur (cm)	Carbone (%)		Azote (%)	
	Forêt	Culture	Forêt	Culture
0-4	10,9	3,9	0,85	0,30
4-8	6,8	3,6	0,53	0,35
8-12	5,1	3,5	0,36	0,27
12-16	3,8	2,9	0,31	0,28
16-20	3,1	3,3	0,27	0,31

II) L'HUMUS

Il s'agit ici d'humus au sens restreint, comprenant les acides humiques et fulviques. Les dernières études, réalisées en 1966 (24), montrent que les taux d'humification sont un peu plus élevés sous culture que sous forêt, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

	Forêt	Culture
Sol rouge	42 %	48 %
Sol beige	40 %	44 %

Les chiffres étant cependant très voisins, on peut en déduire que dans le processus d'humification l'action du climat est déterminante ; les facteurs tels que nature du sol et nature de la végétation n'interviendraient qu'accessoirement.

Les taux d'humification étant un peu plus élevés sous culture, la baisse relative d'humus sera moins forte que celle du carbone. C'est ainsi que, pour les derniers prélèvements, les baisses de carbone et d'humus par rapport aux témoins que constituent les sols sous forêt sont les suivantes :

	Carbone	Humus
Sol rouge	41 %	32 %
Sol beige	57 %	53 %

Le passage de la forêt à la culture se traduit également par une modification de la composition de l'humus : baisse des acides humiques et augmentation relative des acides fulviques. Sous culture, par suite de l'abaissement du pH et du taux de Ca^{++} échangeable, les conditions ne sont pas favorables à la formation des acides humiques gris (liés à Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} et Al^{+++}) ; seuls les acides humiques bruns ou libres peuvent continuer à se former.

III) LES CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

Les études des caractéristiques biologiques ont été faites en trois étapes : 1955, 1962 et 1966 (24).

On considérera successivement :

- l'activité microbiologique globale,
- le pouvoir ammonifiant,
- la nitrification et la minéralisation du stock organique,
- les fixateurs d'azote atmosphérique,
- la microflore cellulolytique.

A) ACTIVITE MICROBIOLOGIQUE GLOBALE

Quatre indices biologiques ont été utilisés :

- respiration : CO_2 dégagé en mg pour 100 g sol, en sept jours, à 30° ;
- pouvoir enzymatique : PEZ en mg de sucres réducteurs pour 100 g de sol ;
- indice de consommation du glucose : IDG en mg de glucose consommé, en vingt-quatre heures, à 30° , sur 100 mg ajoutés à 20 g de sol ;
- activité déshydrogénasique : DH en microlitre H^+ pour 10 g de sol de la microflore du sol.

1) SOLS ROUGES

En sols rouges forestiers (0 à 10 cm), les quatre indices biologiques s'accordent pour indiquer un niveau assez élevé ; au contraire, dans le cas des sols rouges cultivés depuis quinze ans, ces mêmes indices montrent que l'activité biologique est tombée à un niveau faible à très faible.

La comparaison des valeurs moyennes en sols cultivés (CO₂ 27,0 ; PEZ 220 ; IDG 3,9 ; DH 2,6) avec le témoin forestier de profondeur correspondante fait ressortir les diminutions suivantes (en %) :

CO ₂	69
PEZ	69
IDG	92
DH	90

L'importance de la dégradation biologique apparaît donc, d'après ces chiffres, plus grande que l'abaissement du stock organique qui est inférieur à 50 % entre 0 et 10 cm. Cependant, l'époque des prélèvements en saison sèche (avril) favorise probablement les sols forestiers par rapport aux sols cultivés, plus ou moins dénudés ; en effet, sous culture, le retour au sol en hivernage de résidus végétaux doit atténuer un peu le décalage par rapport à la forêt, l'amplitude des variations biologiques saisonnières étant augmentée par la culture en réponse au pédo-climat profondément modifié, comme on l'a vu plus haut.

2) SOLS BEIGES

L'activité biologique du témoin forestier, reflétée par l'ensemble des indices, est assez élevée ; elle se situe à un niveau voisin de celui des sols rouges, si l'on fait abstraction, cependant, du test de déshydrogénase, ce qui peut correspondre, d'après LENHARDT, à un taux d'humus « labile » moindre. Le sol beige sous forêt présentant effectivement une proportion d'acides humiques bruns libres (H 1) sensiblement plus faible, la valeur de la déshydrogénase dépendrait donc, partiellement du moins, du taux de matière organique et de sa nature.

La chute de tous les indices est importante en sols cultivés, comme le montrent les valeurs moyennes ci-dessous :

	Chute	Niveau
CO ₂	46 %	Moyen
PEZ	74 %	Faible
IDG	80 %	Faible
DH	81 %	Très faible

L'ensemble des valeurs permet de conclure que la dégradation biologique par rapport au niveau initial est un peu moins importante que dans les sols rouges. Les deux indices de nature plus potentielle, respiration et pouvoir enzymatique saccharase, sont, comme dans les sols rouges, sensiblement moins abaissés.

La prise en considération des abondantes déjections de vers (turricules) peut atténuer un peu les pertes d'activités biologiques globales, mais ce sont surtout leur nitrification et leur richesse minérale qui sont très supérieures à celles du sol lui-même.

Au total, que ce soit en sols rouges ou en sols beiges, les abaissements d'activité biologique entre la forêt et la culture sont du même ordre de grandeur que lors de l'étude biologique de 1962 (24). On peut en conclure qu'un nouvel équilibre paraît s'être instauré dans les conditions actuelles de l'exploitation des sols.

B) LE POUVOIR AMMONIFIANT

L'ammonification est une fonction biologique importante dans les sols, en tant que premier maillon de la minéralisation de l'azote organique. Un large spectre de germes assure dans le sol cette fonction peu spécialisée. Sous forêt, le pouvoir ammonifiant est élevé en sol beige, moyen en sol rouge. Après quinze ans de culture, l'abaissement relatif est voisin de 90 % dans les deux sols ; la chute atteignait d'ailleurs 70 % en sol rouge dès la sixième année de la mise en valeur. Cette perte d'activité ammonifiante est à rapprocher de celle de l'activité microbiologique globale ; elle est du même ordre de grandeur.

C) NITRIFICATION ET MINÉRALISATION DU STOCK ORGANIQUE

Après le paroxysme consécutif à la déforestation, la minéralisation du stock organique reste élevée, après quinze années de culture, malgré la baisse de la teneur en matière organique totale.

D) LES FIXATEURS D'AZOTE

Seule la recherche des *Azotobacter chroococcum* a été effectuée et s'est avérée négative. Il existe, par contre, une densité élevée, à peu près identique sous forêt et en sol cultivé, d'un germe, probablement très faible fixateur ou oligonitrophile, que l'on a rapproché de *Bacillus circulans*.

On sait que le germe fixateur acidophile, *Beijerinckia*, existe à l'état sporadique dans ces sols. Ses faibles densités ne permettent pas de lui assigner un rôle dans la fixation d'azote atmosphérique ; par contre, le rôle des algues bleues, fréquemment observées en surface, pendant l'hivernage, est probablement très important mais n'a pas encore été étudié ici.

E) LA MICROFLORE CELLULOLYTIQUE

La densité des germes cellulolytiques (en colonies par g de sol) est intéressante à considérer, car la cellulose constituant environ 40 % des résidus végétaux, l'intensité de sa dégradation est généralement un bon reflet de l'activité biologique.

1) SOLS ROUGES

On remarque qu'en sol forestier l'activité cellulolytique est beaucoup plus forte dans la couche superficielle de 0 à 5 cm. La mise en culture a abaissé la densité des germes de 55 %, en moyenne, pour l'ensemble de l'horizon 0 à 10 cm. En ce qui concerne la nature des germes, l'examen des cultures montre qu'en sols cultivés la proportion de champignons inférieurs est de 50 %, alors qu'elle n'est que de 21 % sous forêt. Cette évolution, liée à l'acidification, a déjà été observée dans un autre groupe de sol (à Bambey, en sols ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés) et considérée, dans certains cas, comme la cause de fonte de semis.

2) SOLS BEIGES

Les densités des sols cellulolytiques, plus élevées que dans les sols rouges, qu'il s'agisse de cultures ou de témoins forestiers, sont abaissées de près de 80 % par la mise en culture. Notons, cependant, les fortes variations observées, la diminution entre l'échantillon forestier le plus faible et le sol cultivé le plus fort n'étant plus que de 46 %.

Comme dans les sols rouges, la proportion de champignons inférieurs est plus forte dans les sols cultivés, mais avec un décalage moins important (35 % sous forêt et 45 % en sols cultivés).

F) CONCLUSION SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES

Le défrichement et la mise en culture ont provoqué une baisse importante des indices biologiques, ainsi que des taux de carbone et d'azote dans les horizons supérieurs (0 à 10 cm).

La chute d'activité biologique amplifie même, généralement, l'abaissement du stock organique : ainsi, le pouvoir enzymatique saccharase perd plus de 85 % de sa valeur primitive en sol beige et 70 % en sol rouge dans les horizons de surface. Cependant, on note que la comparaison peut être à l'avantage de la zone cultivée pour certaines caractéristiques dans les cas des horizons de moyenne profondeur, ce qui peut résulter, soit du lessivage de la surface du sol, soit du mélange des horizons par les travaux cultureux.

Cependant, les résultats ne permettent pas de conclure que l'état biologique des sols cultivés se soit détérioré entre 1955 et 1962 ; l'abaissement de l'activité microbiologique globale, évaluée d'après la saccharase (en sol beige), par rapport au sol forestier, reste du même ordre de grandeur : 79 % en 1955 et 87 % en 1962.

La dégradation biologique, souvent moins marquée en sols beiges qu'en sols rouges, peut provenir de l'emploi plus fréquent d'engrais sur les premiers, phosphates en particulier, indispensables à la plupart des métabolismes, ajoutant leur influence favorable à celle des turricules, riches non seulement en matière organique, mais aussi en éléments chimiques (leur teneur en acide phosphorique étant trois fois plus élevée que sous forêt).

IV) LE PROBLEME DU RELEVEMENT DE TAUX DE MATIERE ORGANIQUE DU SOL

Avant d'examiner ce problème sous l'angle théorique puis sur le plan pratique, il sera bon de rappeler brièvement les rôles de la matière organique stabilisée du sol ou « humus » au sens large.

A) ROLES DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

Ces rôles sont multiples et intéressent divers domaines :

- la nutrition azotée de la plante,
- l'alimentation minérale de la plante,
- les propriétés chimiques des sols,
- les propriétés physiques des sols.

Le premier rôle, concernant la nutrition azotée, est sans doute le plus important. Le taux d'azote total du sol représente assez bien les potentialités de nutrition azotée pour la plante.

Le coefficient de minéralisation semble, en effet, assez constant pour les divers types de sols et les divers niveaux d'azote total.

Toute augmentation du stock d'azote organique du sol se traduit donc par une augmentation des disponibilités en azote minéral pour la plante. Ces augmentations des disponibilités s'accompagnent d'une régularisation dans le temps de la fourniture d'azote à la plante. Au total, toutes choses égales par ailleurs, la nutrition azotée de la plante est nettement améliorée sur des sols plus riches en matière organique. Quand on sait l'importance de la nutrition azotée pour des plantes comme les céréales, et son incidence sur les rendements, on conçoit tout l'intérêt qu'il y a à maintenir et à relever le taux de matière organique du sol.

En dehors de l'azote, la matière organique peut jouer un rôle sur la nutrition minérale de la plante, en augmentant l'absorption de différents éléments, ainsi que l'ont montré les études faites en vases de végétation (6). Sur sol sableux, ce rôle particulier peut être très important en ce qui concerne le fer : les études menées à Bambey ont été, à cet égard, très démonstratives (4).

La matière organique influe sur d'autres propriétés chimiques des sols telles que la capacité d'échange : en augmentant cette dernière, elle augmente la fixation, à l'état échangeable, des cations apportés par les engrais minéraux, ce qui se traduit par une plus grande efficacité de ces derniers.

Enfin, elle intervient également dans le domaine des propriétés physiques en améliorant la capacité de rétention de l'eau utile, l'infiltration, la structure et sa stabilité.

Pour toutes ces raisons, dont il est difficile d'évaluer séparément l'importance, la matière organique représente un facteur essentiel de la fertilité des sols ; en améliorant les conditions d'alimentation hydrique et minérale de la plante, elle joue un rôle important dans l'augmentation des rendements. Ce rôle a été bien mis en évidence à Bambey par le biais des corrélations : dans certaines conditions, une augmentation de 1 % de matière organique dans le sol se traduit par une augmentation de production de 170 kg/ha de grains de mil (10).

À Séfa, cependant, il n'est pas apparu jusqu'à présent de liaisons significatives entre matière organique et rendements. Ceci peut être dû au fait que les limites de variations étaient trop étroites ou que l'influence du facteur matière organique était masquée par celle d'autres facteurs interférant avec lui. Cependant, des corrélations significatives entre carbone et calcium échangeable, carbone et somme des bases échangeables ont été mises en évidence. Comme ces deux caractères étaient liés très fortement aux rendements de l'arachide et du riz pluvial, on pouvait en déduire que la matière organique jouait, à Séfa, un rôle important dans la fixation des bases échangeables, conditionnant ainsi indirectement la fertilité des sols (19, 21).

B) LES DONNEES THEORIQUES SUR LE RELEVEMENT DU TAUX DE MATIERE ORGANIQUE DU SOL

La loi générale de variation du taux d'humus (au sens large) du sol peut être symbolisée par l'équation différentielle :

$$\frac{d h}{d t} = - k H + A$$

dans laquelle :

- H = stock d'humus du sol temps t,
- A = humus synthétisé pendant la période considérée,
- K = constante de décomposition de l'humus,
- T = temps.

Nous sommes fondés à admettre, pour la Moyenne-Casamance, la validité de ce modèle mathématique, sous réserve que des intervalles de temps suffisamment longs soient pris en considération.

La signification de cette équation est simple : si l'on veut que la variation soit positive, c'est-à-dire que le stock d'humus augmente, il est nécessaire que A représentant le gain annuel soit supérieur à k.H représentant la perte annuelle de matière organique du sol par minéralisation. Le coefficient k pouvant être considéré comme constant pour un contexte pédo-climatique donné, il s'ensuit que plus le stock d'humus du sol est élevé, plus la minéralisation sera importante, et plus devront être élevées les quantités d'humus synthétisé pour maintenir le niveau humique du sol.

Les estimations de k pour Séfa indiquent des valeurs comprises entre 0,02 et 0,05 pour les sols sous culture et 0,04 et 0,07 pour les sols sous forêt, soit des valeurs assez élevées (9). Les pertes annuelles par minéralisation seraient donc de l'ordre de 2 t/ha de matière organique sous forêt et de 1 t/ha sous culture. L'agronome ne pouvant pratiquement intervenir sur les pertes annuelles de matière organique aura, par contre, la possibilité de jouer sur la quantité d'humus synthétisé annuellement.

Cette quantité peut être elle-même considérée comme le produit de deux facteurs : la masse M de débris organiques faisant retour au sol et un coefficient « f », dit coefficient « isohumique », dépendant de la nature de la matière organique.

Ce coefficient est toujours inférieur à 1 et son évaluation est malheureusement assez variable suivant les Auteurs.

Les ordres de grandeur fournis par une étude récente (30) sont les suivants :

pailles de céréales	0,08 à 0,20
résidus de prairies temporaires ou artificielles	0,15 à 0,45
fumiers	0,15 à 0,45
tourbe	1
engrais vert jeune	voisin de 0

Ceci signifie que si l'on apporte 10 t/ha de matière organique sous forme de fumier (coefficient 0,30) on aura un gain d'environ 3 t/ha de matière organique formée dans le sol ; pour la même quantité apportée sous forme de paille (coefficient 0,15), le gain ne sera que de 1,5 t/ha. Pour les engrais verts, quelle que soit la quantité apportée, le gain risque d'être nul.

Il y a malheureusement beaucoup d'incertitude dans les déterminations du coefficient isohumique, ce qui ne permet pas de calculer les bilans organiques avec une précision suffisante.

C) APPLICATION PRATIQUE AU CAS DE SEFA

Sous forêt, à Séfa, la quantité de matière organique faisant retour au sol peut être évaluée à 5 t/ha pour les parties aériennes (feuilles et branches) et à 2,5 t/ha pour les racines ; suivant les valeurs attribuées au coefficient isohumique, la quantité d'humus synthétisé annuellement variera entre 1 à 2,5 t/ha, ce qui compense bien les pertes évaluées plus haut à 2,5 t/ha : le taux de matière organique du sol doit avoir atteint à peu près l'équilibre.

Sous culture, dans le système actuel, les seules restitutions organiques sont, en dehors de l'engrais vert ou de la jachère enfouie, les racines des plantes cultivées : les parties aériennes ne font pas en effet, jusqu'à présent, retour au sol. En estimant en moyenne à 2 t/ha le poids de racines restant dans le sol, on peut estimer que la synthèse annuelle de l'humus est comprise entre 400 et 1.000 kg/ha, suivant la valeur que l'on attribue au coefficient isohumique des racines. On voit que, dans le meilleur cas, on compense tout juste les pertes annuelles par minéralisation, estimées à 1 t/ha. Il ne peut être, en tout cas, question d'augmenter le niveau humique du sol : celui-ci est au mieux stabilisé aux valeurs actuelles et, plus vraisemblablement, continue à baisser lentement jusqu'à tendre, asymptotiquement, vers une valeur seuil correspondant à un équilibre entre pertes et apports (équilibre pouvant être situé assez bas).

Pour renverser cette tendance, il n'y a qu'un moyen : augmenter les restitutions organiques au sol. On peut atteindre cet objectif de deux manières :

- en augmentant la masse racinaire ;
- en incorporant au sol les parties aériennes des plantes cultivées.

L'augmentation de la masse racinaire peut être obtenue soit par de meilleures préparations culturales, soit par une fertilisation plus intensive. Dans la majorité des cas, il y a, en effet, une corrélation assez nette entre le développement de l'appareil végétatif et celui du système racinaire. Les facteurs agissant sur le développement de l'appareil végétatif auront donc vraisemblablement une incidence sur le développement du système racinaire. On peut espérer, de cette manière, faire passer le poids moyen des racines de 2 à 3 t/ha, mais il sera sans doute difficile d'aller plus loin dans cette voie : les pertes annuelles par minéralisation seront compensées et le niveau humique stabilisé ou légèrement amélioré, sans augmenter de façon appréciable.

Sans négliger cette première voie, il convient donc de voir si la seconde n'offre pas davantage de possibilités. Parmi les plantes cultivées actuellement, certaines se prêtent particulièrement bien à la restitution des résidus de récolte : ce sont les céréales à court cycle, riz pluvial et surtout maïs, dont on peut enfouir les pailles sans difficultés majeures, après la récolte des grains. Il y a donc lieu de systématiser cette excellente pratique qui combine les avantages d'un labour d'enfouissement agissant sur la structure et le profil cultural et ceux d'une amélioration du bilan humique du sol. Dans les deux cas, le tonnage de pailles produites ne dépasse guère 2 à 5 t/ha, soit une amélioration escomptée de 200 à 800 t/ha d'humus.

Pour les céréales traditionnelles à long cycle : mils et sorghos, la restitution ne peut se faire directement mais, au lieu d'être brûlées, les pailles peuvent être récoltées et transformées en compost ou mieux encore en fumier. Le tonnage de pailles peut être alors très important et dépasser 15 t/ha. En les transformant en fumier, on peut espérer un gain annuel de 3 à 5 t/ha d'humus, ce qui est fort appréciable. La restitution par enfouissement en sol humide sera différée d'une durée variable (six mois à deux ans).

Il se pose évidemment là un problème pratique et économique qui devra être examiné avec attention.

En ce qui concerne la paille d'arachide qui constitue un excellent fourrage, il serait naturellement regrettable de ne pas la valoriser sous cette forme.

Reste enfin le cas de l'engrais vert ou de la jachère enfouie. Comme on l'a vu, cette matière organique jeune, peu lignifiée, présentant un taux d'humidité élevé et un rapport C/N assez faible, a toutes chances d'avoir un coefficient isohumique très faible, que certains estiment même nul. Son influence sur le bilan humique du sol risque donc d'être faible et fugace. C'est ce que semblent d'ailleurs prouver les études faites à Séfa qui, jusqu'à présent, ont rarement mis en évidence des augmentations significatives de teneurs en matière organique ou humus du sol à la suite d'enfouissements répétés d'engrais vert. Ainsi qu'on l'a vu, cette technique est intéressante à d'autres égards, et notamment par son action sur le profil cultural et la structure du sol, mais elle ne peut pas, semble-t-il, contribuer efficacement à l'amélioration du bilan humique du sol.

V) LA FUMURE AZOTEE

L'engrais minéral joue, comme on l'a vu, un rôle important dans le relèvement du niveau humique du sol, en augmentant la masse de résidus végétaux racines ou parties aériennes faisant retour au sol. Dans ce domaine, l'engrais azoté a une action spécifique tout à fait remarquable. Non seulement, en effet, il contribue plus que tous les autres engrais à l'accroissement de la masse végétale (notamment dans le cas des céréales), mais encore il améliore nettement le coefficient de transformation des matières végétales en humus. Des études récentes, menées au Sénégal, semblent même indiquer que l'azote de l'engrais peut, dans certaines conditions, être stocké sous forme d'azote organique minéralisable et contribuer ainsi directement au relèvement du niveau d'azote total du sol.

En l'état actuel, les disponibilités en azote du sol pendant la saison des pluies sont nettement insuffisantes pour subvenir aux besoins des plantes cultivées. Des apports annuels d'engrais azoté sont donc indispensables. Les besoins en fumure azotée des différentes plantes cultivées à Séfa sont très variables suivant la nature de ces plantes.

L'arachide, plante fixatrice d'azote atmosphérique, n'a que de très faibles besoins, en début de végétation, pour assurer un bon démarrage des cultures : une dizaine d'unités d'azote appliquées au semis sous forme de sulfate d'ammoniaque sont suffisantes ; cet engrais a l'avantage d'apporter également le soufre indispensable à la plante.

On peut considérer que le bilan d'azote après une culture d'arachide est à peu près nul, la plante prélevant dans le sol très peu d'azote pour ses besoins.

Le mil local est également peu exigeant : l'intensité d'absorption par cette espèce ne dépasse jamais 1,5 kg/ha d'azote par jour ; la fourniture d'azote par le sol est suffisante pour faire face à cette demande. Cependant, si les pailles de mil ne sont pas restituées au sol sous forme de fumier ou de compost, il y a une exportation d'azote de l'ordre de 80 à 90 kg/ha pour une récolte de 2 t/ha de grains.

Les variétés de riz pluvial utilisées jusqu'à présent (type 63-83) répondent assez mal à la fumure azotée ; il est cependant recommandé d'apporter une fumure de 60 unités d'azote à épandre en deux fois : 20 unités au semis et 40 unités cinquante jours après le semis. Cet apport couvre les exportations du riz qui sont d'environ 50 kg/ha pour une récolte de 2 t/ha de paddy ; s'il y a enfouissement de pailles,

ou restitution sous forme de compost ou fumier, les exportations s'abaissent à moins de 30 kg/ha d'azote. Il est probable que les nouvelles variétés récemment introduites (Taïchung native, IR 8, etc.) se montreront nettement plus exigeantes.

Le maïs est de loin la céréale la plus exigeante en azote. L'intensité d'absorption de cette espèce atteint 4,5 kg/ha au moment de l'épiaison et de la floraison. La fourniture d'azote minéral, dans les sols de Séfa à cette époque de l'année, est insuffisante pour faire face à cette demande. Les essais d'engrais ont montré qu'il était nécessaire d'apporter une fumure azotée à cette plante, si l'on veut obtenir des rendements corrects : l'optimum économique se situe au niveau de 100 à 120 unités d'azote à apporter au semis ; l'utilité d'apports fractionnés n'est pas encore démontrée formellement mais est cependant probable. La dose de 100 kg/ha d'azote correspond sensiblement à l'azote mobilisé par la plante pour une récolte de 4 t/ha de grains. L'enfouissement des pailles permet de récupérer environ 30 kg/ha d'azote.

CHAPITRE IV

LES PROPRIETES CHIMIQUES ET LA FERTILISATION MINERALE

Les remarques liminaires qui ont été faites à propos des analyses de carbone, d'azote et d'humus peuvent s'appliquer également au cas des autres propriétés chimiques. Toutefois, comme on le verra pour certaines d'entre elles, l'évolution dans la seconde phase est nettement plus marquée que pour les caractéristiques de la matière organique.

On examinera :

- le complexe absorbant : capacité d'échange, somme des bases échangeables et taux de saturation ;
- le pH et sa correction ;
- le calcium et la fumure calcaïque ;
- le potassium et la fumure potassique ;
- le phosphore et la fumure phosphatée ;
- la richesse minérale globale : test à l'*Aspergillus niger*.

I) LE COMPLEXE ABSORBANT

A) LA CAPACITE D'ECHANGE

On observe, dans le niveau 0 à 10 cm des profils étudiés, une baisse importante de la capacité d'échange au bout de quinze années de culture ; les valeurs passent de 6,6 à 3,8 mé/100 g en sol beige et de 4,6 à 3,5 mé/100 g en sol rouge. Cette baisse de 25 à 40 % est à mettre en relation directe avec la diminution des teneurs en matière organique. Dans ces sols, la matière organique joue, en effet, un rôle important dans la fixation des bases, du fait que l'argile est constituée uniquement de kaolinite à faible pouvoir de fixation. Cette diminution de la capacité d'échange entraîne des conséquences importantes sur le plan agronomique et correspond à une baisse de fertilité potentielle. Il est probable que la courbe d'évolution de la capacité d'échange dans le temps a suivi à peu près la même allure que celle de l'évolution de la matière organique : chute brutale aussitôt après déforestation, diminution lente ou très lente ensuite. L'insuffisance des données analytiques ne permet cependant pas de confirmer cette hypothèse. Il conviendrait également de vérifier si cette baisse est partout aussi grave, puisque seuls quelques sondages ont été réalisés.

Quoi qu'il en soit, il y a lieu de se préoccuper d'arrêter cette évolution et si possible de l'inverser. Deux moyens sont possibles qui doivent être employés concurremment :

Lutte contre l'érosion en nappe, appauvrissant le sol en colloïdes minéraux et organiques ; les méthodes les plus efficaces de lutte sont, comme on l'a vu, les méthodes « biologiques » visant, par le biais de techniques culturales améliorées, à favoriser le développement rapide et complet du couvert végétal.

Relèvement du niveau humique : ce point a également été étudié précédemment.

B) SOMME DES BASES ECHANGEABLES ET TAUX DE SATURATION

La somme des bases échangeables ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{++} + \text{Na}^+$) a subi une chute importante après la déforestation et a continué ensuite à baisser régulièrement sous l'action conjuguée des exportations minérales par les cultures et du lessivage. Au bout de quinze années de culture, la comparaison avec les sols forestiers peut être illustrée par le tableau ci-dessous ; les chiffres indiqués sont des moyennes de plusieurs analyses ; la dispersion des valeurs est assez grande dans chaque groupe.

S échangeable mé/100 g				
Sols	Rouge		Beige	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Profondeur				
Forêt témoin	0,70	2,45	9,70	4,44
Forêt - Valeur moyenne	4,00	2,50	4,00	2,50
Culture	2,04	1,45	1,89	1,49

Malgré les écarts-types élevés, il est plausible de conclure que plus de 50 % des bases à l'état échangeable de l'horizon 0 à 10 cm ont disparu dans le cas du sol beige et 45 % dans celui du sol rouge. Pour l'horizon 10 à 20 cm, les proportions sont un peu plus faibles et plus variables également.

Cependant, ce bilan doit subir une correction dans un cas particulier, celui de la présence à la surface du sol de déjections de vers ou turricules, dont l'existence a été signalée en 1966 sur sol beige (24). Ces turricules représentent un poids de 33 t/ha de terre, soit une couche de 2,5 mm d'épaisseur. Leur teneur en bases échangeables est double de celle du sol ; leur pH de 5,5 au lieu de 4,7. Ils sont également plus riches en matière organique (2,1 %) que l'horizon qui les supporte. Il ne faut donc pas les négliger dans le bilan général de l'évolution de la fertilité. La cause de l'apparition localisée de ces turricules n'a pas été élucidée, mais il faut peut être y voir une influence de l'engorgement plus ou moins accusé de l'horizon A du sol beige sous culture.

Le taux de saturation ($V = S/T$) représente le pourcentage de bases échangeables (S) fixées sur le complexe (T). Malgré la diminution de ce dernier, les pertes en bases relativement plus intenses entraînent une désaturation générale.

Voisine de la saturation de 0 à 10 cm et de l'ordre de 90 à 95 % de 10 à 20 cm, sous forêt, les valeurs de V, sous cultures (pour les sols beiges et les sols rouges), se situent, pour la grande majorité, entre 40 et 60 % dans l'horizon de surface (0 à 20 cm). Ce sont, en fait, les valeurs normales des horizons de 25 à 40 cm sous forêt.

II) LE PH ET SA CORRECTION

Cette diminution de V est en rapport étroit avec celle des valeurs du pH, qui reflètent bien la désaturation réelle et préoccupante du complexe. Le pH a subi, en effet, une baisse progressive et importante sur tous les sols cultivés. Les nombreux prélèvements qui ont été faits ont permis de calculer des moyennes pour l'ensemble des sols et de retracer les étapes de cette baisse. Elles peuvent être résumées ainsi :

Sous forêt	6,40
Après défrichement	6,30
Après un an de culture	6,24
Après deux ans de culture	6,18
Après sept ans de culture :	
à Sankoya	5,62
à Koussy	5,76
Après quinze ans de culture :	
sols beiges	4,60 à 4,90
sols rouges	4,70 à 5,10

Il s'agit de parcelles sur lesquelles les épandages d'engrais ont toujours été limités.

Cette baisse de pH est inquiétante et, si elle se poursuit, il faut s'attendre à ce qu'elle entraîne des accidents de végétation dus à différentes causes : diminution de la vie microbienne avec modification de sa nature (prolifération de champignons), destruction des *Rhizobium* de l'arachide et incapacité pour cette plante de fixer l'azote atmosphérique, inassimilabilité de certains oligo-éléments (molybdène),

passage à l'état réduit de certains éléments comme le fer, rétrogradation possible des phosphates. La plupart de ces phénomènes se manifestent brutalement, quand le pH descend au-dessous d'une certaine valeur seuil. Pour les sols de Séfa, ce seuil pourrait se situer au voisinage de 4,5 ; dans les sols sableux de Bambey, la disparition des *Rhizobium* suivie de la diminution du pouvoir fixateur de l'azote du jaunissement de l'arachide a été observée à partir de pH 5,0 (3).

Par ailleurs, des études de corrélation ont montré qu'à Séfa des valeurs optimales du pH pour la culture de l'arachide étaient de l'ordre de 5,9 à 6,0 dans les horizons de surface (21).

Il est donc urgent de prévoir la correction du pH par apports d'amendements calciques. La quantité de chaux à apporter sera vraisemblablement de l'ordre de 1 t/ha pour relever le pH d'une unité ; des mesures de besoin en chaux au laboratoire et au champ pourront préciser cette valeur.

III) LE CALCIUM

Le calcium échangeable représente entre 60 et 70 % de la somme des cations échangeables. Ce sont donc les variations de ce cation qui affecteront le plus les valeurs du pH.

Dans les sols forestiers, les teneurs en calcium échangeable dans l'horizon 0 à 15 cm sont les suivantes :

sols beiges : 1,1 à 3,9 mé/100 g,
sols rouges : 2,0 à 3,0 mé/100 g.

Après mise en culture, ces valeurs ont suivi une courbe très progressivement décroissante. Au bout de six ans, elles s'établissaient entre 1,0 et 1,5 mé. A ce moment, une corrélation positive apparaissait entre les teneurs en calcium et les rendements en arachide.

Au bout de quinze ans de culture, la moyenne des valeurs sous culture se situe légèrement au-dessous de 1 mé/100 g, les valeurs extrêmes étant 0,57 et 1,25 mé/100 g. Au-dessous de 20 cm de profondeur, les teneurs sont égales sous forêt et sous culture. Il y a donc un nouvel abaissement des taux de calcium. La perte est, en moyenne, de 60 à 70 % du niveau primitif et correspond à un tonnage de 1 à 4 t/ha de CaO. Cette perte peut provenir de deux origines : les exportations sur les récoltes et les pertes par drainage.

Il est impossible de calculer avec précision les exportations par les récoltes ; cependant, il est intéressant de chercher à en obtenir un ordre de grandeur. On supposera qu'en seize ans de culture, il y a eu quatre rotations quadriennales du type jachère enfouie-arachide-céréale-arachide, la céréale étant alternativement un riz et un mil. En seize ans, se sont donc succédées douze cultures exportatrices : huit arachides, deux riz, deux mils.

On calculera la « fourchette » dans laquelle se situent les exportations en faisant deux hypothèses : une hypothèse « minimum » et une hypothèse « maximum ».

Hypothèse minimum : les rendements des récoltes sont de 1 t de gousses d'arachide, 1 t de paddy, 1 t de grains de mil ; seuls sont exportés : les gousses d'arachide, les panicules pour le riz et les épis pour le mil. Les pailles sont brûlées sur place.

Hypothèse maximum : rendements de 2 t/ha au lieu de 1 t/ha ; pailles entièrement exportées.

Les exportations, calculées sur des teneurs moyennes en CaO pour les différents éléments, sont alors les suivantes (en kg de CaO/ha) :

	Hypothèse minimum	Hypothèse maximum
Arachide	16	192
Riz	2	20
Mil	6	50
Total	24	262

Nous sommes donc loin des pertes de 1 à 4 t/ha de CaO constatées par l'analyse de sol. Il faut donc admettre, dans ce cas, une action très marquée du lessivage ; suivant les situations, les exportations annuelles par drainage varieraient entre 50 et 250 kg/ha. On retrouve là l'ordre de grandeur des mesures effectuées en cases lysimétriques à Bambey (5, 39). Ceci est encore plus vrai si l'on fait intervenir les apports par l'engrais. Une fumure de 150 kg/ha de 6-20-10 sur arachide apporte, en effet, au sol : 28,5 kg de CaO ; 150 kg/ha de 14-7-7 sur céréales fournissent : 7,9 kg de CaO. En seize ans,

ces apports correspondent à un total de 260 kg/ha qui devrait suffire à contre-balancer les exportations par les récoltes, même dans le cas de l'hypothèse maximum. Si l'on ajoute les apports de chaux sous forme de phosphate tricalcique, le bilan devient alors nettement excédentaire, puisque 500 kg/ha de phosphate tricalcique fournissent environ 260 kg/ha de chaux.

Le calcium échangeable représente environ 50 à 70 % du calcium total du sol. Des dosages ont été effectués également sur le calcium total. Ils font ressortir que, dans l'ensemble, les pertes de calcium total correspondent à peu près à celles du calcium échangeable. Les réserves ne seraient donc pas entamées. Mais celles-ci sont de faible importance et leur passage à l'état assimilable par les plantes se fait à une vitesse difficile à estimer. Il est donc indispensable et urgent de procéder au remplacement de la chaux exportée, ce qui aura pour conséquence de relever le taux de saturation et le pH. Pour calculer les quantités de chaux nécessaires, il suffira, pour chaque parcelle, de se fonder sur les valeurs de pH. On peut, en première approximation, proposer le barème de correction suivant, susceptible d'adaptation après essais aux champs et au laboratoire (en t/ha de CaO) :

pH 4,5 à 5,0	2,0 à 2,5
pH 5,0 à 5,5	1,5 à 2,0
pH 5,5 à 6,0	1,0 à 1,5
pH 6,0 à 6,5	0,5 à 1,0

Les amendements calciques pourront se faire sous forme de :

- chaux agricole à environ 65 % de CaO ;
- phosphate tricalcique à environ 51 % de CaO ;
- calcaire broyé à environ 56 % de CaO ;
- Schlamms Taïba à environ 31 % de CaO.

Tous ces amendements n'auront cependant pas la même efficacité. La chaux et le calcaire broyé sont de loin les plus indiqués pour un relèvement important et rapide du pH et du taux de calcium échangeable. Des gisements de marnes, de calcaires et d'importants dépôts de coquillages existent au Sénégal. Les marnes sont exploitées industriellement pour la fabrication du ciment, mais il n'existe malheureusement pas, localement, de fabrication industrielle ou artisanale de chaux ou de calcaire broyé. Ces amendements devraient donc être importés, ce qui est économiquement difficilement envisageable. Il est souhaitable que le problème de la fabrication locale de chaux ou de calcaire broyé, qui ne pose pas de difficultés techniques particulières, soit rapidement résolu au Sénégal.

Les Schlamms (boue phosphatée) et les phosphates tricalciques présentent le grand avantage d'être produits industriellement au Sénégal. Il semblerait assez séduisant, vu leur faible prix de revient, de les utiliser massivement dans le triple but de corriger la carence phosphorique du sol, fournir le phosphore nécessaire à la plante et relever le taux de calcium échangeable et le pH du sol. Si les deux premiers objectifs peuvent être effectivement atteints, ainsi que l'ont montré de nombreuses expérimentations au champ et au laboratoire, il ne paraît pas en être de même du troisième. Sel neutre et insoluble, le phosphate tricalcique ne peut jouer, en effet, un rôle réellement efficace en tant qu'amendement calcique. Certes, à la longue, au fur et à mesure que l'acide phosphorique est absorbé par les plantes ou entre dans d'autres combinaisons chimiques, la chaux libérée se fixera sur le complexe absorbant du sol et contribuera à relever le pH. Mais cette action ne sera ni rapide ni importante : on peut faire intervenir ce processus dans les calculs de fumure d'entretien et de bilan calcique, mais non pour une correction rapide et efficace de l'acidité du sol.

L'acidité du sol une fois corrigée, il sera nécessaire d'entretenir le niveau de calcium échangeable du sol : l'apport périodique, tous les quatre ou cinq ans, d'une dose de 500 à 750 kg/ha de phosphate tricalcique y contribuera, mais il sera utile de compléter cette fourniture par des apports équivalents de chaux agricole ou de calcaire broyé. Il faudra également surveiller régulièrement le pH du sol.

IV) LE POTASSIUM

Les teneurs en potassium total sont de 0,50 à 1,20 mé/100 g dans l'horizon superficiel (0 à 15 cm) des sols sous forêt. La fraction échangeable est de 0,10 à 0,20 mé/100 g, certaines teneurs, en sols beiges, pouvant dépasser 0,40 mé/100 g. Après six années de culture, le taux de potasse échangeable s'était abaissé à moins de 0,10 mé/100 g, entraînant l'apparition sur l'arachide de manifestations nettes de carence potassique. Dans les essais d'engrais, on notait pour la première fois des réponses positives à l'apport d'engrais potassique. Les taux de potasse échangeable ont continué à baisser par la suite puisque,

quinze années après la mise en culture, ils se situent entre 0,01 et 0,05 mé/100 g. Au-dessous de 25 cm de profondeur, les teneurs sont identiques sous forêt et sous culture et égales, en moyenne, à 0,02 mé/100 g. La diminution du taux de potasse échangeable dans l'horizon superficiel correspond à une perte de 100 à 200 kg/ha de K_2O , suivant les valeurs adoptées. Cette perte se répercute sur le potassium total mais ne s'accompagne pas d'une diminution des réserves en potasse du sol : seule la fraction échangeable est concernée.

En prenant les hypothèses minimum et maximum faites précédemment pour la chaux, on trouve, pour les exportations de potasse par les plantes pendant seize années de culture, les estimations suivantes (en kg/ha de K_2O) :

	Hypothèse minimum	Hypothèse maximum
Arachide	64	400
Riz	8	136
Mil	22	80
Total	94	616

En cas d'application régulière des fumures minérales, les apports de potasse par les huit fumures de 6-20-10 sur arachide (à 150 kg/ha) sont de 120 kg/ha et de 42 kg/ha pour les quatre fumures de 14-7-7, soit au total : 162 kg/ha. Dans ces conditions, on voit que, dans l'hypothèse maximum, les exportations par les récoltes sont nettement supérieures aux pertes constatées sur le sol, même dans le cas de cultures régulièrement fumées : cette constatation suffit donc à écarter cette hypothèse. Dans le cas de l'hypothèse minimum, le lessivage annuel porterait sur de faibles quantités de potasse : 5 à 20 kg/ha environ. Là encore, on retrouve l'ordre de grandeur des mesures effectuées en cases lysimétriques à Bamby (5, 39). Le cas de la potasse est donc moins alarmant que celui de la chaux, les pertes étant quantitativement moins importantes. Il importe cependant de remonter le taux de potasse échangeable jusqu'au niveau de 0,15 mé/100 g environ. Ceci peut s'obtenir par une fumure massive de 100 à 200 kg de K_2O suivant les emplacements ; des analyses de potasse échangeable seront utiles pour préciser cette quantité. La potasse sera apportée sous forme de KCl.

La fumure d'entretien adoptée par la suite dépendra du mode d'exploitation choisi. Si les pailles sont exportées, il faudra prévoir des apports importants de potasse, de l'ordre de 50 à 100 kg/ha de K_2O par culture. Dans le cas contraire, quelle que soit la forme de restitution adoptée (brûlis, enfouissement direct, fumier), des quantités de 15 à 30 kg/ha par culture seront suffisantes pour compenser les exportations pour des niveaux de production de 2 à 3 t/ha de grains ou gousses.

V) LE PHOSPHORE

La richesse en phosphore des sols sous forêt est faible à moyenne puisque les teneurs en P_2O_5 , dans l'horizon superficiel (0 à 15 cm), se situent entre 0,13 et 0,30 ‰, avec un léger avantage pour les sols beiges.

Dès les premières années de culture après défrichement, la carence en phosphore fut le résultat le plus significatif des essais d'engrais exécutés sur culture d'arachide par les chercheurs de la station expérimentale. Après les premières récoltes, les analyses accusaient encore une tendance à la diminution des teneurs et il était possible de calculer certaines corrélations positives et significatives entre les rendements d'arachide et les teneurs en phosphate total ou assimilable (14).

Lors des essais d'épandage de phosphates tricalciques (en provenance du Maroc et du Sénégal), les moyennes étaient rapidement rehaussées, dépassant même celle des témoins sous forêt, ce qui amenait à penser qu'il était possible de relever les niveaux de fertilité des sols, tout au moins en ce qui concerne le phosphore.

En 1966, la possibilité de stockage d'acide phosphorique a pu être vérifiée définitivement. C'est, en particulier, le cas de la parcelle 70 de sol beige qui a reçu presque chaque année, soit des engrais NPK (100 à 150 kg/ha), soit des phosphates tricalciques (de 400 à 1.000 kg/ha). Le tableau récapitulatif des dosages est le suivant :

P_2O_5 total ‰	Culture	Témoins
0-10 cm	0,20 à 0,40	0,17 à 0,20
10-20 cm	0,15 à 0,20	0,07 à 0,13

Le grain moyen de 0 à 20 cm est de 67 % du stock initial, soit une augmentation du stock de 0 à 20 cm de 0,10 ‰, représentant environ 300 kg d'acide phosphorique par hectare de plus que sous forêt malgré l'ensemble des exportations et des pertes. Ce fait, très encourageant, nous incite cependant à rappeler que les teneurs en calcium ont fortement diminué sur la même parcelle, malgré l'importance des apports par les engrais phosphatés (de l'ordre de 40 %).

En 1965, un bilan sur les parcelles des unités de culture éloignées a permis également de noter que la réalisation de quelques épandages de phosphates tricalciques avait maintenu les niveaux initiaux (0,144 et 0,128 ‰ à Sankoya et Koussy respectivement contre 0,136 ‰ sous forêt initialement).

Au bilan, la carence de phosphate, la plus spectaculaire initialement, semble être celle qui peut être corrigée le plus facilement et le plus efficacement.

Le cas du phosphore est, en effet, assez différent de celui des autres éléments : chaux et potasse notamment. D'une part, ainsi que l'ont confirmé les études faites en cases lysimétriques, le phosphore ne subit pratiquement aucun lessivage et les exportations par drainage peuvent être considérées comme nulles. D'autre part, les exportations par les plantes sont du même ordre de grandeur que pour la chaux et nettement plus faibles que pour la potasse.

En reprenant les hypothèses faites précédemment, on trouve, pour ces exportations, en seize ans de culture, les estimations suivantes (en kg de P_2O_5 à l'hectare) :

	Hypothèse minimum	Hypothèse maximum
Arachide	48	144
Riz	14	48
Mil	20	80
Total	82	272

Pour compenser ces exportations, un apport annuel de 15 à 20 kg/ha de P_2O_5 est suffisant, même pour des rendements de 2 à 3 t/ha, à condition de restituer intégralement les résidus de récolte. En cas d'exportation totale, il faut prévoir 25 à 35 kg/ha de P_2O_5 . Ces besoins sont largement couverts par un apport, tous les quatre ans, de 500 kg de phosphate tricalcique qui correspond à une fumure annuelle de 47,5 kg/ha de P_2O_5 . Il est alors normal, lorsque ces apports sont faits régulièrement, d'observer un relèvement progressif du niveau de phosphore total du sol.

Après redressement de la carence initiale en phosphore, qui suppose un apport massif de 1 t à 1,5 t/ha de phosphate tricalcique pour amener le taux de phosphore total au-dessus de 0,30 ‰, il serait donc théoriquement possible de diminuer la fumure d'entretien phosphatée et de n'apporter les 500 kg de phosphate tricalcique que tous les six ans au lieu de quatre. Cette mesure, justifiable en ce qui concerne le bilan du phosphore, ne l'est par contre plus du tout pour le bilan du calcium : il faudrait alors prévoir de remplacer la diminution des fournitures en chaux du phosphate tricalcique par des apports correspondants de calcium sous une autre forme.

VI) LA RICHESSE MINÉRALE GLOBALE : TEST A L'ASPERGILLUS NIGER

Le test à l'*Aspergillus niger* (FG) permet d'apprécier la richesse minérale globale, le milieu de culture étant constitué par le sol et un seul apport de carbone et d'azote (24). La croissance du mycélium, reflet du niveau minéral du sol, est exprimée en mg pour 20 g de sol, après six jours d'incubation à 30°.

Le test a été appliqué à quelques profils de sols rouges et beiges sous forêt et sous culture. Les résultats peuvent être résumés ainsi :

APPRÉCIATION DE LA RICHESSE MINÉRALE GLOBALE PAR *Aspergillus niger*

	Forêt	Culture
Sols rouges ...	Faible	Très faible
Sols beiges ...	Médiocre	Assez élevée

Ces résultats font apparaître une différenciation entre sols rouges et beiges qui n'était pas mise en évidence par l'analyse chimique. Etant donné le petit nombre de profils concernés, on ne peut en tirer de conclusion générale pour les terrains de la SODAICA.

On notera également la divergence de résultats entre les deux catégories de sols en passant de la forêt à la culture : abaissement du niveau de richesse minérale globale pour le sol rouge, relèvement pour le sol beige. Ceci peut s'expliquer par le fait que les sols beiges en question ont été beaucoup plus régulièrement fertilisés que les sols rouges et ont reçu, en particulier, des apports répétés de phosphates.

Dans tous les cas, on enregistre de fortes réponses du mycélium à l'apport de phosphore et des réponses sensibles, mais beaucoup moins intensives à l'apport de potasse.

VII) LA PRATIQUE DE LA FERTILISATION MINERALE

On abordera ce problème de deux manières différentes :

- en calculant, grâce aux données de l'analyse des sols et des plantes, les bases de la fumure de redressement et de la fumure d'entretien ;
- en rapportant, sous forme synthétique, les données fournies par les essais d'engrais effectués.

On complétera ensuite les résultats obtenus par les deux procédures différentes.

A) CALCUL DES FUMURES DE REDRESSEMENT ET D'ENTRETIEN

Avant la mise en culture, les terrains de la SODAICA se trouvaient carencés en phosphore et, dans une moindre mesure, en potasse. Quinze à vingt années de culture ininterrompue, avec des apports irréguliers et des quantités insuffisantes d'engrais minéraux, ont aggravé cette situation. Les carences concernent maintenant non seulement le phosphore et la potasse, mais aussi le calcium échangeable dont le niveau détermine, pour une bonne part, celui du pH. Les différentes parcelles de la SODAICA ont, naturellement, suivant leur situation et leur histoire culturale, des statuts chimiques variés. Il serait nécessaire de les préciser si l'on désire calculer avec suffisamment de précisions les fumures de redressement. Pour cela, il conviendrait de procéder aux déterminations de :

P₂O₅ total,
K₂O échangeable,
pH,

sur un nombre suffisant d'échantillons pour pouvoir caractériser correctement chaque parcelle et avoir ainsi un inventaire général des terrains de la SODAICA.

En se fondant sur les résultats des expérimentations, on admettra que pour ces différentes caractéristiques, les niveaux suivants peuvent être considérés comme optima dans l'horizon superficiel (0 à 20 cm) :

P₂O₅ total : 0,30 ‰,
K₂O échangeable : 0,20 mé/100 g,
pH : 6,5.

On a vu précédemment qu'il fallait, pour amener ces caractéristiques à l'optimum, prévoir d'apporter, suivant l'état chimique révélé par les analyses :

400 à 600 kg/ha de P₂O₅,
100 à 200 kg/ha de K₂O,
500 à 2.500 kg/ha de CaO.

Ces apports constituent la fumure de redressement.

Une fois ces corrections effectuées et le sol amené à l'optimum chimique de production, il conviendra de maintenir la fertilité acquise en compensant, par des apports correspondants d'engrais minéraux, les exportations par les cultures et les pertes par drainage : la fumure minérale sera alors dite d'« entretien ».

Les exportations par les récoltes peuvent varier notablement suivant les niveaux de production, la nature des cultures, le degré et le mode de restitution des résidus de récolte (brûlis ou enfouissement de pailles).

On ne peut les déterminer qu'en se fixant un modèle concret. On prendra pour cela l'exemple de la rotation quinquennale recommandée en faisant les hypothèses suivantes :

Niveaux volontairement élevés de production :

5 t/ha pour le maïs,
4 t/ha pour le riz,
3 t/ha pour l'arachide,
3 t/ha pour le mil.

Ces niveaux ont été atteints et même dépassés à Séfa dans diverses expérimentations au champ.

Restitution des résidus de récolte variable suivant les cultures :

intégrale pour le maïs et la jachère : enfouissement des pailles ;

partielle pour le mil : brûlis des pailles ;

quasi nulle pour riz et arachide : exportation des pailles pour nourriture du bétail.

En ce qui concerne les pertes par drainage, on ne peut en faire qu'une estimation moyenne fondée à la fois sur l'extrapolation des résultats obtenus à Bambey en cases lysimétriques et sur les analyses périodiques de sols faites à Séfa. On admettra des pertes moyennes annuelles de :

30 kg/ha de N,
20 kg/ha de K_2O ,
150 kg/ha de CaO .

Sur ces bases, on peut alors dresser le tableau ci-dessous :

EXPORTATIONS MINÉRALES À SÉFA AU COURS D'UNE ROTATION QUINQUENNALE

Cultures	Rendement (t/ha)	Restitution résidus de récolte	Exportations minérales (kg/ha)			
			N	P_2O_5	K_2O	CaO
Jachère	10	Enfouissement pailles	0	0	0	0
Maïs	5	Enfouissement pailles	95	50	60	5
Riz	4	Exportation pailles	86	43	122	36
Arachide	3	Exportation pailles	0*	24	65	54
Mil	3	Brûlis pailles	120	30	33	8
Total exportation plantes			301	147	280	103
Pertes par drainage cumulées			150	0	100	750
Total exportations			451	147	380	853
Moyenne annuelle			90	30	76	170

* On suppose que tout l'azote contenu dans les plants d'arachide provient de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

Comme on le voit, les fumures d'entretien, à ces niveaux de production, mettent en jeu des quantités importantes d'éléments. Pour la potasse, elles sont presque aussi importantes que les fumures de redressement. Ce qui s'explique par le fait que, les sols étant sableux à sablo-argileux et la fixation des cations échangeables peu importante, il suffit de quantités relativement faibles d'éléments pour corriger une carence.

B) DONNEES EXPERIMENTALES FOURNIES PAR LES ESSAIS D'ENGRAIS

La démarche est ici différente et plus empirique. L'expérimentation s'est efforcée de définir les besoins des cultures d'après la moyenne des réponses aux engrais obtenues dans plusieurs séries d'essais. Ces essais étaient implantés sur des sols à richesse chimique variable et ont fourni, suivant les années, des niveaux de production également variables.

L'ensemble des résultats obtenus a conduit à formuler, pour la rotation quinquennale envisagée, les recommandations suivantes :

FUMURES MINÉRALES RECOMMANDÉES POUR LA ROTATION QUINQUENNALE

Culture	Engrais	Apports en éléments (kg/ha)			
		N	P_2O_5	K_2O	CaO
Jachère ou engrais vert ..	750 kg/ha de phosphate tricalcique + 200 kg/ha de sulfate d'ammoniaque	40	280	0	390
Maïs	260 kg/ha d'urée + 150 kg/ha de KCl	120	0	90	0
Riz	150 kg/ha d'urée	69	0	0	0
Arachide	50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque + 100 kg/ha de KCl	10	0	60	0
Mil	150 kg/ha d'urée + 85 kg/ha de KCl	69	0	50	0
Total pour cinq ans		308	280	200	390
Moyenne annuelle		61	56	40	78

C) CONFRONTATION DES DONNEES THEORIQUES ET EXPERIMENTALES

Les chiffres tirés de l'expérimentation sont inférieurs aux valeurs théoriques de la fumure d'entretien en ce qui concerne l'azote, la potasse et la chaux. Pour l'azote, l'écart n'est pas considérable et correspond, en fait, aux pertes par drainage. Celles-ci peuvent être surestimées ou compensées, en partie, par des apports par les pluies dont on n'a pas tenu compte ici. La fumure expérimentale azotée est équivalente au total des exportations par les plantes, calculées comme on l'a vu pour de hauts niveaux de production. Ceux-ci ne pouvant être généralisés, sur l'ensemble de l'exploitation avant un temps assez long, on peut considérer que la fumure azotée préconisée couvre bien actuellement les besoins des plantes et maintient en équilibre le bilan azoté du sol.

Pour la potasse, l'écart est un peu plus grand que pour l'azote (180 kg/ha au lieu de 143 kg/ha) et les mêmes raisons peuvent être avancées pour l'expliquer. Cependant, il faut tenir compte ici du fait que l'on part d'un sol déjà appauvri en potasse et que la fumure forte expérimentale, si elle peut être considérée comme suffisante au stade actuel pour compenser les exportations par les cultures et le drainage, ne l'est sans doute pas pour remonter progressivement le taux de potasse échangeable du sol jusqu'à l'optimum. Cette remarque serait encore plus vraie si la jachère ou l'engrais vert, au lieu d'être enfouis en totalité comme on l'a supposé dans le modèle, étaient partiellement exploités pour la nourriture du bétail : il y aurait, dans ce cas, aggravation du déficit. Il convient donc de surveiller de près le bilan potassique. La meilleure solution consisterait à corriger la carence initiale des sols par une fumure de fond potassique et utiliser la fumure expérimentale comme fumure d'entretien. Si l'on préfère une solution plus progressive, tenant compte du rythme d'augmentation des rendements, il faudra alors prévoir soit d'augmenter les apports de la fumure expérimentale, en fournissant par exemple 50 kg/ha de K_2O sur riz, soit en diminuant les exportations par restitution partielle ou totale des pailles de riz et d'arachide ; cette dernière solution ne pourrait être envisagée que si les problèmes d'alimentation du bétail sur l'exploitation ne se posaient pas.

Pour la chaux, le bilan est nettement défavorable (460 kg/ha) et ce déficit est pratiquement indépendant des niveaux de production atteints sur l'exploitation, puisque la plus grosse part des exportations est due ici au lessivage. L'apport massif de phosphate tricalcique en tête de rotation ralentit le rythme de diminution des taux de calcium échangeable et du pH, mais ne suffit pas à maintenir les valeurs initiales, encore moins à les augmenter. Comme on l'a vu précédemment, la baisse du pH ne se traduira pas immédiatement par des effets dépressifs sur les rendements, mais ce moment arrivera inéluctablement quand le pH aura atteint une valeur seuil, proche vraisemblablement de 4,5. Les effets dépressifs sur les cultures risquent alors d'être très importants. Le rythme de diminution du pH sera, par ailleurs, accéléré par l'utilisation de fortes fumures azotées, indispensables à l'obtention de rendements élevés, même si l'azote est apporté sous forme d'urée (à fortiori, si on utilise le sulfate d'ammoniaque).

Il y a donc lieu de se prémunir dès maintenant contre cette baisse du pH et les risques qu'elle comporte par apports périodiques d'amendements calciques. La correction initiale sera faite, de préférence, sous forme de chaux agricole ou de calcaire broyé. La fumure d'entretien fera appel partiellement au phosphate tricalcique, mais il sera nécessaire de compléter la dose de chaux nécessaire par des apports périodiques de chaux agricole ou de calcaire broyé ; on pourra, par exemple, apporter sur jachère ou engrais vert, en complément des 750 kg/ha de phosphate tricalcique, une quantité équivalente de chaux agricole ou de calcaire broyé ; on couvrira ainsi les besoins en chaux pour la rotation quinquennale et on sera assuré de maintenir le pH à un niveau correct.

Il paraît impossible, en effet, de prétendre couvrir la totalité des besoins en chaux par le phosphate tricalcique, et ceci pour deux raisons : d'abord en raison de la relative indisponibilité du calcium dans le phosphate, ensuite parce qu'après quatre ou cinq rotations on enrichira exagérément le sol en phosphore, au risque de déséquilibrer la nutrition minérale des plantes et de perturber leur croissance.

Avec les 750 kg/ha de phosphate tricalcique apportés en tête de rotation, le bilan du phosphore est en effet nettement positif (130 kg/ha). On relève ainsi progressivement la carence initiale des sols. Suivant la gravité de cette carence, il faudra deux à quatre rotations quinquennales de ce type pour atteindre le niveau optimum de phosphore dans le sol. Au-delà, on enrichira inutilement le sol en phosphore.

CONCLUSION

Les différentes études menées à Séfa ont toutes confirmé la réalité de l'évolution des sols depuis les premiers défrichements. Cette évolution a été variable suivant les différentes caractéristiques physiques, chimiques et biologiques envisagées. Il est malaisé de tracer, pour chacune d'elles, la courbe en fonction du temps et de distinguer les influences respectives dans cette évolution, du défrichement et de la culture proprement dite. Il semble que pour la plupart des propriétés physiques et biologiques, ainsi que pour la matière organique, l'évolution ait été très rapide au départ et beaucoup plus lente ensuite : l'essentiel des péjorations observées, par rapport aux sols témoins sous forêt, pourrait donc être attribué au défrichement qui a été réalisé de manière très brutale à Séfa. Par contre, pour les propriétés chimiques et, en particulier, les bases échangeables et le pH, les analyses de sols effectuées à différentes dates ont nettement mis en évidence l'allure régulière et continue de la baisse au cours de la période des dix-huit années de culture.

Il importe maintenant de tirer les conséquences de ces faits.

Concernant les propriétés physiques des sols, on peut considérer que leur évolution n'a rien d'alarmant et peut être assez facilement infléchie dans un sens favorable à la production végétale. Des progrès sensibles ont été, en effet, réalisés ces dernières années dans l'étude des techniques culturales et de leur adaptation au milieu pédo-climatique. Par ce biais, l'agronome peut créer un « profil cultural » favorable à l'enracinement des plantes cultivées et améliorant l'infiltration de l'eau et la résistance à la dégradation. Les deux éléments essentiels du système cultural sont :

- le labour profond du sol,
- la précocité des semis.

Les façons superficielles de préparation du sol, qui étaient la règle autrefois, doivent être proscrites au profit des labours suffisamment profonds (20 à 30 cm). Ces labours peuvent être réalisés, suivant les cas, soit en début, soit en fin de campagne. Ces derniers revêtent un intérêt spécial du fait qu'ils assurent automatiquement la précocité des semis.

Les labours d'enfouissement de matière végétale (pailles, fumiers, matière verte) représentent des modalités particulièrement intéressantes de labour car, à l'action du labour proprement dit, s'ajoute une influence spécifique de la matière végétale enfouie sur la structure du sol, et, dans certains cas, sur le bilan humique.

La précocité des semis est un autre impératif à respecter dans le double but d'assurer à la plante une meilleure croissance et une production accrue et de protéger le sol contre la dégradation et l'érosion par les pluies. Environ neuf années sur dix, la pluviométrie autorise les semis à Séfa à la date du 20 juin ou même un peu avant : l'adoption du nouveau système cultural, caractérisé en particulier par le report en fin de campagne d'une partie des travaux de préparation du sol, doit permettre de réaliser les semis à cette date sur l'ensemble de l'exploitation.

Le niveau de matière organique du sol a chuté brutalement après le défrichement et a continué à baisser lentement au cours des années de mise en culture. Etant donné les multiples incidences favorables de matière organique sur les autres caractéristiques physico-chimiques du sol et son rôle dans la nutrition azotée de la plante, il est important non seulement d'arrêter cette évolution insidieuse, mais encore de chercher à renverser cette tendance en améliorant le niveau humique du sol. Pour cela, il faut augmenter les restitutions organiques au sol sous forme de :

- racines, grâce à de meilleures préparations culturales et à une fertilisation minérale accrue ;
- résidus de récolte pailleux, transformés ou non en fumier et matière verte.

L'introduction dans la rotation d'une céréale à court cycle comme le maïs autorise la pratique régulière des labours d'enfouissement de pailles, ce qui entraînera des conséquences favorables, à court terme sur la structure du sol et à long terme sur le bilan humique. L'emploi du fumier est lié au développement, souhaitable, de l'élevage : ce sera la seule manière de tirer parti, pour le bilan humique, des pailles des céréales traditionnelles à long cycle, mils et sorghos. La pratique régulière des labours d'enfouissement de matière verte (jachère ou engrais vert) contribuera également à cette amélioration, mais d'une manière beaucoup plus faible que les précédentes.

Sur le plan des propriétés chimiques, le point le plus préoccupant est la baisse très sensible de la somme des bases échangeables et en particulier du calcium, du taux de saturation du complexe absorbant et du pH. Tous ces phénomènes sont liés et ont pour cause commune des pertes annuelles importantes de calcium échangeable par lessivage par les eaux de pluie. Ce phénomène existait également sous forêt,

mais il était compensé par des remontées des couches profondes par les racines des arbres et l'enrichissement des couches superficielles par la litière. Ce mouvement de baisse est régulier et continu depuis la mise en culture. Il est absolument nécessaire de l'enrayer et de remonter le pH avant que celui-ci n'ait atteint des valeurs trop basses, risquant d'entraîner ainsi des accidents graves de végétation. Dans ce but, de nombreuses mesures de pH devraient être réalisées sur les terrains de la SODAICA afin de préciser, pour chaque parcelle, les doses d'amendements calciques nécessaires pour corriger la réaction du sol. Après correction, il conviendra de prévoir des apports périodiques d'amendements calciques destinés à maintenir le bilan, les apports actuels de calcium, sous forme de phosphate tricalcique, étant insuffisants pour couvrir les pertes.

Outre les mesures de pH, devraient être effectuées des déterminations de phosphore total et potasse échangeable, de façon à définir, dans chaque cas, les fumures de redressements phosphatées et potassiques nécessaires. Ces deux carences peuvent être corrigées par des apports relativement modestes des éléments correspondants. Dès maintenant, on peut constater une nette amélioration du niveau de phosphore dans les parcelles ayant reçu régulièrement des apports de phosphate tricalcique. Il n'en va pas de même pour la potasse, car les fumures potassiques utilisées jusqu'à présent ont toujours été assez faibles.

Le calcul des fumures d'entretien nécessaires à l'obtention de hauts niveaux de production fait apparaître des besoins importants en azote et en potasse, les besoins en phosphore étant largement couverts par les apports périodiques de phosphates tricalciques. Ces besoins en azote et en potasse augmenteront au fur et à mesure que la culture deviendra plus intensive : il est donc souhaitable qu'il en soit ainsi.

Les potentialités de production végétale à Séfa sont, en effet, importantes et parmi les plus élevées du Sénégal : la pluviométrie abondante et suffisamment étalée, la qualité des sols sont autant de facteurs favorables à l'agriculture. Les rendements de pointe obtenus en station ces dernières années sur des surfaces relativement importantes concrétisent bien ces potentialités : ils sont de l'ordre de 5 t/ha pour le maïs (grain), 4 t/ha pour le riz (paddy), 3 t/ha pour l'arachide (gousses) et 3 t/ha pour le mil (grains). Ce sont là des niveaux de production qu'on était loin d'atteindre ni même d'espérer vers les années 1950, au début de la mise en culture. Ils prouvent que l'évolution des sols peut ne pas présenter inéluctablement un caractère catastrophique pour l'agriculture, mais être au contraire infléchie dans un sens favorable. Les terrains de la station ont reçu régulièrement des fumures importantes et les sols ont été convenablement travaillés ces dernières années. Il serait intéressant de faire, au stade actuel, une comparaison systématique entre les deux groupes de terrains. En grande culture, les mêmes méthodes doivent donner les mêmes résultats : le degré et le rythme de leur application dépendra essentiellement des considérations économiques. Dans l'appréciation économique, on devra distinguer les investissements à long terme, tels que le chaulage et la fumure phospho-potassique de redressement, dont l'amortissement s'étalera obligatoirement sur un certain nombre d'années, et les dépenses courantes telles que travaux du sol et fumure d'entretien qui devront au contraire être rentabilisées dans l'année.

Quels que soient les critères économiques adoptés, on est en droit d'être raisonnablement optimiste et d'espérer faire la preuve définitive, d'ici quelques années, non seulement de la possibilité d'installation à Séfa d'une agriculture fixée et continue, résultat déjà en grande partie acquis, mais de la productivité élevée, comparable à celle des zones tempérées et de la rentabilité de cette agriculture.

Ce résultat dépassera largement le cadre régional où il aura été acquis : c'est en fait toute la zone tropicale sèche, dont les possibilités agricoles ont été jusqu'ici largement sous-estimées, qui sera concernée. C'est dire l'importance qu'il faut attacher à la réalisation de cet objectif.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBREVILLE (A.), 1948. La Casamance.
L'Agron. Trop., vol. VIII, n^{os} 1 et 2, p. 25-52.
- (2) BLONDEL (D.), 1965. Premiers éléments sur l'influence de la densité apparente du sol sur la croissance racinaire de l'arachide et du sorgho ; ses conséquences sur les rendements.
Coll. OUA sur la Cons. l'Am. de la Fert. des Soils, Khartoum, 8-12 nov.
- (3) —, 1969, Relation entre « nanisme jaune » de l'arachide en sol sableux (Dior) et le pH ; définition d'un seuil pour l'activité du *rhizobium*.
Doc. mult. IRAT/Sénégal, 21 × 27, 11 p.
- (4) —, 1969. Induction d'une chlorose ferrique en sol sableux (Dior) par des eaux d'irrigation calcico-magnésiennes.
Doc. mult. IRAT/Sénégal, 21 × 27, 8 p.
- (5) BONFILS (P.), CHARREAU (C.), MARA (M.), 1961. Etudes lysimétriques au Sénégal (première partie).
L'Agron. Trop., XVI, 5, p. 504-61.

- (6) CHAMINADE (R.), 1958. Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote.
Ann. Agro., série A, IX, 2, p. 167-92.
- (7) CHARREAU (C.), 1963. Compte rendu de mission en Casamance et au Sénégal oriental.
Doc. mult. IRAT/Sénégal.
- (8) —, 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
A paraître dans : CR du VII^e Cong. Int. du Génie Rural.
- (9) —, TOURTE (R.), 1967. Le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural dans les systèmes d'agriculture traditionnelle en zone tropicale sèche.
Coll. Fert. Sols Trop., Tananarive, 19-25 nov.
- (10) —, VIDAL (P.), 1965. Influence de l'*Acacia albida* DEL. sur les sols, la nutrition minérale et les rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal.
L'Agron. Trop., XX, 6-7, p. 600-26.
- (11) CHAUVEL (A.), 1966. Etudes physiques des sols de Séfa.
Centre ORSTOM, Dakar, rapp. mult., 36 p.
- (12) COINTEPAS (J.-P.), 1960. Premiers résultats des mesures de l'érosion en Moyenne-Casamance (Sénégal).
Cong. Int. Sci. Sol, 6, Paris, 1956, vol. D, p. 569-76.
- (13) —, 1960. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa.
Rapp. mult., Tunis, 110 p.
- (14) FAUCK (R.), 1954. Premières observations sur les relations engrais vert-engrais chimiques en Moyenne-Casamance.
Cong. Int. Sci. Sol, 5, Léopoldville, comm. IV, p. 156-9.
- (15) —, 1954. Les facteurs et les intensités de l'érosion en Moyenne-Casamance.
Cong. Int. Sci. Sol, 5, Léopoldville, comm. VI, p. 376-9.
- (16) —, 1955. Etude pédologique de la région de Sédhio (Sénégal).
L'Agron. Trop., vol. 6, p. 752-93, 8 fig.
- (17) —, 1956. Erosion et mécanisation agricole.
Bureau des sols AOF, sept., 24 p., 12 phot.
- (18) —, 1956. Evolution des sols sous culture mécanisée dans les régions tropicales.
Cong. Int. Sci. Sol, 6, Paris, vol. E, p. 593-6.
- (19) —, 1956. Le riz de culture sèche et l'évolution des sols.
Cong. Int. Sci. Sol, 6, Paris, vol. D, p. 591-5.
- (20) —, 1956. Conservation des sols et mise en valeur agricole en région tropicale.
Cong. Int. Sci. Sol, 6, Paris, vol. D, p. 591-5.
- (21) —, 1956. L'évolution du sol sous culture mécanisée. Le problème du pH et de sa correction.
Cong. Int. Sci. Sol, 6, Paris, vol. D, p. 379-82.
- (22) —, 1956. Etude de l'évolution des sols sous culture mécanisée et le problème des prélèvements de terre.
Bull. Ass. Fr. Et. Sol, n° 73, p. 388-91.
- (23) —, 1964. Les sols rouges faiblement ferrallitiques d'Afrique occidentale.
Cong. Int. Sci. Sol, 8, Bucarest, V, 62, p. 547-57.
- (24) —, MOUREAUX (C.), THOMANN (Ch.), 1969. Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue.
L'Agron. Trop., XXIV, 3, 263-301.
- (25) HENIN (S.), FEODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. Le profil cultural.
SEIA, Paris.
- (26) IRAT/Sénégal, 1964-1967. Rapports annuels du Secteur de Casamance.
Doc. mult.
- (27) —, 1964-1968. Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa.
In Rapp. An. Div. Agropédologie, doc. mult.
- (28) —, 1964-1968. Compte rendu des essais « Labours de fin de cycle ».
In Rapp. An. Div. Techniques cult., doc. mult.
- (29) —, 1964-1968. Compte rendu des essais « Régénération du profil ».
In Rapp. An. Div. Tech. Cult., doc. mult.
- (30) MONNIER (G.), 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.
Ann. Agr., 16, 4, p. 327-400 et 16, 5, p. 475-534.
- (31) NICOU (R.), THIROUIN (H.), 1968. Mesures sur la porosité et l'enracinement des cultures. Premiers résultats.
Doc. mult. IRAT/Sénégal, 21 × 27, 52 p.
- (32) PORTÈRES (R.), FAUCK (R.), 1961. Etude d'économie agricole et rurale en Casamance : possibilités d'implantation d'une agriculture modernisée sur les plateaux de la Moyenne-Casamance.
J.M. 61, rapp. mult., 90 p.

- (33) POULAIN (J.F.), 1967. Résultats obtenus avec des engrais et des amendements calciques. Coll. sur la Fert. des Sols Trop., Tananarive, 19-25 nov.
- (34) République du Sénégal. Elaboration du III^e Plan, 1968. Commission n° 11 : Hydrologie et hydrogéographie, fiche de synthèse, doc. mult.
- (35) ROOSE (E.), 1965. Dix années de mesures de l'érosion et ruissellement au Sénégal (Station IRAT, à Séfa, Casamance).
- (36) SÉGUY (L.), 1969. Etude pédologique du bassin versant de Salikénié, en Moyenne-Casamance. Rapp. mult. IRAT/Sénégal, 21 × 31, 85 p.
- (37) —. Influence des caractéristiques pédologiques sur la croissance et la production du riz pluvial en Casamance. A paraître.
- (38) TOBLAS (C.), 1965. Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges. Etude d'une toposéquence dans la région de Séfa (Casamance). Centre ORSTOM, Dakar, rapp. mult., 113 p.
- (39) TOURTE (R.), VIDAL (P.), JACQUINOT (L.), FAUCHE (J.), NICOU (R.), 1964. Bilan d'une rotation quadriennale sur sole de régénération au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, XIX, 12, p. 1033-1072.

RESUME. — *Cette étude reprend en partie les éléments d'un précédent travail sur le bilan de l'évolution des sols de Séfa après quinze années de culture continue, les complète par les données acquises par la recherche agronomique et tente d'en dégager les principales conclusions sur le plan agronomique. Après avoir rappelé brièvement les conditions naturelles de cette région du Sud-Sénégal, les Auteurs examinent successivement :*

*les problèmes de techniques culturales en relation avec les propriétés physiques des sols ;
les constituants organiques et les propriétés biologiques ;
la fertilisation minérale en liaison avec l'évolution chimique des sols.*

La principale conclusion se dégageant de cet ensemble est que, malgré l'évolution défavorable de certaines caractéristiques du sol, il est parfaitement possible d'instaurer à Séfa un système de culture continu et intensif, fournissant de hauts rendements agricoles tout en préservant le capital sol.

Pour cela, diverses mesures doivent être prises.

Concernant les propriétés physiques des sols, on doit rechercher une meilleure adaptation des techniques culturales au milieu pédo-climatique en combinant labour profond du sol et précocité des semis. Les façons superficielles de préparation et les semis plus ou moins retardés, qui étaient la règle autrefois, doivent être proscrits. Le report en fin de campagne d'une partie des labours de préparation doit permettre de réaliser les semis à bonne date sur l'ensemble de l'exploitation.

Les labours d'enfouissement de matière végétale (pailles, fumiers, matière verte) représentent des modalités particulièrement intéressantes de labour car, à l'action du labour proprement dit, s'ajoute une influence spécifique de la matière végétale enfouie sur la structure du sol et, dans certains cas, sur le bilan humique.

Le niveau de matière organique du sol a chuté brutalement après défrichement et a continué à baisser lentement au cours des années de mise en culture. Cette tendance peut être inversée en augmentant les restitutions organiques au sol sous forme de racines (meilleures techniques culturales et fertilisation minérale accrue), de résidus de récolte pailleux et, dans une moindre mesure, de matière verte.

L'introduction dans la rotation d'une céréale à court cycle comme le maïs autorise la pratique régulière des labours d'enfouissement de pailles, ce qui entraînera des conséquences favorables, à court terme sur la structure du sol et à long terme sur le bilan humique. L'emploi du fumier est lié au développement, souhaitable, de l'élevage : ce sera la seule manière de tirer parti, pour le bilan humique, des pailles des céréales traditionnelles à long cycle : mils et sorghos. La pratique régulière des labours d'enfouissement de matière verte (jachère ou engrais vert) contribuera également à cette amélioration, mais d'une manière beaucoup plus faible que les précédentes.

Sur le plan des propriétés chimiques, le point le plus préoccupant est la baisse très sensible de la somme des bases échangeables et en particulier du calcium, du taux de saturation du complexe absorbant et du pH. Tous ces phénomènes sont liés et ont pour cause commune des pertes annuelles importantes de calcium échangeable par lessivage par les eaux de pluie. Ce mouvement de baisse est régulier et continu depuis la mise en culture. Il est absolument nécessaire de l'enrayer et de remonter le pH avant

que celui-ci n'ait atteint des valeurs trop basses, risquant d'entraîner ainsi des accidents graves de végétation. Les doses d'amendements calcaïques nécessaires pour chaque parcelle peuvent être déterminées après mesure du pH. Après correction, il conviendra de prévoir des apports périodiques de chaux ou de calcaire, les apports actuels de calcium étant insuffisants pour couvrir les pertes.

Les carences originelles en phosphore et potasse, aggravées dans certains cas par la culture, peuvent être corrigées par des apports relativement modestes des éléments correspondants.

Le calcul des fumures d'entretien nécessaires à l'obtention de hauts niveaux de production fait apparaître des besoins importants en azote et en potasse, les besoins en phosphore étant largement couverts par les apports périodiques de phosphates tricalcaïques. Ces besoins en azote et en potasse augmenteront au fur et à mesure que la culture deviendra plus intensive : il est donc souhaitable qu'il en soit ainsi.

Le degré et le rythme d'application de ces diverses mesures dépendront essentiellement de considérations économiques. Il est souhaitable qu'elles soient adoptées et généralisées assez rapidement de façon à faire la preuve définitive, d'ici quelques années, non seulement de la possibilité d'installation en zone tropicale sèche d'une agriculture fixée et continue, résultat déjà en grande partie acquis, mais de la productivité élevée et de la rentabilité de cette agriculture.

SUMMARY.—CHOICE OF A METHOD FOR THE CULTIVATION OF THE SOILS IN THE SEFA AREA (CASAMANCE).

This study partly resumes the elements of a previous work on the balance-sheet of soil evolution at Sefa after fifteen years of continuous cultivation; it completes them by data from agricultural research and tries to draw the main conclusions from an agricultural point of view. After describing briefly the natural conditions of this area in Southern Senegal, the Authors successively study:

*the problems of cultural practices in relation to the physical proprieties of soils;
the organic components and the biologic proprieties;
fertilization in relation to the chemical evolution of soils.*

The main conclusion is that, despite an unfavorable evolution of some soil characteristics, it is perfectly possible to establish at Sefa a continuous and intensive cropping system which will give high crop yields while maintaining the soil potential.

Steps must be taken to this end.

As regards the physical proprieties of soils a better adaptation of cultural practices to pedoclimatic environment is to be found in combining deep ploughing and early sowing. Surface tillage practices and more or less late sowing must no longer be practised. It is possible to sow at the appropriate time on the whole farm by a part of ploughing being delayed to the end of the crop season.

Ploughing under of plant matter (straw, farmyard manure, green matter) are particularly interesting ploughing methods because a particular effect of the turned under plant matter on soil structure and, in some cases, on humus balance, is added to the effect of ploughing itself.

The organic matter level of the soil has sharply decreased after clearing and kept on slowly decreasing during the crop years. This trend can be reversed in increasing the organic restorations to the soil in the form of roots (better cultural practices and increased fertilization), strawy crop residue and to a lesser extent, green matter.

The introduction into the rotation of a short duration cereal such as maize allows regular ploughing under of straw, which will have a favourable short-term effect on the soil structure and a favourable long-term effect on the humus balance. Farmyard manure use is related to the recommandable development of animal husbandry: it will be the only way for the humus balance to profit from the straw of the traditional long duration cereals such as millet and sorghum. Regular ploughing under of green matter (fallow or green manure) will also contribute to this improvement, but to a lesser extent than previously.

As regards chemical proprieties, the most difficult point is the markedly decrease of the base exchange capacity and specially of calcium, the saturation rate of the base exchange complex and pH. All these phenomena are linked together and are due to the large annual losses of exchangeable calcium by precipitation leaching. This decreasing movement is regular and continuous since the beginning of cultivation. It is necessary to check it and to increase pH before it becomes too low and risks causing serious injuries to vegetation growth. The rates of calcium amendment required for each plot can be determined after measuring pH. After it has been rectified it is recommended to forecast periodical applications of lime or limestone, as the present calcium applications are inadequate to make up for losses.

The original phosphorus and potash deficiencies, heightened sometimes by crops, can be corrected by rather moderate applications of the corresponding elements.

The evaluation of the maintenance application required for high productive levels points out large nitrogen and potash requirements; periodic applications of tricalcic phosphate largely make up for phosphorus requirements. As cultivation becomes more intensive nitrogen and potash requirements increase; this is to be desired.

The rate and frequency of applications of these different measures will essentially depend on economic reasons. It is desirable that they are adopted and generalized rather rapidly in order to prove definitively in some years that it is possible not only to establish a fixed and continuous agriculture in the dry tropical area, a result which has already been achieved to a great extent, but also to make this agriculture highly productive and profitable.

RESUMEN. — ELECCION DE TECNICAS DE UTILIZACION AGRICOLA DE LOS SUELOS DE LA REGION DE SEFA (CASAMANCE, SENEGAL).

En el presente estudio se aprovechan algunos elementos de un trabajo anterior sobre el balance de la evolución de los suelos de Sefa, después de quince años de cultivo continuo, completándose dichos elementos con datos obtenidos por la investigación agronómica, con objeto de destacar las principales conclusiones interesantes desde el punto de vista agronómico. Se da un breve resumen de las condiciones naturales de esta región, situada al Sur de Senegal, examinándose después los siguientes aspectos :

problemas de las técnicas de cultivo, en relación con las propiedades físicas de los suelos ;
constituyentes orgánicos y propiedades biológicas ;
fertilización mineral, en relación con la evolución química de los suelos.

La principal conclusión es que, a pesar de la evolución desfavorable de ciertas características del suelo, es posible establecer en Sefa un sistema de cultivo continuo e intensivo, capaz de dar altos rendimientos, preservando al mismo tiempo el capital-suelo.

Por consiguiente, se han de adoptar varias medidas.

Por lo que respecta a las propiedades físicas de los suelos, debe buscarse una mejor adaptación de las técnicas de cultivo a las condiciones edafo-climatológicas, combinando la labor profunda del suelo y la precocidad de las siembras. Las prácticas superficiales preparatorias y las siembras más o menos tardías, que se realizaban en otro tiempo, tienen que eliminarse. Se podrá realizar la siembra en la fecha más apropiada, en el conjunto de las tierras explotadas, aplazando ciertas labores preparatorias, las cuales se efectuarán a finales de la campaña.

El enterramiento de la materia vegetal (paja, estiércol, materia verde) constituye una técnica muy interesante, ya que, además de los efectos de la labor propiamente dicha, se ejerce la influencia específica de la materia vegetal enterrada en la estructura del suelo, y a veces en el balance húmico.

Se ha observado una merma marcada del nivel de la materia orgánica del suelo después del desbroce. La disminución ha sido progresiva y lenta durante los años de cultivo. Puede contrarrestarse esta tendencia aumentando las restituciones orgánicas con raíces (mejores técnicas de cultivo y fertilización mineral aumentada), residuos de cosechas y pajas, y hasta cierto punto con materia verde.

La introducción de un cereal de ciclo corto, como el maíz, en la rotación, permitirá efectuar de modo regular las labores de enterramiento de las pajas, lo que tendrá efectos favorables, a breve plazo en la estructura del suelo, y a largo plazo en el balance húmico. El empleo del estiércol depende del desarrollo de la ganadería : ello constituirá la mejor forma para sacar provecho, para el balance húmico, de las pajas de los cereales tradicionales de ciclo largo, como por ejemplo los mijos y sorgos. La práctica regular de las labores de enterramiento de materia verde (barbecho o abono verde) contribuirá también en mejorar las condiciones del suelo, pero de modo menos marcado.

En cuanto a las propiedades químicas, los problemas más graves son la disminución acusada de la suma de bases intercambiables, especialmente el calcio, y también la baja de la tasa de saturación, del complejo absorbente, y del pH. Todos estos fenómenos están relacionados entre sí y tienen la misma causa, a saber : las pérdidas anuales de calcio intercambiable debidas al lavado provocado por las lluvias. El proceso de baja se desarrolla de modo regular y continuo desde el inicio del cultivo. Es necesario combatirlo y elevar el pH, antes que éste alcance un nivel demasiado bajo, lo que podría causar graves daños al cultivo. Las dosis de la enmienda cálcica necesaria para cada parcela pueden determinarse después de la medida del pH. Después de corregir el pH, será preciso prever algunas aportaciones periódicas de cal o caliza, ya que las aportaciones actuales de calcio son insuficientes para cubrir las pérdidas.

Las carencias iniciales de fósforo y potasio, que se vuelven más graves en ciertas tierras bajo cultivo, pueden corregirse con aportaciones poco elevadas de dichos nutrientes.

La determinación de las dosis de abonos de mantenimiento necesarios para alcanzar altos niveles de producción, demuestra que se necesitan grandes cantidades de nitrógeno y potasio, mientras los suministros periódicos de fosfatos tricálcicos cubren ampliamente las necesidades de fósforo. Las necesidades de nitrógeno y potasio aumentan cuando el cultivo es más intensivo, lo cual es deseable.

El grado y ritmo de la adopción de las medidas propuestas dependerán sobre todo de consideraciones económicas. Se recomienda que sean adoptadas lo antes posible, para demostrar definitivamente que, dentro de pocos años, será posible no sólo implantar una agricultura fija y continua en las zonas tropicales secas, sino también obtener una productividad elevada y una buena rentabilidad de la agricultura.

**L'AGRONOMIE
TROPICALE**

—
Extrait du Vol. XXV, n° 2
FÉVRIER 1970
—

**MISE AU POINT SUR L'UTILISATION AGRICOLE
DES SOLS DE LA RÉGION DE SÉFA
(Casamance)**

par

C. CHARREAU
Maître de Recherches (ORSTOM)
Centre de Recherches Agronomiques
de Bambey (IRAT/Sénégal)

R. FAUCK
Inspecteur Général de Recherches (ORSTOM)
Directeur du Centre ORSTOM
de Dakar