

**L'AMÉLIORATION DU PROFIL CULTURAL
DANS LES SOLS SABLEUX ET SABLO-ARGILEUX
DE LA ZONE TROPICALE SÈCHE OUEST-AFRICAINE
ET SES INCIDENCES AGRONOMIQUES**
**(d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT
en Afrique de l'Ouest)**

C. CHARREAU par **R. NICOU**
Pédologue CNRA/Bambey (IRAT/Sénégal) Agronome

BULLETIN AGRONOMIQUE
N° 23

Extraits de l'Agronomie Tropicale 1971 :
n° 2, p. 209 à 255, n° 5, p. 565 à 631, n° 9, p. 903 à 978 et n° 11, p. 1184 à 1247

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIÈRES (I.R.A.T.)

110, rue de l'Université - PARIS - 7^e - 551-49-79

© 1971 - IRAT. Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

**L'AMÉLIORATION DU PROFIL CULTURAL
DANS LES SOLS SABLEUX ET SABLO-ARGILEUX
DE LA ZONE TROPICALE SÈCHE OUEST-AFRICAINE
ET SES INCIDENCES AGRONOMIQUES**
**(d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT
en Afrique de l'Ouest)**

par

C. CHARREAU
Pédologue

CNRA/Bambey (IRAT/Sénégal)

R. Nicou
Agronome

L'AMÉLIORATION DU PROFIL CULTURAL DANS LES SOLS SABLEUX ET SABLO-ARGILEUX DE LA ZONE TROPICALE SÈCHE OUEST-AFRICAINE ET SES INCIDENCES AGRONOMIQUES

(d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT
en Afrique de l'Ouest)

C. CHARREAU
Pédologue

par

R. NICOU
Agronome

CNRA/Bambey (IRAT/Sénégal)

AVANT-PROPOS

Les études sur le travail du sol furent entreprises au CRA de Bambey par R. TOURTE et ses collaborateurs, dans les années 1950. Pour des raisons à la fois théoriques (matière organique) et pratiques (possibilités de réalisation), ce furent surtout les labours d'enfouissement de matière verte (jachère ou engrais vert) qui firent, au début, l'objet de ces études. Les labours ordinaires et les autres modalités de travail du sol n'intervinrent qu'ensuite. Dès les premières années, des résultats très positifs furent acquis, encourageant à poursuivre les recherches dans la voie ainsi tracée.

Le travail du sol apparaissant ainsi comme un éventuel mais puissant moyen d'amélioration de la fertilité naturelle des sols tropicaux de zone sèche, fertilité jusqu'alors très dépréciée, la deuxième phase des recherches de l'équipe du CRA Bambey (Ph. GAUDEFRUY-DEMOMBYNES, notamment), portait alors sur la définition des modes de réalisation de ce travail du sol et des types de matériel, attelés ou motorisés, adéquats.

C'est au cours de cette deuxième période (1955-1960) que furent réalisés de très nombreux essais de machines et de tracteurs amenant la description d'un équipement adapté aux conditions tropicales de zone sahélo-soudanienne. Simultanément, toutes les techniques des travaux profonds, superficiels, d'entretien, avec ou sans retournement, étaient testées.

La troisième phase, à laquelle nous fûmes associés, devait être celle de l'analyse des mécanismes d'action du travail du sol.

En effet, au milieu de résultats largement positifs apparaissaient des contradictions qu'il fallait expliquer, si l'on voulait contrôler l'outil supplémentaire dont la Recherche agronomique venait de se doter.

La démarche suivie s'inspira étroitement de celle décrite par S. HÉNIN et ses collaborateurs dans *Le Profil cultural*, dont la première édition venait de paraître. Nous eûmes la chance de bénéficier, grâce à des missions d'appui scientifiques de quelques semaines, du concours actif de chercheurs de l'INRA, proches collaborateurs de S. HÉNIN, J.-P. DEFFONTAINES en mai-juin 1964 et septembre 1965, G. MONNIER en novembre 1966, C. MAERTENS en octobre 1968. Ces chercheurs nous aidèrent grandement à préciser nos méthodes de travail, à analyser les situations, à corriger nos erreurs d'interprétation. Qu'ils en soient ici remerciés.

Après une vingtaine d'années d'études sur ce sujet, une synthèse critique des résultats obtenus s'imposait. La Direction de l'IRAT nous demanda, à R. TOURTE et à nous-mêmes, de la réaliser. Pris par d'autres obligations, R. TOURTE fut contraint de nous abandonner la charge de la rédaction, tout en continuant à nous faire bénéficier, de façon constante, de ses avis et critiques.

Cette publication devait être, à l'origine, plus limitée et ne concerner que des résultats acquis, par l'IRAT/Sénégal, dans le domaine du travail du sol.

En cours de rédaction, il apparut qu'il était assez difficile d'expliquer les effets sur le sol du travail du sol sans faire état, au préalable, du jeu des facteurs naturels et biologiques. C'est pourquoi le sujet a été élargi jusqu'à englober l'ensemble des facteurs modifiant les propriétés physiques et la matière organique des sols et intervenant, par ce biais, sur les rendements agricoles ; soit, en d'autres termes : l'évolution du profil cultural et son incidence agronomique. L'étude restait limitée, cependant, aux sols exondés de texture sableuse ou sablo-argileuse.

Par contre, il a semblé utile d'élargir le cadre géographique et de faire état également des résultats, souvent très intéressants, obtenus par les autres agences de l'IRAT, travaillant dans des conditions naturelles assez proches de celles du Sénégal. La Direction de l'IRAT approuva ce point de vue ; la comparaison devenait ainsi possible avec les autres pays de la zone tropicale sèche de l'Ouest Africain. Nous avons jugé également intéressant d'étendre cette comparaison aux résultats acquis par nos collègues de l'ORSTOM ou des autres Instituts spécialisés, notamment l'IRHO, travaillant dans cette même zone, dans la mesure, toutefois, où ces travaux nous étaient connus soit par publications, soit par rapports d'activités. Le lecteur pourra se faire ainsi une idée d'ensemble des études réalisées dans ce domaine en Afrique de l'Ouest francophone (zone tropicale sèche).

Le présent document rassemble donc des informations provenant de sources très variées. Une bonne part des travaux mentionnés n'a pas fait l'objet de publications, les résultats étant consignés dans des rapports d'activités à caractère plus ou moins anonyme et à diffusion limitée. Ceci est le cas, en particulier, d'un grand nombre d'études menées par les chercheurs de l'IRAT. Il a paru équitable, dans ces conditions, de transgresser quelque peu les règles de références bibliographiques usuelles, en citant notamment les auteurs de ces rapports.

Par ailleurs, certains chercheurs ont, par leurs travaux ou leurs observations, contribué utilement à ce travail sans qu'ils aient eu l'occasion de transcrire eux-mêmes leurs résultats. Pour cette raison, nous croyons nécessaire de mentionner ici les noms des chercheurs de l'IRAT, anciens ou actuels, qui, à des titres divers, ont apporté une contribution à cette œuvre commune :

Sénégal :

D. BLONDEL, P. BONFILS, A. BONLIEU, S. BOUYER, C. CHARREAU, J. FAUCHÉ, J. FAURE, P. GAUDEFROY-DEMOMBYNES, R. HAMON, M. LE MOIGNE, M. MARA, J. MONNIER G. POCHTIER, J.-F. POULAIN, J. SÉGUY, H. THIROUIN, R. TOURTE.

Mali :

M. BONO, C. PIÉRI.

Haute-Volta :

J. ARRIVETS, J. D'ARONDEL DE HAYES, C. DUMONT, B. DUPONT DE DINECHIN, C. MALCOIFFE.

Niger :

C. HUBERT DE FRAISSE, J. NABOS.

Côte-d'Ivoire :

R. BERTRAND, C. DUMONT, B. LE BUANEC, G. RENAUT.

Arrivé au terme de cette étude, il semble qu'une doctrine en faveur du travail du sol se dégage avec une certaine évidence.

A aucun moment de notre développement, nous n'avons cependant voulu l'imposer, restant constamment soucieux d'exposer impartialement l'ensemble des résultats et arguments, tant favorables que défavorables, et les conclusions en découlant.

Ce faisant, nous avons souhaité nous affranchir au départ des deux écoles d'agronomes tropicaux aux positions jusqu'alors inconciliables :

- celle qui considère la nécessité du travail du sol comme une évidence naturelle ;
- celle qui le tient, au contraire, pour inutile, voire dangereux, en tout cas antiéconomique.

Ce faisant, aussi, nous espérons fermement avoir contribué à dissiper certains malentendus, à amorcer le dialogue entre ces deux écoles, facilitant ainsi l'élaboration en commun d'une doctrine cohérente d'intervention.

INTRODUCTION

La productivité végétale dans une région donnée est fonction de trois groupes de facteurs : climatiques, chimiques, physiques. Ces trois groupes de facteurs ne sont pas indépendants puisque, par exemple, la disponibilité en eau, facteur climatique, est influencée par les propriétés physiques du sol et influencera, à son tour, la nutrition minérale de la plante à partir des éléments chimiques contenus dans le sol. Il est bien connu, par ailleurs, que, pour obtenir un accroissement substantiel de productivité, il sera nécessaire de faire porter l'amélioration sur chacun des trois groupes de facteurs : si l'un d'entre eux est négligé, il jouera le rôle de facteur limitant et empêchera l'amélioration obtenue dans les deux autres groupes de se manifester par une augmentation de rendements. Il sera cependant commode, pour leur étude, de conserver cette distinction.

Dans les zones tropicales sèches, l'étude de ces facteurs de la production est inégalement poussée. L'homme n'ayant qu'une emprise limitée sur les facteurs climatiques, ceux-ci ont surtout fait l'objet d'études à caractère descriptif. Des données expérimentales concernant l'adaptation des plantes au climat et l'incidence des modifications de régimes hydriques sur la croissance et la production végétale commencent cependant à être disponibles. Les travaux concernant l'amélioration des propriétés chimiques des sols et l'utilisation des fertilisants sont abondants, même si l'analyse des mécanismes d'action de différents éléments est encore insuffisamment élucidée. C'est, en effet, le domaine où l'intervention de l'agronome paraît devoir être la plus efficace.

Par contre, l'étude des propriétés physiques des sols en liaison avec la croissance végétale et de leur amélioration en vue d'un accroissement de productivité a été jusqu'à présent peu poussée. Certes, bon nombre de travaux concernant techniques culturales, travail du sol, rotation ont été conduits dans les diverses stations expérimentales ; mais ils l'ont été le plus souvent, de façon empirique, en ne retenant, pour tester l'efficacité des interventions, que les critères globaux de rendements, sans prendre suffisamment en considération leur incidence sur le sol. Le mécanisme d'action n'a pu être, dans la plupart des cas, pleinement élucidé, ce qui a conduit à des résultats expérimentaux plus ou moins contradictoires et à une certaine confusion dans les doctrines.

Au Sénégal, une tentative a été faite, ces dernières années, pour mieux comprendre les processus d'évolution des propriétés physiques des sols, sous l'influence de l'intervention de l'agronome, et les conséquences qui en résultent pour la plante cultivée. Cette démarche s'est largement inspirée de la méthode d'étude du « profil cultural » exposée par S. HÉNIN et ses collaborateurs (4). Sous ce vocable, S. HÉNIN désigne l'« ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, des racines de végétaux et des facteurs naturels réagissant à ces actions ».

L'étude du profil cultural est essentiellement axée sur celle des propriétés physiques du sol et c'est pourquoi nous identifierons ici, pratiquement, les deux notions en y incluant, cependant, la matière organique sous ses différentes formes. Ceci ne signifie pas, bien entendu, que les caractéristiques chimiques n'interviennent pas dans le profil cultural et dans la croissance de la plante, mais simplement qu'elles ne seront pas prises en considération ici.

C'est l'ensemble des résultats obtenus dans ce domaine qui sera présenté ici, sous une forme résumée. Ces résultats ont été acquis par l'équipe de chercheurs de l'IRAT, principalement au Sénégal, mais aussi au Mali, Niger, Haute-Volta et Côte-d'Ivoire. Il sera fait état également des résultats obtenus tant au Sénégal que dans divers pays d'Afrique de l'Ouest par d'autres organismes de recherche, notamment par l'IRHO et l'ORSTOM.

Les résultats mentionnés dans cette étude, bien que découlant principalement de travaux réalisés au Sénégal, ne concernent donc pas ce seul pays et peuvent s'appliquer à tous les sols sableux ou sablo-argileux de la zone tropicale sèche de l'Afrique de l'Ouest. Ce pays constitue, par ailleurs, un assez bon échantillon de la zone étudiée puisque toutes les variétés de climats et bon nombre des principaux sols y sont représentés.

Pour la délimitation de cette zone, on s'est fondé essentiellement sur des critères de durée de la saison des pluies. Ces critères ont été choisis volontairement simples : on a considéré comme mois pluvieux tout mois dont la pluviométrie moyenne est supérieure à 50 mm.

La zone tropicale sèche comprend toutes les régions dont la durée de la saison sèche est supérieure ou égale à deux mois et inférieure ou égale à cinq mois. Si n est le nombre de mois pluvieux, on a ainsi : $2 \leq n \leq 5$.

Ainsi définie, la zone tropicale sèche correspond sensiblement aux zones climatiques sahélo-soudanaise et sahélo-sénégalaise définies par AUBREVILLE (1).

La hauteur de pluie annuelle varie dans des limites assez larges : de 250 mm à 1.500 mm. Du point de vue de la végétation naturelle, cette zone est le domaine des steppes boisées, avec abondance d'*Acacia* et de *Commiphora*, des savanes boisées et herbeuses, des forêts claires (6). Ses limites, pour l'Ouest-Africain, ont été figurées sur le graphique 0 - 1, en s'inspirant, pour leur tracé, des planches climatiques de l'Atlas Ouest-Africain (5).

Ces limites sont également à peu près identiques à celles de la zone agroclimatologique Ouest-africaine qui a fait récemment l'objet d'une étude réalisée conjointement par la FAO, l'UNESCO et l'OMM (2). Toutefois, la zone en question est moins étendue vers le sud que la zone tropicale sèche, telle que nous la définissons plus haut. Ceci tient au fait que les auteurs ont associé aux critères principaux de durée de la période de disponibilité en eau pour la végétation, des critères secondaires de hauteur de pluie annuelle et d'indices de drainage. Ceci les a conduits à écarter en particulier toute la partie méridionale du Sénégal (Casamance), région dont la pluviométrie annuelle et l'indice de drainage sont élevés, mais dont les caractères d'aridité et de longueur de la saison sèche sont néanmoins très marqués, ce qui est essentiel pour le propos qui nous occupe.

Certains des résultats dont il sera fait état paraissent pouvoir être extrapolés à une zone climatique plus vaste, englobant les régions dont la saison des pluies peut avoir une durée excédant cinq mois et allant jusqu'à sept mois. Cette troisième limite figure également sur le graphique 0 - 1. La nouvelle zone ainsi définie peut être qualifiée de zone tropicale semi-humide : elle correspond sensiblement à la zone soudano-guinéenne d'AUBREVILLE (1).

Toutefois, cette extrapolation des résultats ne peut être faite qu'avec prudence, la plupart des données dont il sera fait mention ici ne concernant que la zone tropicale sèche.

La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000 (feuille n° 5) élaborée par J.-L. D'HOORE (3), d'après les travaux des pédologues locaux, permet d'avoir une vue d'ensemble des sols représentés dans cette zone. La majorité d'entre eux présentent des horizons superficiels appauvris en argile : la texture des horizons du profil cultural est le plus souvent sableuse ou sablo-argileuse, la fraction argileuse étant à dominante kaolinique. Ces sols sont, à ce point de vue, assez comparables à ceux du Sénégal et les résultats acquis dans ce pays sont donc largement extrapolables. Ils ne s'appliquent cependant ni aux sols hydromorphes formés sur alluvions, ni aux vertisols et sols apparentés, ni aux lithosols sur cuirasse ou roches dures, qui occupent des superficies importantes dans la zone considérée.

L'étude qui va suivre comportera six parties :

- les méthodes d'étude du profil cultural ;
- les facteurs naturels (climats et sols) et leur influence sur l'évolution du profil cultural ;
- les facteurs biologiques (faune et végétation) et leur influence sur le profil cultural et la productivité agricole ;
- les effets de l'intervention humaine sur le profil cultural et les rendements agricoles : le travail du sol avec ou sans enfouissement de matière végétale ;
- le bilan humique des sols, conséquences agronomiques ;
- les systèmes de production.

Ces six parties feront l'objet de publications échelonnées dans les numéros successifs 1971 et 1972 de *L'Agronomie Tropicale*, série Agronomie générale et Etudes techniques. Pour la commodité de la lecture, il a paru préférable de faire figurer après chaque chapitre la bibliographie s'y rapportant.

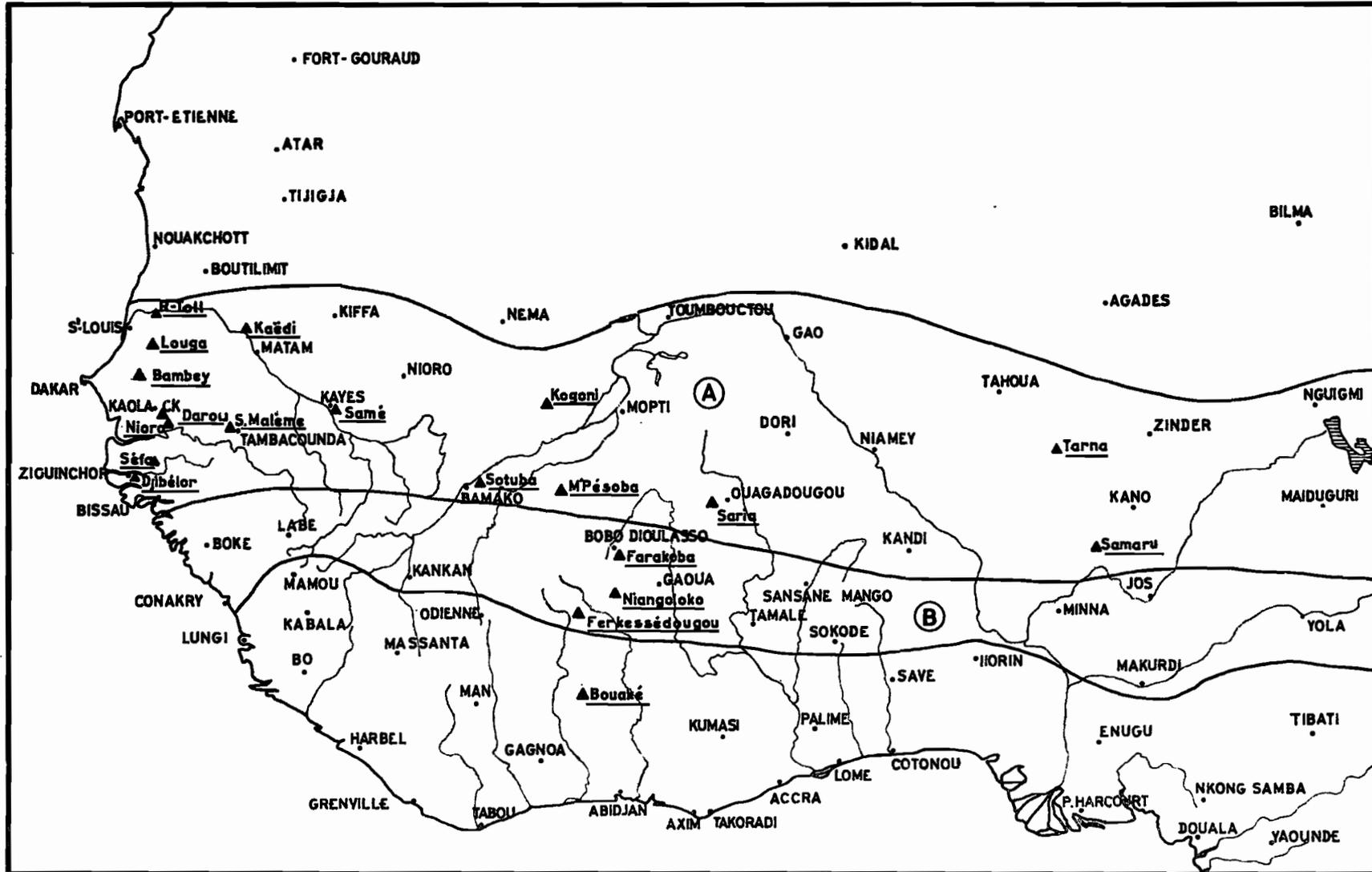
G.n°0-1. Limites de la zone étudiée et implantation des principales Stations Agronomiques

(A)

Zone tropicale sèche, 2 à 5 mois pluvieux ($P \geq 50\text{mm}$)

(B)

Zone tropicale semi humide 5 à 7 mois pluvieux ($P \geq 50\text{mm}$)



• DAKAR : Ville importante

▲ MPésoba : Station Agronomique

0 100 200 300 400 500 Km

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBRÉVILLE (A.), 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. d'Ed. Géograph., Marit. et Coloniales, Paris.
- (2) COCHEMÉ (J.), FRANQUIN (P.), 1967. Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara, en Afrique occidentale. Projet conjoint d'agroclimatologie FAO/UNESCO/OMM, FAO, Rome.
- (3) D'HOORE (J.L.), 1964. La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000. Commission de Coopération Technique en Afrique, Lagos.
- (4) HÉNIN (S.), FÉODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. Le profil cultural. Principes de physique du sol. Société d'Éditions des Ingénieurs Agricoles, Paris.
- (5) OUA (STRC), 1968. Atlas international de l'Ouest-Africain.
- (6) UNESCO, 1959. Carte de la végétation d'Afrique et notice. Oxford University Press.

CHAPITRE I

**LES METHODES D'ETUDE DU PROFIL CULTURAL
DANS LES SOLS SABLEUX DES ZONES TROPICALES SECHES**

Comme en zone tempérée, l'étude du profil cultural fait appel à la fois à l'observation directe et à des mesures annexes effectuées sur le terrain ou en laboratoire : l'ensemble de ces données doit permettre de porter un diagnostic sur la valeur agronomique du profil cultural.

A) LA METHODE D'OBSERVATION

Elle s'inspire étroitement de la procédure décrite par S. HÉNIN et ses collaborateurs (10) et comporte les mêmes étapes, que nous rappellerons rapidement ici :

- creusement d'une fosse d'observation d'une soixantaine de centimètres de profondeur ;
- auscultation des parois à l'aide du manche du couteau afin de déceler les variations d'intensité et de tonalité résultant des chocs ;
- appréciation des limites et des caractéristiques des différentes couches par exploration précautionneuse à l'aide d'une lame de couteau.

Les observations détaillées pour chaque couche portent sur :

- la profondeur, l'humidité et la texture ;
- la structure : forme, dimension, capacité et dureté ;
- les matières organiques : nature, aspect, odeur ;
- les caractéristiques pédologiques ; limites des horizons, accidents divers (taches, concrétions...) ;
- l'activité biologique : galerie d'animaux, excréments ;
- l'enracinement : quantité, forme, localisation et état sanitaire des racines.

L'application de cette procédure aux sols sableux ou sablo-argileux de zone tropicale sèche présente cependant quelques particularités. La division de l'année agricole en deux périodes très contrastées conduit à effectuer deux séries d'observations : les unes au cours de la saison des pluies, les autres au cours de la saison sèche. Les observations effectuées ne seront pas les mêmes dans les deux cas. En saison des pluies, l'attention se portera surtout sur l'enracinement et son évolution ; l'appréciation, en sols sableux humides, de la structure et des limites des différentes couches sera par contre assez malaisée. En saison sèche, cet examen sera grandement facilité par la dessiccation du sol, alors que l'observation de l'enracinement se révélera difficile, sinon impossible dans certains cas (arachide).

Dans l'appréciation de la profondeur des différentes couches, l'observateur devra se garder de confondre limites culturales et limites pédologiques. Dans certains sols ferrugineux tropicaux lessivés développés sur grès argileux du Continental terminal, il peut se produire, en effet, à faible distance de la surface, un enrichissement rapide en argile induisant une variation brutale de la cohésion ; cette discontinuité peut faire penser à un fond ou une semelle de labour. La distinction est parfois malaisée à établir.

L'appréciation de la texture et de la structure requerra également de l'observateur certaines précautions. La gamme de textures est en fait très étroite, allant de la texture sableuse à la texture sablo-argileuse, rarement jusqu'à l'argilo-sableuse ; il n'y a jamais de quantités notables de limon fin ; les sables sont généralement fins, usés, de forme ronde ou ellipsoïdale. Il faudra une certaine habitude pour différencier plusieurs classes de textures à l'intérieur de cette gamme étroite de variations. Il en est de même en ce qui concerne la structure qui est très peu développée dans les sols sableux et demeure souvent assez faible dans les sols sablo-argileux. Quand elle n'est pas particulière ou continue, elle est à tendance nuciforme dans le premier cas et polyédrique dans le second. Les différents stades de transition sont parfois difficiles à apprécier, surtout dès que le sol est un peu humide. Les différences de cohésion sont, par contre, très nettes en sol sec.

L'observation des autres caractères : matières organiques, accidents pédologiques, activités biologiques, enracinement, ne pose pas de problèmes spécifiques. Toutefois, l'enracinement des plantes tropicales est, encore à ce jour, assez peu connu : il n'y a pas eu, à notre connaissance, d'études systématiques dans ce domaine. Cette lacune peut conduire, dans certains cas, l'observateur à émettre des conclusions erronées : c'est ainsi que l'absence de fasciculation sur une certaine longueur du pivot de l'arachide a parfois été interprétée comme une réaction à la couche de sol traversée, alors qu'elle semble bien être une caractéristique anatomique propre à l'espèce.

B) LES MESURES ANNEXES

Elles concernent :

- la granulométrie,
- la stabilité structurale,
- la densité apparente et la porosité,
- l'humidité,
- la pénétrométrie,
- la matière organique,
- l'enracinement.

1) LA GRANULOMETRIE

L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode « pipette de Robinson », après dispersion à l'hexamétaphosphate de soude. Elle n'offre pas de difficultés pour les sols sableux à condition de partir d'un poids de terre suffisant (40 g à 50 g) pour avoir une bonne précision sur les fractions fines. Cinq fractions sont habituellement distinguées :

- 2 mm à 0,2 mm : sables grossiers,
- 0,2 mm à 0,05 mm : sables fins,
- 0,05 mm à 0,02 mm : sables très fins,
- 0,02 mm à 0,002 mm : limon,
- < 0,002 mm : argile.

Il est souvent suffisant, pour les objectifs poursuivis, de se satisfaire d'une analyse granulométrique simplifiée, comportant seulement la détermination de la fraction « argile + limon ». Pour les sols rouges faiblement ferrallitiques, A. CHAUVEL, G. MONNIER et G. PEDRO (4) (5) ont souligné les difficultés qu'il y avait, avec la méthode habituelle de dispersion, à obtenir des résultats valables ; une partie de l'argile se trouve, en effet, engagée dans les pseudo-particules cimentées par les oxydes de fer. Ces pseudo-particules se comportent alors comme des sables ; l'erreur sur la teneur en argile peut être assez grande. Toutefois, ces phénomènes ne prennent une importance réelle que dans les horizons profonds de ces sols où les teneurs en argile et en fer sont élevées. Dans les horizons superficiels du profil cultural, on peut considérer que cette cause d'erreur se manifeste peu, d'autant qu'une des conséquences de la mise en culture est précisément de détruire tout ou partie de ces pseudo-particules.

2) LA STABILITE STRUCTURALE

La détermination de l'indice d'instabilité structurale d'après la technique mise au point par HÉNIN et ses collaborateurs (10) est utilisée aussi bien en pays tempérés qu'en pays tropicaux pour caractériser l'état structural d'un sol et son évolution dans le temps sous l'influence de différents traitements agromomiques.

Rappelons que l'indice I_s est défini par le rapport :

$$I_s = \frac{(A + L) \text{ max } \%}{\frac{\Sigma \text{ agrégats } \%}{3} - 0,9 \text{ SG } \%}$$

où I_s = indice d'instabilité structurale ;

$(A + L) \text{ max}$ = fraction inférieure à 0,02 mm obtenue par le prétraitement le plus dispersant ;

$\frac{\Sigma \text{ agrégats } \%}{3}$ = la moyenne des pourcentages d'agrégats obtenus avec les prétraitements à l'alcool, au benzène et à l'air ;

SG % = le pourcentage des sables grossiers fourni par l'analyse granulométrique.

La mesure de I_s en sol sableux (80 % à 97 % de sables) offre de sérieuses difficultés, car la quantité d'agrégats de diamètre $< 0,2$ mm formés est très faible. Les valeurs numériques du numérateur et du dénominateur sont très faibles et l'erreur relative est importante. La mesure de l'indice est donc peu précise. HÉNIN et ses collaborateurs (10) font d'ailleurs toutes réserves sur sa signification lorsque le taux d'argile du sol est inférieur à 20 %, ce qui est le cas général dans notre étude. Pour ces raisons, cette détermination n'a été que peu employée. Il sera fait néanmoins état, plus loin, de quelques mesures qui ont été faites, de façon à fournir un ordre de grandeur de la valeur de I_s dans les sols étudiés.

J.-F. POULAIN (21) a tenté d'adapter la méthode au cas des sols sableux ; en remplaçant le tamisage à 200 μ par le tamisage à 100 μ , il définit un taux d'agrégation moyen par le rapport :

$$\frac{P - p}{100 - p} \times 100$$

où P = moyenne des agrégats fournis des trois prétraitements en % ;

p = pourcentage de sables de diamètre $< 100 \mu$ dans l'analyse mécanique.

Le coefficient de variation est alors de l'ordre de 10 % à 15 % pour des mesures effectuées en double, ce qui est acceptable.

Il définit, par ailleurs, un indice de stabilité à la dispersion par le rapport :

$$\frac{(A + L) \text{ total} - (A + L) \text{ benzène } \%}{(A + L) \text{ total}}$$

où $(A + L) \text{ total}$ = fraction inférieure à 0,02 mm mesurée dans l'analyse granulométrique ;

$(A + L) \text{ benzène}$ = fraction inférieure à 0,02 mm mesurée dans une analyse mécanique après prétraitement et dispersion à l'eau.

Ces deux indices peuvent être combinés en les multipliant. Cette méthode n'a pas été employée systématiquement. Quelques exemples de son application seront fournis plus loin.

La détermination de l'indice de stabilité structurale s'accompagne habituellement de celle du coefficient de filtration de DARCY. Les deux données s'interprètent d'ailleurs conjointement (10). La mesure s'effectue dans des tubes de verre de faible diamètre (environ 30 mm), sous une charge d'eau constante. Le coefficient K est donné par la formule :

$$K = \frac{e V}{H. S}$$

où e = hauteur en centimètres de la colonne de terre (4 cm à 5 cm en général) ;

V = volume en centimètres cubes recueilli au cours de la première heure de percolation ;

H = hauteur en centimètres de la colonne d'eau ;

S = section intérieure du tube en centimètres carrés ;

K est exprimé en centimètres/heure.

Dans nos sols sableux et sablo-argileux contenant une forte proportion de sables fins, ronds, à classement hétérométrique, les valeurs de K sont faibles. Le coefficient de variation s'élève facilement à 20 % ou 30 %. Pour déceler des différences significatives entre traitements agronomiques, il est nécessaire de multiplier les répétitions et d'opérer avec beaucoup de soins dans la mesure de K. Moyennant quoi, cette mesure est sans doute plus intéressante que celle de l'indice d'instabilité pour caractériser la structure des sols sableux.

3) DENSITE APPARENTE ET POROSITE

Comme nous le verrons plus loin, la connaissance de la densité apparente et de la porosité est essentielle pour la compréhension des réactions du végétal au milieu du sol. Les sols en question ne comportant pratiquement jamais de cailloux dans les horizons du profil cultural (sauf parfois quelques gravillons), la méthode du cylindre se révèle être la méthode de choix pour la mesure de la densité apparente. La technique utilisée consiste à enfoncer verticalement, sans tassement, dans la couche de sol à étudier, un cylindre de volume connu, à araser soigneusement les bords du cylindre et à peser la terre contenue dans le cylindre, avant et après dessiccation. La densité apparente est le rapport du poids de terre sèche au volume du cylindre.

Les cylindres utilisés ont des volumes compris entre 100 cc et 250 cc. Les hauteurs et les diamètres sont de 5 cm à 8 cm. L'enfoncement se fait sans difficulté dans le sol humide en s'aidant d'une planchette en bois pour répartir les pressions ; le marteau est rarement nécessaire ; la mesure est alors très précise. Le coefficient de variation s'établit généralement entre 1 % et 5 % ; l'erreur commise sur une moyenne de huit répétitions est alors de 0,02 à 0,06. Les traitements agronomiques entraînant des différences souvent beaucoup plus considérables, il est alors facile de les caractériser par les chiffres de densité apparente. Les résultats obtenus par J.-F. POULAIN (22) dans un essai factoriel combinant différents traitements de labour à différents traitements de fumure minérale illustreront ces données. Les quatre traitements principaux concernent uniquement les modalités du labour. Il y a huit répétitions par traitement principal et deux mesures de densité apparente par répétition. Ces deux mesures différaient très peu entre elles et l'étude de la distribution a été faite sur leur moyenne. Les prélèvements ont été effectués en début de saison des pluies (5 juillet) après une pluie de 28 mm tombée dans la nuit précédente. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU I - 1
MOYENNE ET PARAMÈTRES DE DISTRIBUTION DE LA DENSITÉ APPARENTE
SUR LES TRAITEMENTS DE L'ESSAI 25 SPK X LABOUR

Horizon (cm)	Traitements	Moyennes	Ecart-type	C.V. (%)	Erreur sur la moyenne
0-10	A	1,58	0,03	2,1	± 0,03
	B	1,41	0,04	2,8	± 0,03
	C	1,59	0,04	2,4	± 0,03
	D	1,43	0,07	2,6	± 0,06
10-20	A	1,60	0,05	3,3	± 0,04
	B	1,52	0,06	4,2	± 0,05
	C	1,62	0,02	1,1	± 0,02
	D	1,48	0,03	2,0	± 0,03

L'interprétation statistique par la méthode des blocs met en évidence des différences significatives entre les traitements A et C, d'une part (labour de l'année), et B et D, d'autre part (pas de labour dans l'année).

En saison sèche, par contre, l'enfoncement du cylindre se fait très mal dans le sol durci et la mesure devient difficile. Pour cette raison, très peu de mesures ont été effectuées en dehors de la saison des pluies. Le densitomètre à membrane a été essayé, mais sans résultats concluants sur les sols sableux, car les parois de la cavité sont bouillantes et la mesure du volume devient très imprécise. Les essais pourraient être repris sur des sols un peu moins sableux.

Même en saison humide surgissent certaines difficultés. La mesure de la densité apparente sur labour aussitôt après son exécution est pratiquement impossible en raison de l'hétérogénéité ; il faut attendre que les pluies « rassoient » un peu le labour. Une solution pourrait consister à mesurer la hauteur moyenne de foisonnement par rapport au guéret et la profondeur moyenne du labour. Cette technique n'a pas été utilisée jusqu'à présent.

Les binages créent également une certaine hétérogénéité dans l'horizon de surface. Après un binage, il serait nécessaire de repérer exactement les variations de la profondeur travaillée et de situer les prélèvements en conséquence. Cette précaution a été rarement prise jusqu'ici.

En sol sablo-argileux, une autre difficulté surgit, causée par l'adhésivité du sol lorsqu'il est humide : l'arasement à l'aide du couteau devient alors délicat et l'opération demande à être répétée plusieurs fois. La technique préconisée par MAERTENS (14), consistant à enfoncer horizontalement les cylindres dans les parois d'une fosse à l'aide d'un cric spécial, semble préférable dans ces sols plus argileux. Elle commence à être utilisée systématiquement en Casamance.

4) HUMIDITE ET CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

La répartition de l'humidité dans le sol est influencée par les traitements agronomiques. Pour cette raison, des relevés de profils hydriques sont effectués périodiquement ; les prélèvements sont faits à la tarière ou directement sur les parois des fosses. On mesure l'humidité pondérale au laboratoire, après dessiccation à 105°. Le genre d'études poursuivies, exigeant un grand nombre de prélèvements à faible profondeur, répartis dans l'espace, se prête mal à l'utilisation de la sonde à neutrons, instrument qui rend par ailleurs de grands services pour d'autres objectifs (établissement de bilans hydriques).

La variabilité des mesures d'humidité est assez importante : les coefficients de variation s'établissent en général entre 5 % et 15 %. La méthode requiert donc un certain nombre de répétitions pour avoir une précision suffisante.

Un exemple en sera fourni par les résultats obtenus dans l'essai cité au paragraphe précédent (22). Les mesures d'humidité ont été faites à la même date et dans les mêmes conditions que celles de densité apparente.

TABLEAU I - 2

MOYENNES ET PARAMÈTRES DE DISTRIBUTION DES HUMIDITÉS PONDÉRALES
SUR LES TRAITEMENTS DE L'ESSAI 25 SPK X LABOUR

Horizon (cm)	Traitements	Moyennes	Ecart-type	C.V. (%)	Erreur sur la moyenne
0-10	A	7,1	0,68	9,6	± 0,6
	B	8,0	0,67	8,4	± 0,6
	C	7,1	0,63	8,8	± 0,5
	D	7,7	0,81	10,4	± 0,7
10-20	A	7,7	0,16	2,1	± 0,1
	B	7,5	1,01	13,5	± 0,8
	C	7,2	0,98	13,5	± 0,8
	D	7,4	0,88	11,9	± 0,7

Comme on le voit, les coefficients de variation sont sensiblement plus élevés que pour les densités apparentes. L'interprétation statistique par la méthode des blocs met cependant en évidence des différences significatives, pour l'horizon 0-10, entre les traitements A et C, d'une part (pas de labour de l'année), B et D, d'autre part (labour dans l'année) ; si l'on compare les humidités volumiques, et non plus pondérales, ces différences n'apparaissent plus.

Les valeurs de pF sont peu influencées par les traitements agronomiques, sinon à long terme. Elles n'ont donc pas été mesurées dans nos études, sauf pour caractériser les sols. Les mesures sont faites à la presse à membrane et à la centrifugeuse.

La perméabilité, par contre, est une caractéristique susceptible de varier fortement suivant les interventions culturales. Malheureusement, les méthodes de mesure sur le terrain ou au laboratoire sur échantillons non remaniés rendent assez mal compte de ces variations : les résultats sont souvent assez éloignés de ce que l'on peut observer lors de l'infiltration d'une pluie sur le terrain. La seule méthode qui rende compte réellement de l'évolution de l'infiltration au cours d'une pluie est une méthode indirecte fondée sur l'établissement de la courbe du débit de ruissellement en fonction du temps. Connaissant, par le pluviographe, la courbe du débit de la pluie, on peut en déduire celle de l'infiltration réelle. Cette méthode n'est valable que pour les terrains dont la pente est suffisante pour qu'il y ait apparition du ruissellement ; elle suppose, par ailleurs, un appareillage assez complexe et ne peut être généralisée. Des exemples de résultats obtenus par cette technique seront fournis plus loin.

A défaut de mesures valables dans l'absolu, les techniques habituelles de mesure de la perméabilité, inspirées des méthodes de PORCHET (20), de MUNTZ (15) ou de VERGIÈRE (3) peuvent fournir des indications relatives intéressantes et permettre un classement des sols suivant les techniques culturales éprouvées. A cet égard, la méthode de PORCHET, consistant à suivre la descente du plan d'eau dans un trou cylindrique d'une dizaine de centimètres de diamètre et d'une cinquantaine de profondeur, est celle qui convient le moins bien au genre d'études poursuivies ici. Dans les sols sableux ou sablo-argileux, elle fournit des valeurs de perméabilité très élevées ; par ailleurs, les couches sous-jacentes à la couche travaillée participant ici de façon importante à l'infiltration, la méthode se révèle fort peu sensible pour différencier

les sols soumis à divers traitements agronomiques. Les méthodes de MUNTZ étudiant l'infiltration de l'eau sur le sol en place et sous charge constante, et celle de VERCIÈRE établissant la courbe de filtration au laboratoire, sous charge constante et sur échantillon non remanié, conviennent beaucoup mieux pour cet objectif. Cependant, elles exigent un certain nombre de précautions et beaucoup de répétitions pour fournir des résultats valables ; pour cette raison, elles n'ont pas été utilisées systématiquement.

5) LA PENETROMETRIE

La « reprise en masse » des terrains est un phénomène général en saison sèche. Tous les sols, même les plus sableux, deviennent très cohérents au fur et à mesure qu'ils perdent leur humidité. Ainsi qu'on le verra plus loin, cette cohésion devient telle que tout travail profond du sol, au cours de cette période, exige des forces de traction très élevées que ne peuvent généralement pas fournir les attelages animaux (bovins et, encore moins, équins).

Toutefois, les interventions de l'agronome sont susceptibles d'influer fortement sur le développement de cette cohésion. C'est pourquoi il a paru nécessaire de dépasser le stade des appréciations qualitatives faites à l'occasion des observations de profils culturaux, pour tenter de quantifier cette grandeur. Pour ce faire, on a fait appel à la mesure de la résistance à la pénétration.

Les facteurs de résistance statique d'une pièce enfoncée dans le sol sont en effet, d'après S. HÉNIN (9), cité par J.-F. POULAIN et R. TOURTE (23) :

- la cohésion des éléments entre eux ;
- la consistance (mesurée par le travail nécessaire pour déformer le sol par unité de volume déformée) ;
- l'adhérence du sol à la pièce travaillante.

On peut considérer qu'étant donné la forme choisie pour la pièce travaillante (cône en acier), la nature texturale des sols et les faibles humidités auxquelles on opère (déformation et adhérence faibles), le facteur cohésion l'emporte de très loin sur les autres facteurs. On est en droit, dans ce cas particulier, de considérer que mesure de cohésion et mesure de résistance à la pénétration sont pratiquement synonymes.

La technique de mesure, très simple, est inspirée de celle employée par S. HÉNIN (6) ; l'instrument utilisé au Sénégal (construit par J. DUBOIS) consiste en un barreau métallique terminé en pointe, qu'un poids tombant d'une hauteur donnée enfonce dans le sol.

L'appareil actuellement utilisé pourrait être amélioré par l'adoption d'une pointe débordant légèrement sur la tige métallique. Ce dispositif devrait réduire notablement les forces de frottement.

On trace la courbe : travail effectué/profondeur d'enfoncement. En négligeant les forces de frottement du poids sur le barreau et en veillant à ce que le barreau s'enfonce bien verticalement, le travail effectué est directement proportionnel au nombre de percussions. La force de résistance à la pénétration est la dérivée de cette courbe. Pour une profondeur donnée, on peut ainsi calculer la force moyenne qu'il a fallu déployer pour effectuer ce déplacement. Ce mode d'expression présente l'avantage d'offrir une analogie avec la mesure des forces de traction nécessaires pour effectuer tel ou tel travail du sol.

La mesure étant ponctuelle, elle est naturellement très sensible à l'hétérogénéité du sol. Sur la superficie habituelle d'un essai, soit environ un quart d'hectare, le coefficient de variation s'établit entre 25 % et 40 %. Il est donc nécessaire de procéder à de nombreuses répétitions si l'on veut mettre en évidence des différences significatives entre traitement. Par ailleurs, certaines précautions sont à prendre en ce qui concerne le choix des poids. On utilise en effet, pour la percussion, des poids variant entre 2 kg à 10 kg. Le choix du poids dépend de la cohésion du terrain à étudier ; avec un poids très élevé, la mesure manquera de précision ; trop faible, la mesure sera longue et fastidieuse. Le choix étant fixé, il sera préférable de s'y tenir pour la durée de l'expérimentation : bien que, théoriquement, les résultats soient identiques quel que soit le poids utilisé, l'expérience prouve qu'il peut se produire des différences systématiques, les chiffres de travail pour une profondeur donnée étant d'autant plus élevés que le poids est plus faible. Ceci peut tenir soit à l'intervention des forces de frottement, négligées dans le calcul, soit à de légères modifications dans la procédure. Quoi qu'il en soit, l'intérêt des mesures résidant surtout dans leur comparaison plus que dans la détermination des valeurs absolues, il est préférable de s'en tenir à une procédure constante.

Des résultats de mesures de pénétrométrie, effectuées par J.-F. POULAIN sur l'essai déjà mentionné aux paragraphes précédents (22), illustreront le parti que l'on peut tirer de cette méthode pour la concrétisation de l'effet, sur le sol, de divers traitements agronomiques et fourniront des indications sur la variabilité de la mesure. Ces résultats sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU I - 3
FORCES DE RÉSISTANCE MOYENNES A LA PÉNÉTRATION SUR 20 CM ET 40 CM
DANS L'ESSAI 2^e S × P × K × LABOUR (JUIN 1967)

Indices	Traitements	Forces moyennes (kg)	Ecart-type (kg)	Coefficient de variation	Erreur sur la moyenne (kg)	
					32 répétitions	4 répétitions
FO-20	A	454	128	28,1	± 46	± 204
	B	320	80	25,0	± 29	± 127
	C	255	92	35,9	± 33	± 146
	D	285	100	35,0	± 36	± 159
FO-40	A	507	148	29,2	± 53	± 235
	B	320	180	26,7	± 37	± 162
	C	340	97	28,6	± 35	± 154
	D	374	94	25,3	± 34	± 149

Les traitements principaux A, B, C correspondaient aux différentes modalités d'application du traitement « labour », à savoir :

- A : témoin sans labour ;
- B : pas de labour en 1965 ; labour en 1966 ;
- C : labour en 1965 ; labour en 1966 ;
- D : labour en 1965 ; pas de labour en 1966.

Les mesures ont été faites en juin 1967, soit en fin de saison sèche, chaque traitement principal étant répété huit fois sur le terrain ; les mesures de pénétrométrie ont été répétées quatre fois sur chaque parcelle : soit 32 répétitions en tout par traitement principal.

Comme on le voit, les coefficients de variation sont élevés et s'étagent entre 25 % et 35 %. Une trentaine de répétitions est bien nécessaire pour qu'une différence d'une cinquantaine de kilogrammes entre traitements puisse être significative. L'interprétation statistique par la méthode de la randomisation simple fait apparaître des différences hautement significatives entre le traitement A, d'une part, et les traitements B, C, D, d'autre part ; l'effet des labours des années précédentes influe donc de façon sensible sur la résistance à la pénétration.

De très nombreuses mesures de pénétrométrie ont été effectuées sur les essais de l'IRAT/Sénégal. L'humidité du sol ayant une influence évidente sur son ameublissement (7), les mesures de pénétrométrie sont couplées, la plupart du temps, à des relevés de profils hydriques.

Pour comparer plusieurs milieux, HÉNIN, cité par DEMOLON (6) a introduit la notion de coefficient d'ameublissement. Il se définit ainsi. Si WA est le travail accompli pour enfoncer la pointe à une profondeur donnée dans un sol A idéal, considéré comme parfaitement meuble, et WB le même travail pour la même profondeur dans un sol B quelconque, le coefficient d'ameublissement du sol B sera fourni par le rapport WA/WB.

Cette notion de coefficient d'ameublissement nous a paru difficilement utilisable pour comparer les traitements de techniques culturales dans diverses expérimentations. Celles-ci avaient en effet en commun un traitement témoin, représentant un sol non travaillé, que l'on cherchait à comparer à diverses modalités de travail du sol. Dans ces conditions, l'ameublissement était toujours moins élevé sur le témoin que sur les autres traitements. C'est pourquoi nous avons préféré substituer, à la notion de coefficient d'ameublissement celle de « coefficient de cohésion » qui exprime exactement l'inverse.

Si WT est le travail à accomplir pour enfoncer la pointe à une profondeur donnée dans un sol témoin non ameubli et Wx le même travail pour la même profondeur dans un sol travaillé, le coefficient de cohésion du sol x par rapport au témoin sera fourni par le rapport : Wx/WT, exprimé en pourcentage.

6) L'ENRACINEMENT

Dans ce domaine également, il est nécessaire de dépasser le stade de l'appréciation qualitative pour aborder celui de la mesure quantitative. Dans ce but, divers procédés ont été utilisés ; ils peuvent se classer en deux groupes distincts, suivant que les prélèvements intéressent la totalité du système racinaire de la plante ou certaines fractions seulement.

Dans le premier groupe, la technique la plus simple consiste à extirper du sol, par arrachement, le système racinaire de la plante à étudier. Cette technique a été utilisée par les physiologistes (2) (11) (12) pour mesurer les mobilisations minérales dans les différentes parties de la plante. En fait, quelles que soient les précautions prises dans l'arrachage, cette technique est assez rudimentaire et ne permet une appréciation correcte ni du poids global des racines ni de leur répartition dans les horizons du sol ; elle conduit souvent à une sous-estimation importante du poids global de racines.

A cet égard, des résultats beaucoup plus valables ont été obtenus sur arachide par ORCIAS (19) qui a procédé en plein champ à un déterrage soigneux et progressif des racines en s'aidant d'un jet d'eau à faible débit : il s'agit là d'une technique très longue et très minutieuse qui ne peut être utilisée dans la pratique courante. GAUTREAU (8) a simplifié la procédure en enfonçant autour du pied d'arachide un cylindre de grand diamètre et de profondeur suffisante ; on déterre ensuite le cylindre et on procède au lavage des racines comme précédemment. La méthode est beaucoup plus rapide et presque aussi sûre (il peut y avoir une légère erreur à cause des quelques racines se trouvant en dehors du cylindre). VIDAL (24) a employé une procédure analogue sur mil, mais en faisant pousser cette plante en bacs cylindriques de vastes dimensions.

Plus récemment, NICOU et CHOPART (16) ont étudié l'enracinement du sorgho dans le sol en place, en utilisant la méthode suivante : isolement du cube de terre contenant les racines du pied concerné ; entourage du cube par une cage grillagée ; introduction à force, dans le sol, de tiges métalliques destinées à maintenir le système racinaire en place ; lavage au jet d'eau des racines.

NICOU et SÉCUIY (17) ont également réalisé des prélèvements globaux d'enracinement sur différentes variétés de riz pluvial. L'enracinement par pied étant alors nettement moindre que celui du sorgho, il n'était pas nécessaire de prendre autant de précautions.

Ces méthodes peuvent être considérées comme des méthodes de référence, fournissant des indications sûres en ce qui concerne les poids, les longueurs, les grosseurs et la répartition des racines. Elles restent cependant difficiles à mettre en œuvre dans la pratique courante, lorsqu'il s'agit d'apprécier la réaction de l'enracinement d'une culture aux divers traitements agronomiques d'un essai au champ. Il est alors nécessaire de faire appel aux techniques du second groupe, où les prélèvements n'intéressent qu'une partie du système racinaire. Le principe consiste à prélever, à différentes profondeurs, des volumes connus de terre, à trier les racines par lavage, à les peser après séchage. D'autres mesures peuvent également être faites : surface, longueur et densité, notamment. Lorsque la culture ne couvre pas uniformément le sol (cas d'une jachère ou prairie), il est nécessaire de situer les prélèvements non seulement dans le plan vertical, par rapport à la surface du sol, mais aussi dans le plan horizontal, par rapport à la ligne de semis ou au centre du pied. Il convient alors de normaliser la technique de prélèvement pour chaque culture.

Les sondes de prélèvements peuvent être enfoncées verticalement ou horizontalement dans le sol. BLONDEL (1) a utilisé la première procédure en enfonçant verticalement dans le sol un tube cylindrique de 6 cm de diamètre. Cependant, il semble préférable d'adopter la deuxième procédure recommandée par MAERTENS (13). Elle a été employée systématiquement par NICOU et THIROUIN qui l'ont exposée en détails (18). Ils ont utilisé des cylindres à bouts tranchants, de 5 cm de diamètre et 10 cm de hauteur. Un repère à l'extérieur du cylindre permet d'apprécier un volume intérieur de 100 cc. Après creusement d'une petite fosse d'observation, le cylindre est enfoncé horizontalement dans la paroi de la fosse ; l'enfoncement se fait à l'aide d'un poussoir par percussion au marteau, jusqu'au trait repère délimitant le volume de 100 cc. Au laboratoire, il y a ensuite séparation des racines et de la terre par lavage et tamisage ; les racines sont séchées et pesées. Les résultats sont exprimés en grammes de racines par décimètre cube de sol. Toutes les indications sont données, dans l'étude précitée (18), sur la situation des prélèvements dans le cas des différentes cultures.

Les prélèvements sont habituellement effectués à trois niveaux : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm ou 25-35 cm. Les deux premiers prélèvements se trouvent dans la couche labourée, le troisième en dessous.

Les dates de prélèvement varient suivant les cultures : fin septembre pour les jachères et engrais verts (juste avant l'enfouissement) ; pour les céréales : époques correspondant au stade grain laiteux. Ce choix ne paraît d'ailleurs pas entièrement satisfaisant et il est prévu d'effectuer une étude spéciale sur l'évolution de l'enracinement au cours du temps, de façon à déterminer la période d'enracinement maximum, ou tout au moins le plus représentatif ; cette étude paraît surtout nécessaire pour le mil et pour la jachère, dont l'enracinement peut régresser sensiblement en fin de cycle végétatif.

Les coefficients de variation pour les prélèvements intéressant une situation donnée (coordonnées horizontales et verticales fixées) sont élevés : de l'ordre de 30 % à 40 %. Cependant, les différences induites par les traitements agronomiques peuvent être telles qu'elles se révèlent être statistiquement significatives, malgré la variabilité de la mesure.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BLONDEL (D.), 1964. Etude de l'évolution du profil cultural sous une rotation quadriennale et de l'influence du travail du sol sur les cultures.
IRAT/Sénégal, doc. miméo.
- (2) BOUYER (S.), 1949. Croissance et nutrition minérale de l'arachide.
L'Agr. Trop., IV, 229-65.
- (3) BOURRIER (J.), 1954. Mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols à la Station expérimentale d'hydraulique agricole (Vergière).
Bull. HS 21, multi. 14 p.
- (4) CHAUVEL (A.), MONNIER (G.), 1967. Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie. Examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux.
C.R. Acad. Sciences, t. 264, 1969-1972.
- (5) —, PEDRO (G.), 1967. Considération sur l'analyse granulométrique et le problème de la constitution minéralogique élémentaire de certains sols tropicaux; nécessité et limites de la déferrification.
C.R. Acad. Sciences, t. 264, 2089-92.
- (6) DEMOLON (A.), 1952. Dynamique du sol.
Dunod, éd., Paris.
- (7) GAUDEFROY-DEMOMBYNES (Ph.), CHARREAU (C.), 1961. Possibilité de conservation de l'humidité dans le sol pendant la saison sèche; influence corrélative sur le degré d'ameublissement du sol.
L'Agr. Trop., XVI, 3, 238-54.
- (8) GAUTREAU (J.), 1963. Compte rendu des essais « Systèmes radiculaires ».
Rapport IRHO/Sénégal, Station de Bambey, 16-23.
- (9) HÉNIN (S.), 1937. Signification des résultats obtenus avec les sondes dynamométriques.
Ass. Int. de la science du sol, Zurich.
- (9 bis) —, 1939. Influence des facteurs climatiques sur la stabilité structurale d'un sol de limon.
Ann. Agr., p. 301.
- (10) —, FÉODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. Le profil cultural. Principes de physique du sol.
Soc. d'Ed. des Ingénieurs Agricoles, Paris.
- (11) JACQUINOT (L.), 1964. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du sorgho congossane (*Sorghum vulgare*, var. *guineensis*).
L'Agr. Trop., XIX, 8-9, 669-722.
- (12) —, Croissances et alimentations minérales comparées de quatre variétés de niébé (*Vigna unguiculata* WALP.).
L'Agr. Trop., XXII, 6-7, 575-640.
- (13) MAERTENS (C.), 1964. Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures.
Science du sol, 2.
- (14) —, 1965. Deux méthodes de détermination de la densité du sol en place. Leurs possibilités d'utilisation.
Bull. de l'AFES, août 1965.
- (15) MÜNTZ (A.), FAURE (L.), LAINÉ (E.), 1905. Etude sur la perméabilité des terres, faite en vue de l'irrigation.
Ann. Dir. Hydraulique, 33-45.
- (16) NICOU (R.), CHOPART (J.L.). Etude de l'enracinement d'un sorgho à pailles courtes (63-18) dans deux conditions de fertilité; comparaison, en fertilité forte, avec un sorgho à pailles longues (congossane).
A paraître.
- (17) —, SÉGUY (L.), HADDAD (G.), 1970. Etude de l'enracinement de différentes variétés de riz pluvial en présence ou en absence de travail du sol.
L'Agron. Trop., XXV, 8, 639-59.
- (18) —, THIROUIN (H.), 1968. Mesures sur la porosité et l'enracinement. Premiers résultats.
IRAT/Sénégal, doc. miméo, 52 p.
- (19) ORGIAS (A.), 1951. Recherches préliminaires sur le système racinaire de l'arachide.
Oléagineux, VI, 10, 571-5.

- (20) PORCHET (M.), LAFERRÈRE (H.), 1935. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols en place.
Dir. Eaux et Génie Rural, Minist. Agric., annales, fasc. 64.
- (21) POULAIN (J.-F.), 1960. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (sol « dior ». Les principaux facteurs de leur fertilité.
Rapport de stage ORSTOM dact., 2 t., 175 p.
- (22) —, 1965-1968. Compte rendu de l'essai 2^e SPK × Labour.
Rapports annuels IRAT/Sénégal. Division d'Agropédologie.
- (23) —, TOURTE (R.), 1969. Influence de la préparation profonde du sol en sec sur la réponse des mils et sorghos à la fumure azotée (sols sableux de la zone tropicale sèche).
Doc. mult. IRAT/Sénégal, 26 p. Com. à la conf. Céréale (Zaria, Nigeria, 13-16 oct. 1969).
- (24) VIDAL (P.), 1963. Croissance et nutrition minérale des mils *Pennisetum* cultivés au Sénégal.
Thèse ; fac. des Sciences, Dakar.
L'Agr. Trop., XVIII, 6-7, 591-668.

CHAPITRE II

LES FACTEURS NATURELS : CLIMATS ET SOLS ET LEUR INFLUENCE SUR L'ÉVOLUTION DU PROFIL CULTURAL

On passera d'abord rapidement en revue les facteurs climatiques et pédologiques de la zone d'étude, puis on étudiera l'action du climat sur les sols et les conséquences qui en résultent pour l'évolution du profil cultural au cours de l'année.

A) LE CLIMAT

Le climat et son incidence dans la production végétale dans la zone semi-aride d'Afrique occidentale ont été étudiés par COCHEMÉ et FRANQUIN (15) dans le projet conjoint FAO/UNESCO/OMM d'enquête agroclimatologique. Seuls seront décrits ici brièvement les facteurs climatiques susceptibles d'influencer directement l'état physique du sol et les techniques culturales. On examinera successivement :

- les pluies : hauteur et répartition ;
- l'évapotranspiration potentielle et ses variations ;
- le bilan hydrique ;
- les périodes de disponibilité en eau pour la végétation ;
- le caractère érosif des pluies.

1) LES PLUIES : HAUTEUR ET REPARTITION

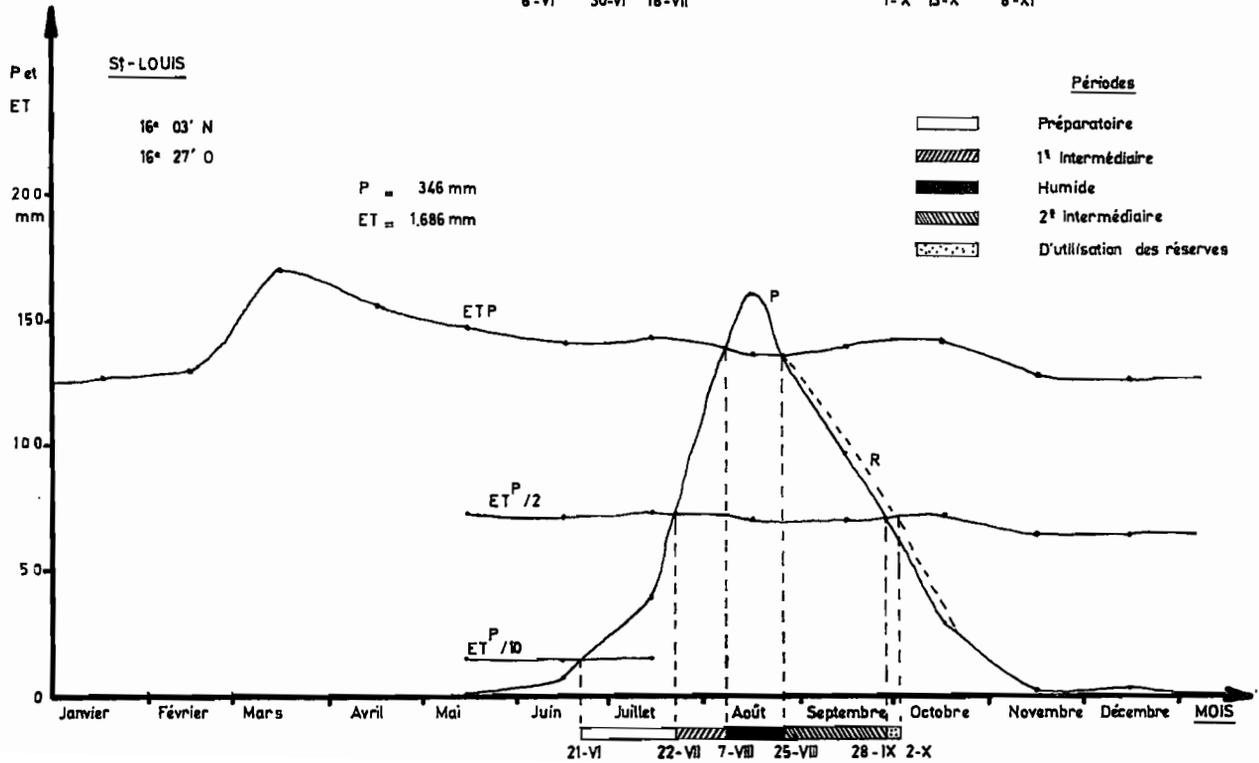
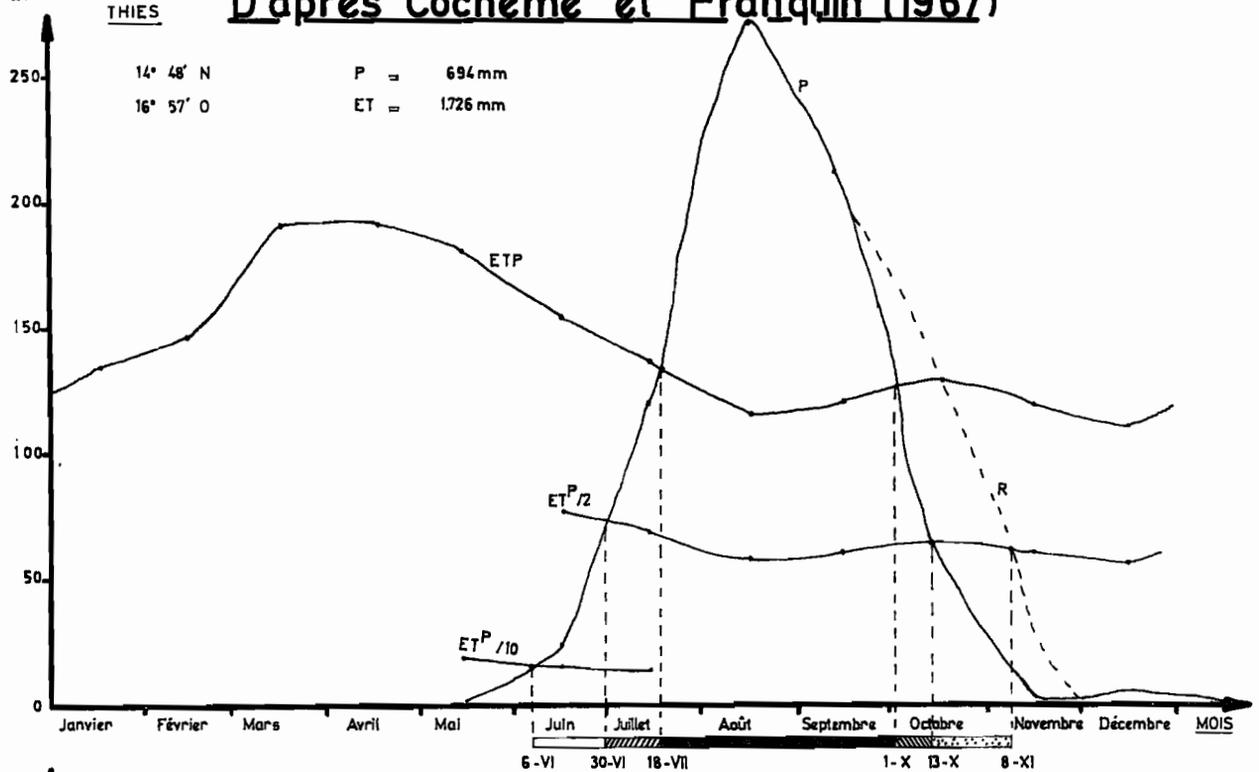
Les pluviométries annuelles des zones semi-arides varient entre 250 mm et 1.600 mm. Les isohyètes sont grossièrement parallèles aux latitudes et la pluviométrie présente un fort gradient d'augmentation en allant du nord vers le sud. Ce gradient est plus accusé pour le Sénégal que pour l'intérieur de la zone : en parcourant 100 km le long d'un méridien, la pluviométrie augmente de 300 mm au Sénégal contre 150 mm à l'intérieur de la zone. C'est ainsi qu'au Sénégal, sur une distance de 500 km, on passe d'une hauteur de pluie moyenne annuelle de 330 mm à Dagana, au nord, à 1.580 mm à Ziguinchor, au sud. Les pluviométries annuelles moyennes des stations de Bambey et Séfa, où ont eu lieu la plupart des expérimentations relatées par la suite, sont respectivement de 650 mm et 1.300 mm.

Il existe une corrélation linéaire entre la pluviométrie annuelle et le nombre de jours de pluie, ce qui correspond à une moyenne de 14 mm par jour de pluie (15). Les chutes de pluie se produisent à des heures très variables de la journée. La variabilité interannuelle est plus forte au Sénégal que dans l'ensemble de la zone. Elle est d'autant plus forte que la hauteur moyenne de pluie est plus faible. Pour l'ensemble de la zone, lorsque cette hauteur moyenne est supérieure à 500 mm, la variabilité ne dépasse pas 20 %. Au Sénégal, par contre, il faut attendre le seuil de 800 mm pour que la variabilité s'abaisse au-dessous de 20 % ; encore trouve-t-on à ce niveau quelques stations dont la variabilité dépasse 25 %. Au-dessous de 500 mm, la variabilité peut être beaucoup plus élevée. Elle est de l'ordre de 40 % pour le mois d'août et peut atteindre 80 % ou 100 % pour les mois de début et de fin de saison. Cependant, la répartition des pluies dans l'année est généralement conforme, grosso modo, au même schéma (graphiques II - 1 et II - 2).

GRAPHIQUE N° II-1

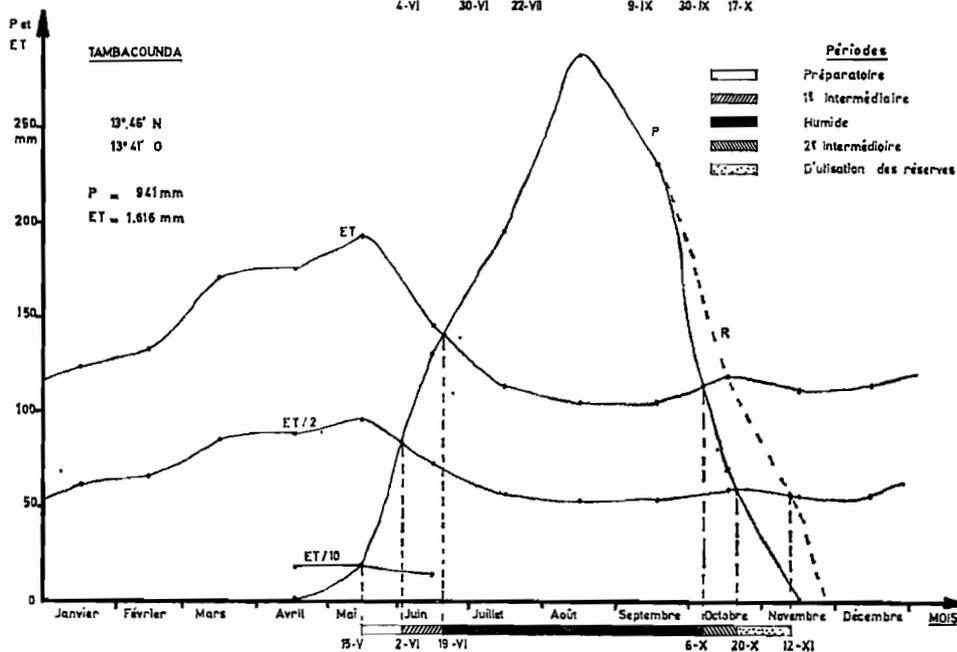
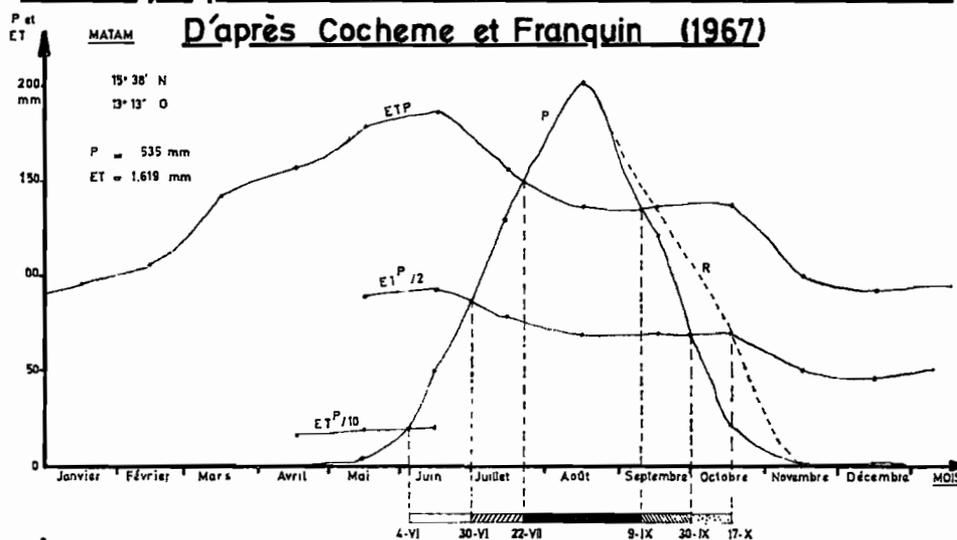
Bilans Hydriques à Thiés et St Louis (Période 1953- 62)

D'après Cochemé et Franquin (1967)



GRAPHIQUE N° II - 2

Bilans Hydriques à Matam et Tambacounda (Période 1953-62)



La courbe mensuelle de pluviométrie présente un maximum accusé en août ; ce maximum est d'autant plus marqué que la pluviométrie annuelle est plus faible ; il est, en outre, particulièrement accusé au Sénégal par rapport à l'intérieur de la zone (influence de la proximité de la mer). La courbe est grossièrement symétrique de part et d'autre du maximum d'août ; cependant, au Sénégal, la pluviométrie de septembre est généralement plus élevée que celle de juillet. L'étalement de la saison des pluies varie en même temps que l'augmentation de la pluviométrie, mais dans des limites plus restreintes ; le nombre de mois pluvieux (recevant plus de 20 mm en moyenne) passe de 4 au nord de la zone à 6 au sud.

2) L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ET SES VARIATIONS

L'ETP a été calculée, par la formule de PENMAN, en trente-cinq endroits de la zone (15).

La formule comporte deux composantes :

énergie nette : obtenue en soustrayant de la radiation globale la quantité d'énergie réfléchie dans l'espace ;

terme aérodynamique, rendant compte de l'énergie advective (dépendant du pouvoir asséchant de l'air et de son mouvement).

Il s'avère que, dans la zone étudiée, la composante aérodynamique varie beaucoup plus que la composante de l'énergie nette. L'ETP annuelle varie de 1.500 mm au sud de la zone à 2.200 mm. Les rapports pluie/ETP vont de 0,8 dans le sud à 0,2 dans le nord. La courbe de variations annuelles passe par deux minima : en août et décembre, le premier étant plus accusé que le second, et deux maxima : un grand maximum avant la saison des pluies et un petit après (octobre). Les graphiques II - 1 et II - 2 fournissent cette courbe de variations pour quatre stations du Sénégal. La variabilité interannuelle de l'ETP est beaucoup plus faible que celle de la pluviométrie.

3) LE BILAN HYDRIQUE

La confrontation des courbes de pluviométrie et d'ETP permet de suivre les variations du bilan hydrique au cours de l'année. Sur les graphiques II - 1 et II - 2 figurent ces courbes pour les quatre stations du Sénégal : Saint-Louis, Matam, Thiès et Tambacounda.

Ces graphiques ont été établis d'après les données fournies par COCHEMÉ et FRANQUIN (15). Il s'agit là de bilans hydriques ne tenant pas compte des caractéristiques physiques du sol et du relief qui jouent un rôle important dans le bilan hydrique réel.

Pendant la majeure partie de l'année, l'ETP se trouve être très supérieure à la pluviométrie : il y a toujours quatre à six mois d'aridité complète entre novembre et mai. Vers le mois d'août, par contre, il y a toujours une période plus ou moins longue (trois semaines à quatre mois) où la pluviométrie se trouve être supérieure à l'ETP. L'excédent peut même être très important dans les régions méridionales et atteindre 500 mm à 600 mm ; il y a alors non seulement recharge des réserves du sol, mais drainage et ruissellement.

4) LES PERIODES DE DISPONIBILITE EN EAU POUR LA VEGETATION

Pour la croissance végétale, les périodes de disponibilité en eau constituent un facteur au moins aussi important que la quantité globale d'eau reçue. Une méthode graphique utilisée par COCHEMÉ et FRANQUIN permet, pour chaque station, de définir ces périodes. Sur les graphiques du bilan hydrique (II - 1 et II - 2), on trace les courbes ETP/2 et ETP/10. Les projections sur l'axe des abscisses (temps) des intersections des courbes ETP, ETP/2 et ETP/10 avec la courbe de pluviométrie délimitent un certain nombre de périodes que COCHEMÉ et FRANQUIN définissent ainsi :

- la période « préparatoire », où la pluviométrie est comprise entre ETP/10 et ETP/2 ; cette période correspond à la période de préparation du sol en vue du semis ;
- la « première période intermédiaire », où P est compris entre ETP/2 et ETP ; cette période correspond aux semis ;
- la période « humide » où la pluviométrie est supérieure à l'ETP ;
- la « deuxième période intermédiaire », où P est compris entre P et ETP/2 ;
- la période d'« utilisation des réserves du sol » (ligne « R » sur les graphiques). Pour définir cette période, les auteurs ont tablé sur une hauteur d'eau utilisable du sol égale partout à 100 mm. La récolte a lieu, en général, à la fin de cette période.

La saison de végétation est donc comprise entre le début de la première période intermédiaire et la fin de la période d'utilisation des réserves.

Comme on peut le constater sur les graphiques, les positions dans le temps et surtout les durées respectives de ces différentes périodes peuvent être très variables. Le tableau ci-dessous illustrera cette donnée.

TABLEAU II - 1
DURÉE, EN JOURS, DES DIFFÉRENTES PÉRIODES DE DISPONIBILITÉ EN EAU
pour la végétation dans quatre stations du Sénégal

Stations	Préparatoire P	Premier intermé- diaire. I ₁	Humide K	Deuxième intermé- diaire I ₂	Réserve sol R	Saison végétation I ₁ +H+I ₂ +R	Date début I ₁
Saint-Louis	31	16	18	34	4	72	22 juillet
Matam	26	23	49	21	17	110	30 juin
Thiès	24	18	74	13	25	130	30 juillet
Tambacounda	18	17	109	14	23	163	2 juin

Pour l'ensemble de la zone, la durée de la période préparatoire varie de 18 jours à 50 jours. Un point important à noter est qu'elle est notablement plus courte au Sénégal (généralement moins de 20 jours) que dans l'ensemble de la zone : la réalisation des façons culturales de préparation du sol ne s'en trouve pas facilitée. La durée des périodes intermédiaires est assez constante partout : 25 jours en moyenne pour la première, 35 jours pour la seconde (en tenant compte de la période d'utilisation des réserves). Quant à la période humide, elle varie considérablement, de 0 jour au nord à 140 jours au sud. Au total, la durée de la saison de végétation variera de 70 jours à 200 jours.

Ces données ne constituent cependant que des moyennes calculées sur une période de dix ans. La variabilité interannuelle des durées respectives des différentes périodes est élevée ; elle l'est d'autant plus que l'on va vers le nord, dans le sens de la diminution des pluies. Elle est spécialement élevée au Sénégal par rapport au reste de la zone. Pour la durée globale de la saison des pluies, on a pu calculer que le coefficient de variation passait de 10 % à Tambacounda (940 mm) à 48 % à Saint-Louis (350 mm) (1).

La date de démarrage et la durée de la saison des pluies étant des données essentielles pour la production végétale et pour le choix des systèmes de culture, nous avons jugé utile d'apporter quelques précisions dans ce domaine pour les stations de Bambey et Séfa, au Sénégal, où se sont déroulées la plus grande part des expérimentations concernant les techniques culturales et leur influence sur le sol. Ces deux stations sont caractérisées par des régimes pluviométriques assez différents, puisque Bambey reçoit en moyenne 650 mm de pluie par an contre 1.300 mm à Séfa. La détermination de la saison des pluies a été faite ici d'une manière différente de la méthode graphique utilisée précédemment. On a considéré que la saison des pluies commençait lorsque 40 mm de pluie étaient tombés (autorisant le semis) et s'achevait avec les dernières pluies totalisant plus de 20 mm (pluies facilitant l'arrachage de l'arachide et les travaux de déchaumage).

Ce sont sur ces bases qu'ont été dressés les tableaux II - 2 et II - 3.

TABLEAU II - 2

NOMBRE D'ANNÉES PENDANT LESQUELLES PLUS DE 40 MM DE PLUIE SONT TOMBÉS AVANT LE :

Stations		Dates	10 juin	20 juin	30 juin	10 juillet	20 juillet	30 juillet
Bambey	Nombre		1	6	13	24	34	38
	Fréquences (%)		2,6	15,4	33,3	61,5	87,2	97,5 *
Séfa	Nombre		9	15	19	19	19	19
	Fréquences (%)		53,4	86,6	100,0	100,0	100,0	100,0

* En 1966, il a fallu attendre au-delà du 30 juillet (jusqu'au 18 août) pour avoir une pluviométrie cumulée supérieure à 40 mm.

TABLEAU II - 3

NOMBRE D'ANNÉES PENDANT LESQUELLES PLUS DE 20 MM DE PLUIE SONT TOMBÉS APRÈS LE :

Stations		Dates	20 septembre	1 ^{er} octobre	10 octobre	20 octobre	1 ^{er} novembre	10 novembre	20 novembre	1 ^{er} décembre
Bambey	Nombre		39	31	16	8	3	2	1	0
	Fréquences (%) ..		100,0	79,5	41,0	20,4	7,7	5,1	2,6	0
Séfa	Nombre		19	19	16	10	5	1	1	1
	Fréquences (%) ..		100,0	100,0	84,2	52,6	26,4	5,3	5,3	5,3

Les chiffres concernent trente-neuf années d'observations à Bambey (1930-1968) et dix-neuf à Séfa (1950-1968).

A la lecture de ces tableaux, il apparaît que, près d'une année sur deux, la saison agricole commence dans la première décade de juin, à Séfa, alors qu'elle ne débute pas avant la première décade de juillet à Bambey.

Au moins une année sur deux également, la saison des pluies s'achève avant le 10 octobre à Bambey, alors qu'à Séfa elle se prolonge jusqu'au 1^{er} novembre.

Il y a donc environ trois mois et demi de pluies utiles à Bambey en moyenne, contre cinq mois à Séfa. Il est évident que, dans ces conditions, les problèmes de techniques culturales et de travail du sol ne se poseront pas de la même manière dans les deux stations.

Il y a lieu, par ailleurs, de remarquer que les variations pluriannuelles de la pluviométrie sont beaucoup plus faibles et la répartition des pluies est bien meilleure à Séfa qu'à Bambey. Cette dernière station est donc très nettement désavantagée par rapport à la première et se trouve dans une position presque « marginale » pour l'agriculture.

5) L'ÉROSIVITÉ DES PLUIES

La pluie qui tombe sur le sol produit un certain effet mécanique : tassement du sol, délitage des mottes, arrachement et dislocation des particules terreuses, rejaillissement de ces particules. Or, c'est un fait d'observation courante que deux pluies de même hauteur peuvent avoir sur le sol des effets très différents : l'une peut s'infiltrer en totalité, sans modifier sensiblement le profil cultural, tandis que l'autre peut, au contraire, provoquer un ruissellement important, des manifestations de battance accentuées, et, à la limite, une érosion plus ou moins grave. D'autres paramètres que la hauteur globale interviennent donc pour déterminer l'influence d'une pluie sur le sol et sur le profil cultural. On pense en premier lieu à l'intensité, qui est en effet un paramètre important, mais il en existe d'autres : taille et vitesse de chute des gouttes (les deux caractères étant liés), distribution des gouttes, durée de la pluie... Certains de ces paramètres sont difficiles à apprécier et, par ailleurs, le problème reste de définir leurs importances respectives et de les combiner dans un indice d'« érosivité » ou d'« agressivité » de la pluie.

Or, le travail mécanique réalisé par la pluie est sous la dépendance de l'énergie cinétique de cette pluie. WISCHMEIER et SMITH (34) ont montré, par ailleurs, qu'il existait de bonnes corrélations entre cette grandeur et l'érosion mesurée en parcelles expérimentales. Par la suite, WISCHMEIER (33) a proposé un autre indice d'agressivité qui offrait, avec l'érosion, des corrélations meilleures encore que l'énergie cinétique.

Avant d'examiner ces deux caractéristiques, on fournira quelques précisions sur les intensités de pluie mesurées au Sénégal, puisque ce paramètre intervient aussi bien, comme on le verra, dans le calcul de l'énergie cinétique que dans celui de l'indice d'érosivité de WISCHMEIER. On donnera, enfin, un aperçu sur l'indice climatique de FOURNIER (23) et son application.

a) L'INTENSITÉ DES PLUIES.

L'intensité est un paramètre particulièrement important de la pluie. Son rôle est double :

- elle détermine les modalités d'infiltration de l'eau dans les sols ; lorsqu'elle dépasse un certain seuil, il y a refus d'absorption et ruissellement ;
- elle intervient dans le calcul de l'énergie cinétique et dans celui de tous les indices d'agressivité.

Il est donc important d'avoir une bonne connaissance de ce paramètre. Cette connaissance s'acquiert notamment par l'utilisation du pluviographe à augets basculants, instrument qui fournit l'enregistrement de la courbe des hauteurs cumulées de pluie en fonction du temps.

COCHEMÉ et FRANQUIN (15), reprenant les conclusions d'une étude de DELORME (19) concernant une dizaine de stations de la zone semi-aride d'Afrique de l'Ouest, estiment que l'intensité moyenne des pluies dans cette zone est de l'ordre de 4 mm/h ; cette moyenne est deux à quatre fois plus élevée qu'en Europe de l'Ouest ou dans le bassin méditerranéen. Cependant, outre que cette valeur nous semble encore nettement sous-estimée pour le Sénégal, l'intérêt même de cette notion de moyenne nous paraît assez discutable. Il convient tout d'abord de s'entendre sur sa définition, c'est-à-dire sur la durée exacte de la pluie. La plupart des pluies tropicales sont provoquées, soit par des orages, soit par le passage de lignes de grains ; elles comportent habituellement trois phases distinctes : une phase de démarrage, assez rapide ; une période plus ou moins longue où la pluie tombe avec de fortes intensités ; une phase de décroissance avec « une queue de pluie » qui peut être très longue. Si l'on attend le moment où il ne tombe plus une seule goutte de pluie, on arrive à obtenir une durée de pluie très grande et, partant, une intensité moyenne assez faible. D'autre part, dans la perspective où nous nous plaçons, il importe bien davantage de connaître les valeurs maxima et la durée des intensités élevées que la moyenne globale des intensités. Il est, en fait, plus intéressant d'apprécier la « médiane » plutôt que la « moyenne » des intensités.

Dans ce but, les enregistrements de trois pluviographes de l'IRAT/Sénégal ont été systématiquement dépouillés pendant une dizaine d'années et les tranches de pluie d'intensité homogène rangées par classes d'intensité (12). Le premier pluviographe a été installé à Bambey en 1959 ; les deux autres ont été installés à Séfa, en 1964 et 1965, à proximité des parcelles de mesure de l'érosion ; ils sont distants l'un de l'autre d'environ 5 km.

Les tableaux II - 4 et II - 5 résument les résultats obtenus en fournissant la répartition moyenne mensuelle et annuelle des pluies par classes d'intensité.

Les mesures couvrent une période de dix ans à Bambey (1959-1968) et de quatre ans à Séfa (1965-1968). Pour Séfa, on a calculé la moyenne des mesures effectuées à chacun des deux pluviographes. Dans le tableau II - 4, les résultats sont exprimés en millimètres et, dans le tableau II - 5, ils le sont en pour cent de la tranche d'eau mensuelle ou annuelle.

TABLEAU II - 4

RÉPARTITION MOYENNE DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITÉ A BAMBEY ET SÉFA *
Résultats exprimés en hauteur d'eau (mm)

Classes	Etendue de la classe (mm/h)	Bambey 1959-1968						Séfa 1965-1968					
		Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct. Nov.	Année	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct. Nov.	Année
1	0-10	8,1	31,5	58,4	48,9	16,0	163,3	31,0	52,1	102,3	109,2	47,2	342,2
2	10-20	3,2	15,0	27,5	23,0	7,7	76,4	11,7	16,2	30,4	38,5	25,0	121,8
3	20-30	1,1	6,2	29,7	20,3	4,8	62,1	15,8	21,7	25,4	39,8	19,5	122,2
4	30-40	2,1	8,3	28,1	15,1	3,6	57,1	6,5	23,6	22,3	32,4	16,1	100,9
5	40-50	0,3	8,7	20,0	18,0	5,0	52,0	10,0	24,9	19,5	39,6	20,3	114,3
6	50-60	1,7	12,4	14,9	11,4	1,2	41,7	4,5	29,2	20,6	30,0	14,0	98,3
7	60-70	0,0	8,9	14,3	4,4	1,6	29,1	3,3	8,5	11,6	30,3	17,1	70,2
8	70-80	0,0	3,5	9,4	4,4	0,7	18,0	5,0	11,4	10,4	31,7	3,4	61,9
9	80-90	4,8	1,9	3,0	1,0	0,0	11,7	1,9	11,1	20,9	15,8	2,9	52,6
10	90-100	0,0	0,0	5,4	3,1	0,3	8,8	7,0	8,7	12,1	9,8	6,5	44,1
11	> 100	0,0	8,2	15,3	17,9	0,0	41,4	14,7	27,3	13,0	26,3	4,6	85,9
Total		21,3	104,6	226,9	167,5	40,9	561,6	11,4	234,7	287,9	403,4	177,0	1.214,4

* Séfa : moyenne de deux pluviographes distants de 5 km.

TABLEAU II - 5

RÉPARTITION MOYENNE DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITÉ A BAMBEY ET SÉFA (1965-1968) *
Résultats exprimés en % de la tranche d'eau mensuelle ou annuelle

Classe	Etendue de la classe (mm/h)	Juin		Juillet		Août		Septembre		Oct. - Nov.		Année	
		Bambey	Séfa	Bambey	Séfa	Bambey	Séfa	Bambey	Séfa	Bambey	Séfa	Bambey	Séfa
1	0-10	38,0	27,8	30,2	22,3	25,8	35,6	29,3	27,2	39,2	26,9	29,0	28,2
2	10-20	15,0	10,5	14,4	6,9	12,1	10,6	13,7	9,5	18,9	14,1	13,6	10,0
3	20-30	5,2	14,2	5,9	9,2	13,1	8,8	12,1	9,9	11,7	11,0	11,1	10,1
4	30-40	9,9	5,8	7,9	10,1	12,4	7,7	9,0	8,0	8,8	9,1	10,2	8,3
5	40-50	1,4	9,0	8,3	10,6	8,8	6,8	10,7	9,8	12,2	11,5	9,3	9,4
6	50-60	8,0	4,0	11,9	12,4	6,6	7,1	6,8	7,4	2,9	7,9	7,4	8,1
7	60-70	0,0	3,0	8,5	3,6	6,3	3,8	2,6	7,5	3,9	9,7	5,2	5,8
8	70-80	0,0	4,5	3,3	4,9	4,1	3,6	2,6	7,9	1,7	1,9	3,2	5,1
9	80-90	22,5	1,7	1,8	4,7	1,7	7,3	0,6	3,9	0,0	1,6	2,1	4,3
10	90-100	0,0	6,3	0,0	3,7	2,4	4,2	1,9	2,4	0,7	3,5	1,6	3,6
11	> 100	0,0	13,2	7,8	11,6	6,7	4,5	10,7	6,5	0,0	2,6	7,3	7,1

* Séfa : moyenne de deux pluviographes distants de 5 km.

A partir de ces données et des courbes de fréquences cumulées, on a calculé les intervalles des quartiles. Ceux-ci figurent dans le tableau II - 6.

TABLEAU II - 6

LIMITES DES QUARTILES DES COURBES MENSUELLES ET ANNUELLES DE FRÉQUENCES
DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITÉ (mm/h) A BAMBEY ET SÉFA *

Localisation et période	Limite supérieure du	Période					
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre Novembre	Année
Bambey 1959-1968	1 ^{er} quartile	6,6	8,3	9,7	8,5	6,2	8,6
	2 ^e quartile	18,0	29,2	29,2	25,8	15,7	26,7
	3 ^e quartile	56,9	57,0	52,2	50,3	35,9	52,4
	Tranche de pluie (mm)	21,3	104,6	226,9	167,5	40,9	561,6
Séfa 1965-1968	1 ^{er} quartile	9,0	13,9	7,0	9,2	9,3	8,9
	2 ^e quartile	28,2	41,4	24,3	34,3	28,2	32,0
	3 ^e quartile	71,6	69,7	57,7	64,3	53,0	61,6
	Tranche de pluie (mm)	111,4	234,7	287,9	403,4	177,0	1.214,4

* Séfa : moyenne de deux pluviographes distants de 5 km.

A la lecture de ces différents tableaux, on constate qu'une forte proportion des pluies tombe avec des intensités élevées, aussi bien à Bambey qu'à Séfa. A Bambey, la moitié des pluies annuelles tombe avec une intensité supérieure à 27 mm/h et le quart avec une intensité supérieure à 52 mm. A Séfa, les chiffres sont encore plus élevés ; ils sont respectivement de 32 mm et 62 mm.

Il y a assez peu de variations suivant les mois de l'année dans les courbes de fréquences d'intensités. On note cependant que ce sont les mois de juin, et surtout de juillet, qui comportent la plus forte proportion d'intensités élevées ; c'est en fin de saison, en octobre-novembre, que l'on trouve, par contre, les plus fortes proportions de faibles intensités.

La variabilité interannuelle de la répartition des intensités est assez importante. Les tableaux II - 7 et II - 8 en donnent une idée en fournissant les valeurs des quartiles des courbes de fréquences annuelles d'intensités pour chaque année et chaque poste pluviographique à Bambey (II - 7) et à Séfa (II - 8).

TABLEAU II - 7
VARIATIONS INTERANNUELLES DES LIMITES DES QUARTILES DE LA COURBE ANNUELLE
DE FRÉQUENCES DES PLUIES PAR CLASSE D'INTENSITÉ (mm/h) A BAMBEY

Limite supérieure du	Années										Moyenne
	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	
1 ^{er} quartile	6,2	9,8	26,0	10,5	9,0	5,9	6,3	8,0	9,9	8,5	8,6
2 ^e quartile	14,5	32,3	44,2	31,2	32,5	14,0	17,4	25,8	20,6	25,2	26,7
3 ^e quartile	25,4	59,3	96,5	46,6	53,1	28,2	47,2	47,8	48,6	52,8	52,4
Tranche de pluie enregistrée (en mm)	406,5	758,5	661,1	565,1	498,3	500,4	575,0	566,6	343,7	814,6	561,6

TABLEAU II - 8
VARIATIONS INTERANNUELLES DES LIMITES DES QUARTILES DE LA COURBE ANNUELLE
DE FRÉQUENCES DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITÉ (mm/h) A SÉFA

Limite supérieure du	1965		1966		1967		1968		Moyennes interannuelles		
	SU *	P 63 **	SU	P 63	SU	P 63	SU	P 63	SU	P 63	Générale
1 ^{er} quartile	6,8	7,1	8,8	9,8	10,6	16,7	9,1	9,6	8,4	9,4	8,9
2 ^e quartile	29,3	31,6	30,3	31,1	32,7	40,2	28,2	34,0	30,1	34,0	32,0
3 ^e quartile	54,4	63,6	59,9	62,8	67,1	72,0	59,0	61,3	58,8	64,8	61,6
Tranche de pluie enregistrée (en mm)	1.400,3	1.716,1	1.221,7	1.248,8	1.354,9	1.435,2	725,5	607,3	1.175,5	1.251,9	1.213,2

* SU : Poste pluviographique de la sous-unité (Soukoutoto).

** P.63 : Poste pluviographique de la parcelle 63.

Comme on le voit, la variabilité est nettement plus grande à Bambey qu'à Séfa. A Bambey, l'année 1961 se signale par une proportion particulièrement élevée de fortes intensités. C'est d'ailleurs au cours de cette même année 1961 que l'on a enregistré, à Bambey, les records absolus d'intensités : 740 mm/h (37 mm d'eau en 3 minutes) au cours de la pluie du 12 juillet et 335 mm/h (33,5 mm en 6 minutes) au cours de la pluie du 2 septembre. L'année suivante, on a également noté une intensité de 360 mm/h (18 mm en 3 minutes, le 29 juillet 1962). Ce sont là des intensités exceptionnellement élevées, mais presque chaque année, aussi bien à Bambey qu'à Séfa, on trouve des valeurs d'intensité supérieures à 100 mm/h.

Dans l'ensemble, les intensités de pluie relevées au Sénégal sont donc très élevées. Il se peut qu'il y ait, dans ce pays, une plus forte proportion de fortes intensités qu'à l'intérieur du continent : les fortes intensités sont surtout observées lors des pluies d'orages et celles-ci paraissent être particulièrement nombreuses au Sénégal. Comme on le verra, les fortes intensités se révèlent être supérieures à la capacité d'infiltration du sol humide : il y a donc apparition du ruissellement ; d'autre part, il faut s'attendre, avec ces fortes intensités, à obtenir des valeurs d'énergie cinétique et d'indices d'agressivité particulièrement élevées : c'est ce qui sera confirmé plus loin.

Des études sur les relations intensité-durée de la pluie ont été réalisées par BRUNET-MORET (8) en Afrique de l'Ouest ; elles concernent 58 stations du Sénégal au Tchad. Les principaux résultats sont rapportés sous forme graphique dans l'ouvrage de COCHEMÉ et FRANQUIN (15). Il est ainsi possible d'apprécier, pour un intervalle de temps défini, l'intensité moyenne correspondante ; les graphiques comportent une famille de droites correspondant chacune à une pluie de hauteur définie.

Ce genre d'études n'a pas été entrepris à l'IRAT/Sénégal. Cependant, des déterminations d'intensité maximum pendant 30 minutes consécutives ont été effectuées systématiquement pour toutes pluies supérieures à 10 mm. On a cherché à établir des corrélations entre hauteur de pluie et intensité maximum pendant 30 minutes consécutives ; 497 pluies ont été étudiées, soit :

- 173 à Bambey pendant la période de 1960-1968 ;
- 143 à Séfa (parcelles 63) pour la période 1965-1968 ;
- 181 à Séfa (Soukoutoto) pour la période 1964-1968.

Des régressions linéaires ont été établies pour chacun des trois groupes. Les différences entre ces régressions n'étant pas significatives, les résultats ont été rassemblés dans une régression générale dont l'équation est la suivante :

$$y = 0,69 (\pm 0,07) x + 11,2 (\pm 1,3) \text{ avec } r = 0,6875 *$$

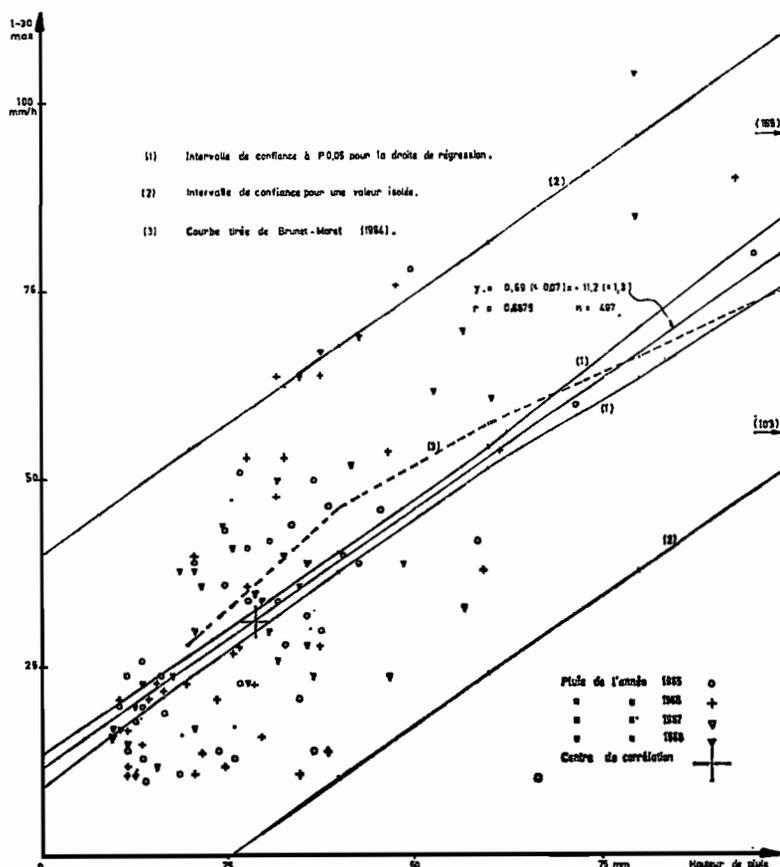
où x = hauteur de pluie en millimètres,

y = intensité maximum pendant 30 minutes consécutives en millimètres/heure.

La probabilité du hasard pour cette régression est inférieure à une chance sur un milliard.

La droite de régression et les intervalles de confiance à la probabilité de P 0,05 pour la droite de régression et pour une valeur isolée ont été figurés sur le graphique II - 3. Pour ne pas surcharger le graphique, seules les pluies enregistrées à Séfa (parcelle 63), soit 30 % de l'échantillon global, ont été reportées. On a également tracé une courbe correspondant aux résultats obtenus par BRUNET-MORET (8) pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest. Comme on le voit, la concordance est assez bonne entre cette courbe et la droite de régression.

GRAPHIQUE N° II-3
Relations entre Hauteur de Pluie et Intensité en 30^{mn} consécutives
Séfa (Parcelle 63) 1965 - 1968



Etant donné la taille importante de l'échantillon, la position de la droite de régression est fixée avec précision, mais la corrélation d'ensemble est assez lâche ; elle est difficilement utilisable pour déduire, d'une valeur isolée de hauteur de pluie, la connaissance de l'intensité maximum pendant 30 minutes au cours de cette pluie. C'est ainsi que pour une pluie de 50 mm, on a 95 chances sur 100 pour que l'intensité maximum en 30 minutes soit comprise entre 17 mm/h et 74 mm/h, avec une moyenne théorique de 46 mm/h.

* Les distributions marginales des deux variables suivent probablement une loi normale. Cependant, cette normalité n'ayant pas été préalablement vérifiée, l'emploi du coefficient r n'est pas absolument rigoureux ; on l'a fait figurer à titre indicatif.

b) L'ÉNERGIE CINÉTIQUE DES PLUIES.

Cette grandeur est importante à connaître puisqu'elle conditionne le travail mécanique réalisé par la pluie et se trouve en relation avec les pertes de sol mesurées sur les parcelles expérimentales (34).

Le calcul de l'énergie cinétique d'une pluie naturelle suppose connues la taille des gouttes (déterminant leur masse et leur vitesse limite de chute) et leur quantité respective, ainsi que la quantité totale d'eau tombée. Des études ont été faites en ce sens, mais les procédés de mesure sont inapplicables dans la pratique courante.

D'autres procédés de mesure directe faisant appel soit à des balances de torsion, soit à des dispositifs acoustiques (bruit émis par l'impact des gouttes), ont été utilisés avec plus ou moins de succès, mais sont également d'un emploi incommode.

WISCHMEIER et SMITH (34) ont alors proposé une relation générale entre l'intensité I et l'énergie cinétique E_c d'une pluie. Cette relation est de type logarithmique : $E_c = A + B \log I$.

Cette formule est applicable à une tranche de pluie d'intensité homogène. Le calcul de l'énergie cinétique globale d'une pluie naturelle par cette méthode suppose au préalable le découpage de la pluie en tranches d'intensité homogènes, le calcul de l'énergie cinétique pour chaque tranche et la sommation de ces valeurs.

Ce mode de calcul présente un intérêt pratique considérable puisqu'il peut être réalisé facilement à partir des enregistrements d'un pluviographe à augets basculants.

C'est cette méthode qui a été pratiquée à l'IRAT/Sénégal depuis 1960 (12) ; le détail de la procédure a été exposé par ailleurs (10).

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux II - 9 pour Bambey et II - 10 pour Séfa.

TABLEAU II - 9
VALEURS ANNUELLES ET MENSUELLES DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE DES PLUIES
À BAMBEY, DE 1960 À 1968

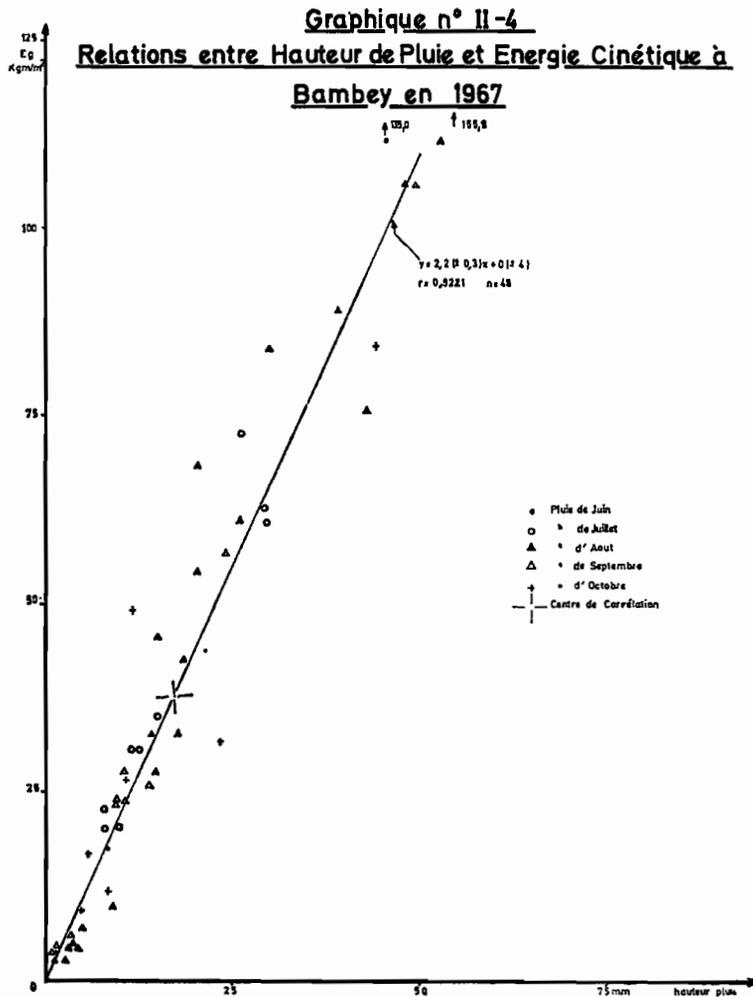
Energie cinétique (en kgm/m^2)								
Années	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre Novembre	Année	Pluie annuelle (mm)	Eg/p
1960	197,0	379,5	720,9	643,8	19,3	1.963,5	745,4	2,63
1961	69,8	635,6	689,8	373,6	0,0	1.768,8	624,9	2,83
1962	77,3	189,2	855,1	176,4	49,1	1.347,1	537,1	2,51
1963	36,3	379,5	299,6	335,1	195,2	1.245,7	529,1	2,35
1964	54,1	362,6	375,3	342,9	18,0	1.153,9	527,0	2,19
1965	9,9	122,0	877,7	221,6	45,4	1.276,6	580,1	2,20
1966	24,2	9,5	397,4	559,9	301,6	1.292,6	563,4	2,29
1967	21,5	502,3	606,2	620,1	225,9	1.976,0	861,7	2,29
1968	0,0	217,8	88,7	365,8	103,8	776,1	336,7	2,31
Moyenne	54,5	310,9	545,6	404,4	106,5	1.421,9	552,1	2,58

TABLEAU II - 10
VALEURS ANNUELLES ET MENSUELLES DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE DES PLUIES
À SÉFA, DE 1964 À 1968

Station pluviométrique	Année	Energie cinétique (en kgm/m^2)						Pluie annuelle (mm)	Rapport Eg/p
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre Novembre	Année		
Soukoutoto	1964	275,5	624,6	798,1	540,8	237,9	2.476,9	1.240,3	2,00
	1965	202,1	351,0	949,1	1.475,0	231,7	3.208,9	1.381,9	2,32
	1966	457,9	481,3	664,1	810,7	558,0	2.981,9	1.222,5	2,44
	1967	257,3	954,7	693,5	1.018,0	400,1	3.315,1	1.416,9	2,34
	1968	209,1	362,2	191,1	728,5	229,8	1.720,7	729,3	2,36
	Moyenne	280,4	554,8	659,2	914,6	331,5	2.740,7	1.198,2	2,29
Parcelle 63	1965	162,5	866,9	990,1	1.377,4	366,7	3.763,6	1.699,4	2,21
	1966	434,8	476,6	611,1	805,3	731,3	3.059,6	1.249,0	2,45
	1967	162,9	817,5	1.071,8	1.046,3	523,8	3.622,3	1.507,9	2,40
	1968	145,7	323,9	121,5	522,3	240,0	1.353,4	611,4	2,21
Moyenne	226,5	621,2	698,8	937,8	465,4	2.949,7	1.266,9	2,33	
Ensemble	Moyenne	256,4	584,2	676,7	924,8	391,0	2.833,3	1.228,6	2,31

L'énergie cinétique développée par les pluies pendant une année est en moyenne de 1.420 kgm/m² à Bambey (période 1960-1968) et 2.830 kgm/m² à Séfa (période 1964-1968), soit une variation du simple au double, qui correspond sensiblement à celle de la pluviométrie. On peut d'ailleurs noter, d'après ces tableaux, que les variations de l'énergie cinétique suivent étroitement celles de la pluviométrie ; le rapport énergie cinétique/pluviométrie annuelle, fournissant la valeur moyenne de l'énergie cinétique développée par millimètre de pluie tombée, est à peu près constant d'une année sur l'autre. Pour les périodes considérées, la valeur moyenne de ce rapport est un peu plus élevée à Bambey qu'à Séfa : 2,58 contre 2,31. Mais il faut tenir compte du fait qu'à Bambey, de 1960 à 1962, les valeurs de ce rapport étaient nettement plus grandes que pendant le reste de la période. Si l'on ne considère que la période commune d'observation, de 1964 à 1968, la valeur moyenne du rapport pour Bambey est alors de 2,26, soit très proche du chiffre de 2,31 trouvé pour Séfa. On peut admettre que pour les cinq dernières années, chaque millimètre de pluie tombée au Sénégal a développé en moyenne une énergie cinétique de 2,3 kgm/m².

Les variations mensuelles de l'énergie cinétique paraissent bien également suivre les fluctuations des hauteurs de pluie. On peut, cependant, se demander s'il en est bien toujours ainsi et si, pour certaines périodes de l'année, le rapport énergie cinétique/hauteur de pluie n'accuse pas des déviations systématiques par rapport à la moyenne.

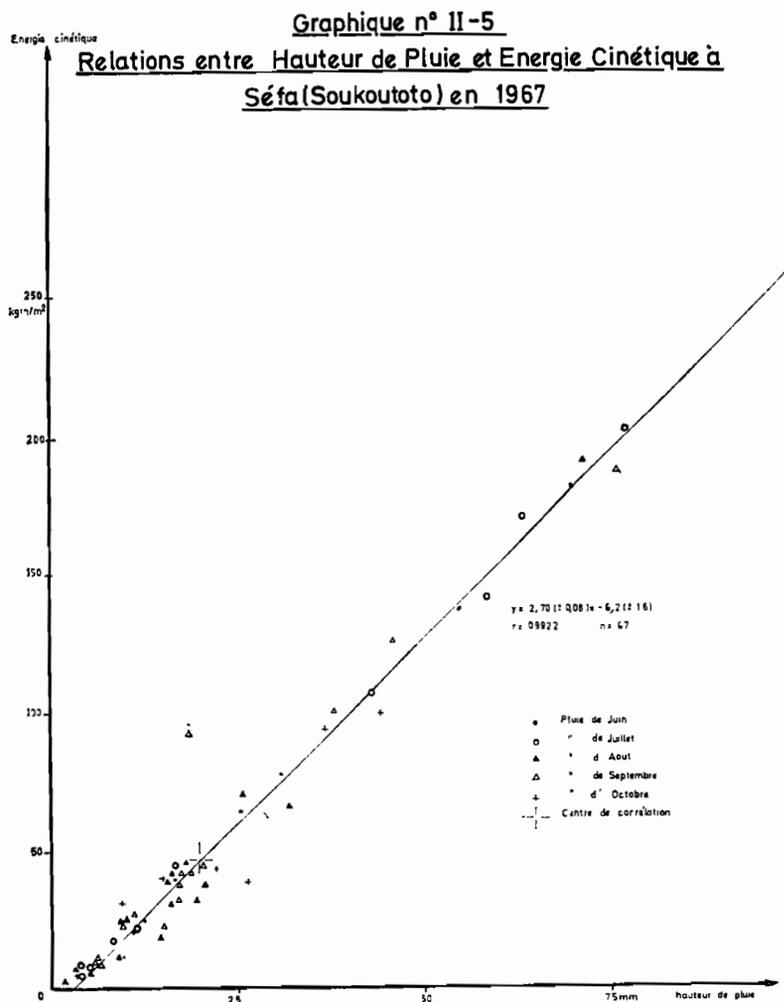


Pour répondre à cette question, on a établi des graphiques en portant, pour chaque pluie, la hauteur de pluie en abscisse et l'énergie cinétique en ordonnée ; des figurations différentes ont été adoptées pour chaque mois de l'année. Les graphiques II - 4 et II - 5 concernant l'année 1967 à Bambey et Séfa (Soukoutoto) en fournissent des exemples. Comme on peut le constater, les points s'alignent tous suivant une droite moyenne et il n'y a pas de groupement particulier correspondant à tel ou tel mois. Il en est

ainsi tous les ans (18 observations : années \times stations). Les régressions linéaires ont été calculées chaque année pour chaque poste ; elles sont toutes très hautement significatives (probabilité du hasard toujours inférieure à une chance sur un milliard). Les droites de régression passent toutes très près de l'origine, mais, très généralement, légèrement en dessous : il n'y a donc proportionnalité parfaite que si l'on effectue un changement d'origine en soustrayant pour chaque pluie une certaine hauteur de pluie, variant entre 2 mm et 5 mm. Les valeurs des coefficients de régression s'étagent entre 2,20 et 2,70, valeurs très proches des rapports moyens trouvés précédemment. Le fait qu'il y ait grossièrement proportionnalité entre hauteur de pluie et énergie cinétique implique que, pour toutes les pluies, la moyenne arithmétique des énergies cinétiques de chaque tranche d'intensité homogène soit sensiblement égale à une constante. Celle-ci, dont la valeur est de 2,3 kgm/m², correspond à l'énergie développée par 1 mm de pluie tombant avec une intensité de 17 mm/h (d'après la formule de WISCHMEIER et SMITH, citée plus haut).

Du point de vue de l'énergie cinétique développée, tout se passe donc comme si toutes les pluies tombaient avec une intensité moyenne de 17 mm/h (à quelques fluctuations près).

Puisqu'il y a ici proportionnalité presque parfaite entre hauteur de pluie et énergie cinétique, ce dernier paramètre ne peut guère mieux rendre compte de l'agressivité des pluies que le premier. Pour cette raison, il lui a été substitué un autre indice d'agressivité : l'index-pluie de WISCHMEIER.



c) L'INDEX-PLUIE DE « WISCHMEIER ».

Les auteurs américains considèrent, également, que l'énergie cinétique d'une pluie ne suffit pas à rendre compte, à elle seule, de l'érosivité de cette pluie. WISCHMEIER (33), après avoir analysé de très nombreux résultats expérimentaux de mesures de l'érosion aux Etats-Unis, a proposé un nouvel indice pour caractériser l'érosivité de la pluie. Cet indice, appelé « index-pluie », est le produit de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes, divisé par 100 :

$$R = E_g \times I \max \times \frac{1}{100}$$

Dans cette formule, les unités employées sont américaines :

E_g est exprimé en pied-tonne/acre,

I est exprimé en pouces/heure,

R est exprimé en tonnes/acre.

Le calcul a été adapté aux unités métriques (10). Il a été effectué systématiquement à l'IRAT/Sénégal pour toutes les pluies tombées à Bambey depuis 1960 et à Séfa depuis 1964. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux II - 11 et II - 12.

TABLEAU II - 11
VALEURS MENSUELLES ET ANNUELLES DE L'INDEX-PLUIE
A BAMBEY, DE 1960 A 1968

Année	Index-pluie (en t/ha)						Hauteur de pluie annuelle (mm)	Rapport IP/P annuel
	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre Novembre	Année		
1960	199,0	230,4	48,3	359,4	2,6	839,7	745,4	1,13
1961	24,6	381,5	480,6	268,7	0,0	1.155,4	624,9	1,85
1962	47,4	12,0	493,8	75,0	8,4	636,6	537,1	1,19
1963	8,8	216,2	97,8	105,4	47,3	475,5	529,7	0,90
1964	12,6	163,9	78,4	134,9	3,2	393,0	527,0	0,75
1965	0,7	30,6	648,1	37,6	10,6	727,6	580,1	1,25
1966	4,0	0,5	219,2	227,3	72,0	523,0	563,4	0,92
1967	2,7	179,4	361,7	183,0	46,4	773,2	862,7	0,90
1968	0,0	144,9	28,9	159,7	34,9	368,4	336,7	1,09
Moyenne	37,5	151,0	273,0	172,3	28,2	654,7	589,7	1,11

TABLEAU II - 12
VALEURS MENSUELLES ET ANNUELLES DE L'INDEX-PLUIE
A SÉFA, DE 1964 A 1968

Stations pluviographiques	Année	Index-pluie (en t/ha)						Hauteur de pluie annuelle (mm)	Rapport IP/P annuel
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre Novembre	Année		
Soukoutoto	1964	126,5	403,0	637,0	241,1	89,5	1.497,1	1.240,3	1,21
	1965	84,4	301,6	351,9	795,7	71,7	1.604,9	1.381,9	1,16
	1966	163,9	458,3	179,0	431,3	229,0	1.461,5	1.222,5	1,20
	1967	89,1	724,7	500,2	482,8	158,5	1.955,3	1.461,9	1,34
	1968	145,6	110,5	89,8	295,2	51,8	692,9	729,3	0,95
	Moyenne	121,9	399,6	351,6	449,2	120,1	1.442,4	1.207,2	1,19
Parcelle 63	1965	146,9	591,1	379,3	902,6	163,3	2.183,3	1.699,4	1,28
	1966	257,7	405,5	187,4	324,5	375,2	1.550,3	1.299,3	1,24
	1967	79,2	522,9	847,4	480,5	216,4	2.146,4	1.507,9	1,42
	1968	128,0	107,6	32,8	204,4	67,8	540,6	611,4	0,88
	Moyenne	153,0	406,8	361,7	478,0	205,7	1.605,2	1.267,0	1,27
Ensemble	Moyenne	135,7	402,8	356,1	462,0	158,1	1.524,5	1.233,6	1,23

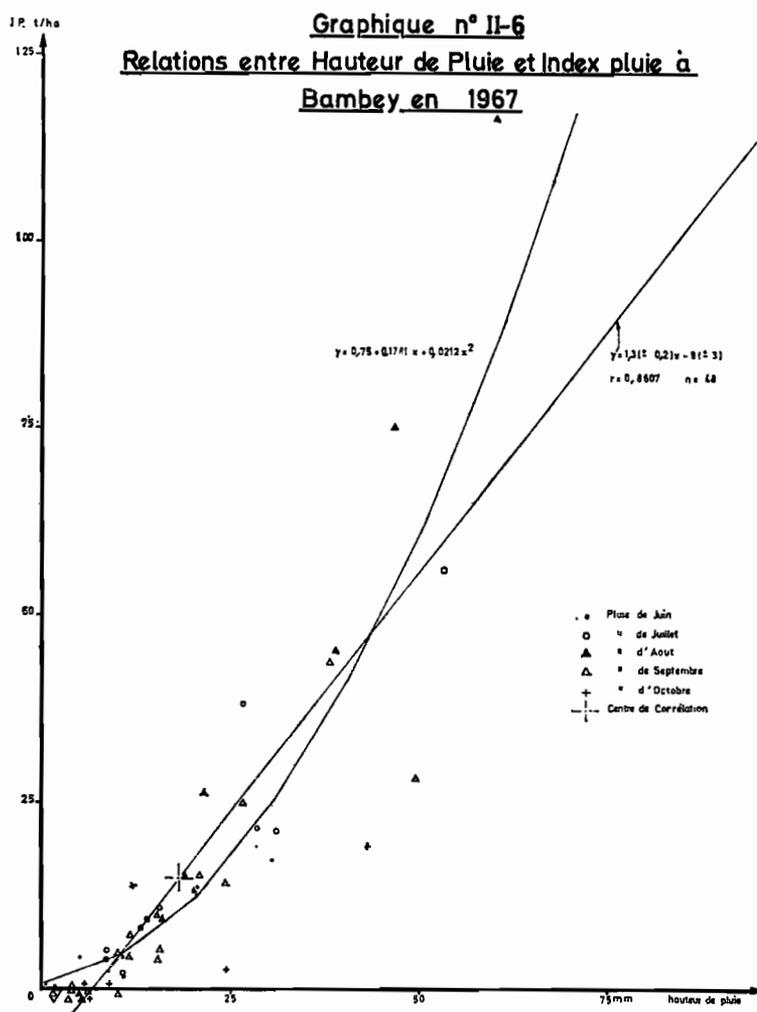
Le rapport index-pluie/pluie est d'ailleurs particulièrement élevé au Sénégal : il est en moyenne de 1,23 à Séfa et de 1,11 à Bambey, alors que la valeur correspondante est de 0,83 à Bouaké, en Côte-d'Ivoire (3). A hauteur égale, les pluies sont donc, en moyenne, un peu plus érosives à Séfa qu'à Bambey. Les tableaux II - 11 et II - 12 fournissent des indications sur les variations interannuelles de ce rapport : 0,88 à 1,42 à Séfa ; 0,75 à 1,85 à Bambey, pendant les périodes considérées. Les variations interannuelles du rapport sont plus accusées que dans le cas de l'énergie cinétique. Il en est de même des variations intermensuelles. Pour les périodes considérées, la gamme de variations des valeurs mensuelles de ce rapport va de 0,48 à 2,57 à Séfa et 0,19 à 2,04 à Bambey.

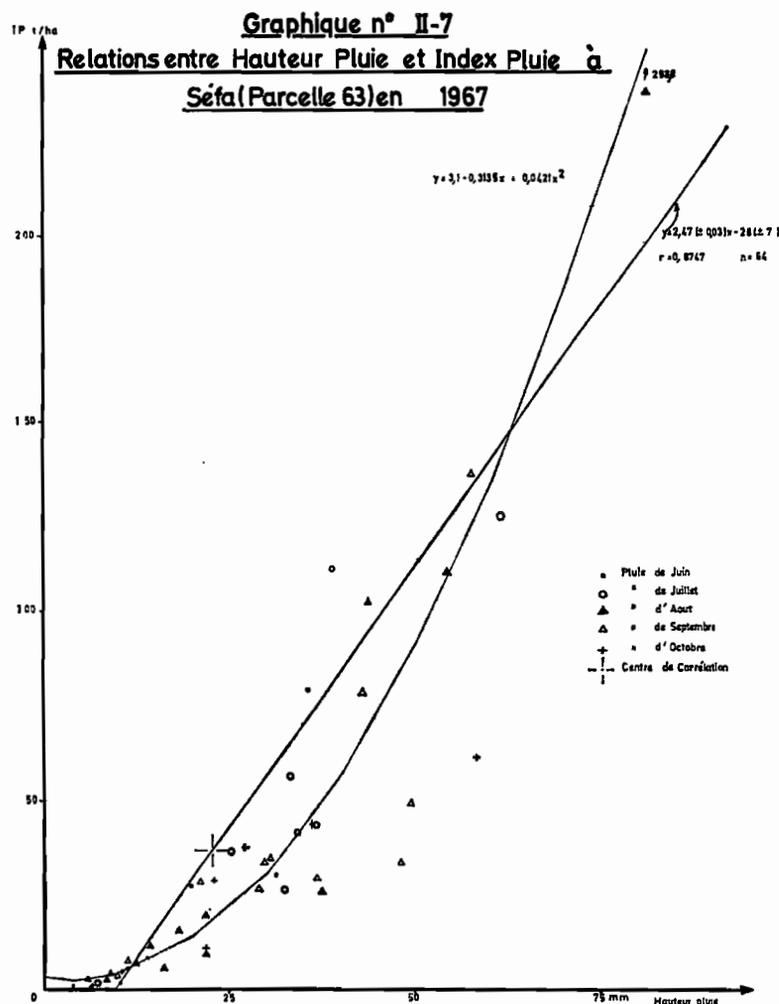
Les valeurs mensuelles sont, en moyenne, les suivantes :

	Juin	Juillet	Août	Septembre	Oct. - Nov.	Année
Bambey	1,50	1,22	1,23	0,99	0,58	1,11
Séfa	1,12	1,62	1,18	1,18	0,95	1,23

Les pluies les plus agressives sont, à Bambey, celles de juin et, à Séfa, celles de juillet. Cependant, les différences sont assez peu accusées, sauf en fin de saison. D'autre part, il ne s'agit là que de moyennes et le maximum relatif d'agressivité peut se situer suivant les années, aussi bien en juin qu'en juillet ou en août.

De même que pour l'énergie cinétique, on a cherché à préciser les relations entre hauteur de pluie et index-pluie en portant chaque année, sur un graphique, les différentes pluies caractérisées par leur hauteur en abscisses et leur index-pluie en ordonnée. Un exemple de ces relations est fourni par le graphique II-6 pour Bambey (en 1967) et II-7 pour Séfa (parcelle 63, en 1967). Comme on le voit, les liaisons sont plus lâches qu'entre hauteur de pluie et énergie cinétique (graphiques II-3 et II-4). Elles existent cependant. Les régressions linéaires sont toujours significatives. Mais l'ajustement est généralement bien meilleur avec des courbes paraboliques. Ces paraboles présentent un minimum pratiquement confondu avec l'origine. Ce type de liaison s'explique assez facilement si l'on se réfère à la définition de l'index-pluie comme produit de deux facteurs : énergie cinétique de la pluie \times intensité maximum en 30 minutes. Le premier facteur est, comme on l'a vu, pratiquement proportionnel à la hauteur de pluie (liaison linéaire très forte ; droites passant presque par l'origine). Quant au second, il est également lié, linéairement, à la hauteur de pluie, mais d'une façon beaucoup plus lâche ; par ailleurs, la droite ne passe pas ici par l'origine. Si l'on appelle x la hauteur de pluie et y l'index-pluie, la relation entre y et x doit être du type : $y = (ax)(bx + c) = Ax^2 + Bx$.





Les paramètres a et b étant toujours positifs, leur produit A doit l'être également. On retrouve bien ici l'équation d'une parabole dont le minimum est confondu avec l'origine.

L'examen des graphiques montre, par ailleurs, qu'il n'y a pas de groupement privilégié des pluies pour telle ou telle période de l'année : il s'agit donc d'une liaison à caractère général. Ce type de liaison se retrouve, en effet, tous les ans aussi bien à Bambej qu'à Séfa.

Le calcul de l'index-pluie présente un intérêt particulier du fait qu'il intervient dans l'équation universelle de perte en terre de WISCHMEIER (35). Celle-ci est la suivante :

$$A = R K L S C P$$

- où A = perte de terre (en tonnes par acre : unités américaines ou tonnes par hectare en système métrique) ;
- R = index-pluie, caractérisant l'agressivité de la pluie ; il est exprimé dans les mêmes unités que A ; c'est le seul facteur du second terme de l'équation qui ait une dimension ;
- K = indice sol : facteur sans dimension, mesurant la plus ou moins grande susceptibilité d'un sol à l'érosion ;
- LS = indice de pente ; c'est un facteur sans dimension, permettant de comparer les conditions topographiques observées à des conditions de référence ; il intègre à la fois le degré de pente et la longueur de pente ;
- C = indice culture ; facteur sans dimension, caractérisant le degré de protection du sol par la couverture végétale ;
- P = indice remède CES ; facteur sans dimension, caractérisant l'efficacité des méthodes de lutte anti-érosive par le modelé artificiel du terrain (billons, terrasses, etc.).

Cette équation est maintenant utilisée couramment aux États-Unis pour le calcul des dispositifs de lutte anti-érosive. Elle commence à être également appliquée en Afrique et à Madagascar. Des expérimentations mettant en œuvre soit des cuves d'érosion, soit des simulateurs de pluie, sont indispensables pour préciser, localement, les valeurs des paramètres K, C et P. Le paramètre LS se calcule à partir des indications fournies par WISCHMEIER (33).

d) L'INDICE CLIMATIQUE DE « FOURNIER »

S'il est très utile de pouvoir apprécier, grâce à l'index-pluie, le caractère érosif de chaque pluie, il n'est pas moins intéressant d'avoir une connaissance globale de l'agressivité climatique dans une région donnée et de pouvoir la comparer à celle d'autres régions. C'est ce que permet l'indice climatique de FOURNIER (23).

Après avoir analysé les relations entre données climatiques, d'une part, dégradations spécifiques d'une série de bassins versants dans le monde (dégradations déduites des mesures de débits solides des cours d'eau), d'autre part, ce géographe a proposé de caractériser l'agressivité climatique d'un lieu donné par le rapport : p^2/P

où p = pluviosité du mois le plus pluvieux de l'année en millimètres ;

P = pluviosité annuelle en millimètres.

Il existe d'excellentes régressions linéaires entre les valeurs de ce coefficient climatique et les valeurs correspondantes de dégradation spécifique pour les différents bassins versants.

Toutefois, sur le graphique, les points représentatifs ne sont pas groupés en un ensemble unique mais se répartissent en quatre ensembles définis chacun par une droite. Ces groupements correspondent à un caractère spécifique du milieu naturel : le relief. Un indice orographique, défini par FOURNIER, permet de l'évaluer quantitativement ; il s'agit du coefficient $\bar{H} \times \text{tg}$, combinant la hauteur moyenne du relief (\bar{H}) et son coefficient de massivité (tg).

Sur ces bases, des cartes du danger d'érosion dans le monde et en Afrique (24) ont été dressées. L'examen de ces cartes montre que ce danger d'érosion est particulièrement élevé en Afrique Tropicale Ouest Africaine. Toute la zone présente un danger d'érosion supérieur à 600 t/km²/an, la majeure partie se situant à plus de 1.000 t/km²/an.

Les climats de la zone tropicale Ouest Africaine comptent donc parmi les plus agressifs du globe, et il faut s'attendre à ce que les effets sur le sol soient particulièrement marqués et les contraintes imposées aux techniques culturales particulièrement sévères.

A l'intérieur de cette zone, les dangers d'érosion les plus élevés sont observés dans les régions centre-ouest et sud-ouest du Sénégal, où la dégradation spécifique estimée dépasse 2.000 t/km²/an.

Or, c'est précisément dans ces régions que se trouvent situées les deux stations de Bambey et de Séfa. Pour ces deux stations, les valeurs du coefficient p^2/P et les valeurs correspondantes de la dégradation spécifique ont été calculées de 1954 à 1968, soit sur une période de quinze ans. Dans le cas de Séfa, les calculs ont été faits pour trois stations pluviométriques, chacune d'entre elles étant placée à proximité d'une batterie de parcelles expérimentales de mesure de l'érosion. Ces stations étaient disposées en un triangle dont chaque côté mesurait 1 à 5 km. Les résultats sont rassemblés dans le tableau II - 13.

TABLEAU II - 13
VALEURS DE L'INDICE CLIMATIQUE DE FOURNIER,
DE LA DÉGRADATION SPÉCIFIQUE ESTIMÉE ET DE L'ÉROSION MESURÉE
A BAMBÉY ET A SÉFA, AU COURS DE LA PÉRIODE 1954-1968

Années	Bambey		Séfa											
	Sole de sélection		Poste de Soukoutoto					Poste de la parcelle 63					Poste sous forêt	
	Indice Fournier		Indice Fournier		Erosion mesurée (t/ha)			Indice Fournier		Erosion mesurée (t/ha)			Indice Fournier	
	p^2/P	DS (t/ha)	p^2/P	DS (t/ha)	Minimum	Moyen.	Maximum	p^2/P	DS (t/ha)	Minimum	Moyen.	Maximum	p^2/P	DS (t/ha)
1954	199	42,9	181	44,3	12,6	15,0	17,3	—	—	—	—	—	—	—
1955	136	32,1	210	52,2	5,6	18,3	31,0	151	36,2	6,3	11,0	16,3	—	—
1956	122	28,3	176	43,0	6,1	9,0	12,0	109	24,8	0,5	3,3	6,5	169	41,1
1957	126	29,4	—	—	6,9	8,3	9,7	—	—	2,6	7,6	13,4	—	—
1958	358	92,3	—	—	4,9	8,0	11,1	—	—	6,3	16,1	28,1	—	—
1959	94	20,7	183	44,9	2,0	4,7	7,4	209	51,9	2,2	4,3	8,1	180	44,1
1960	99	22,1	156	37,6	5,3	8,7	12,1	160	38,6	3,6	6,1	7,4	152	36,5
1961	98	21,8	143	34,0	30,0	42,2	54,5	134	31,6	5,2	8,2	10,8	129	30,2
1962	197	48,7	151	36,2	2,9	10,7	18,5	248	62,5	1,2	2,6	4,3	226	56,5
1963	48	8,3	97	21,6	3,3	7,9	12,6	89	19,4	3,2	7,2	10,2	115	26,4
1964	66	13,2	119	27,5	5,6	9,1	12,6	151	36,2	4,2	12,7	18,6	113	25,9
1965	259	65,5	218	54,4	3,7	4,5	5,4	205	50,8	1,5	4,0	8,0	221	55,2
1966	112	25,6	92	20,2	7,2	8,9	10,6	90	19,7	1,8	6,8	13,5	94	21,7
1967	89	19,4	149	35,7	11,3	22,4	33,7	134	31,6	2,2	9,5	26,7	151	36,2
1968	79	16,7	128	30,0	6,5	12,3	18,1	84	18,0	0,2	0,7	1,3	—	—
Moyenne	139	32,9	154	37,0	7,6	12,7	17,8	147	35,1	2,9	7,2	12,4	155	37,3

Pour les postes de Soukoutoto et de la parcelle 63, on a fait figurer également les valeurs mesurées de l'érosion sous culture : minimum, moyenne et maximum de façon à confronter ces chiffres avec les valeurs estimées de la dégradation spécifique. On n'a pas jugé utile de le faire pour le troisième poste, situé sous forêt, l'érosion sous couvert forestier (brûlé ou non en saison sèche) étant toujours très faible et ne dépassant jamais 0,8 t/ha. L'érosion a été mesurée sur des parcelles de 5 m de large, de 40 m à 50 m de long, situées sur des pentes de 1 % à 2 %. La dégradation spécifique a été estimée par la régression linéaire établie par FOURNIER pour les régions à relief peu accentué ($H \times \text{tg } \alpha < 6$) et pour des valeurs du rapport p^2/P supérieures à 20. L'équation de régression est alors la suivante :

$$y = 6,14 x - 48,78$$

où x = valeur du rapport p^2/P (p et P exprimés en millimètres) ;

y = dégradation spécifique en t/km².

Les valeurs moyennes obtenues pour la période 1954-1968 à Bambey et Séfa (moyenne des trois postes) sont les suivantes :

	Bambey	Séfa
p (mm)	289	429
P (mm)	636	1.235
p^2/P	139	152
D.S (t/ha)	32,9	36,4
Erosion mesurée maximum (t/ha)	—	15,2

Dans les deux cas, la dégradation spécifique estimée se situe nettement au-dessus de 3.000 t/km², soit parmi les plus fortes valeurs mondiales : à titre de comparaison, les valeurs correspondantes dans les pays tempérés non montagneux sont de moins de 100 t/km². Le climat, dans cette région du Sénégal, serait donc plus de trente fois plus érosif que dans la moyenne des zones tempérées. On note, par ailleurs, que la dégradation spécifique n'augmente que dans la proportion de 10 % de Bambey à Séfa, alors que la pluviométrie annuelle passe du simple au double.

La moyenne des érosions maxima mesurées sur parcelles expérimentales est plus de deux fois inférieure à la dégradation spécifique estimée. Ceci est inhabituel, puisque FOURNIER (23) estime que l'érosion mesurée en parcelle expérimentale est en moyenne nettement supérieure à la dégradation estimée (environ cent fois plus).

Il n'y a que deux années, 1961 et 1967, où les valeurs maxima de l'érosion mesurée sont du même ordre de grandeur que la dégradation spécifique estimée ; en 1961, à Soukoutoto, elles lui sont même assez nettement supérieures (54,5 t/ha contre 30 t/ha).

L'examen du tableau II - 13 montre que la répartition des pluies et les valeurs du coefficient p^2/P sont nettement plus variables à Bambey qu'à Séfa. Les valeurs de ce coefficient vont de 48 à 358 à Bambey et de 84 à 248 à Séfa, soit des dégradations spécifiques estimées de 8,3 à 92,3 à Bambey et de 18,0 à 62,5 à Séfa.

Ces variations ne sont pas en rapport avec celles des valeurs mesurées de l'érosion. Il n'y a pas lieu de s'en étonner puisque ces dernières sont très influencées par la nature des cultures et des techniques culturales qui changent chaque année. La corrélation aurait pu être tentée avec les parcelles sous forêt dont le traitement est immuable dans le temps, mais les valeurs d'érosion obtenues sous couvert forestier sont trop faibles pour qu'on puisse les prendre en considération, la moindre erreur expérimentale dans la mesure entraînant des variations relatives trop fortes. Dans ce cas particulier, la dégradation spécifique estimée est plus de cent fois supérieure à la moyenne des érosions maxima mesurées (37,3 t/ha contre 0,3 t/ha).

e) COMPARAISON ENTRE LES INDICES D'ÉROSIVITÉ DE « FOURNIER » ET DE « WISCHMEIER ».

On a tenté également de comparer les valeurs des indices climatiques de FOURNIER et de WISCHMEIER ainsi que celles des dégradations spécifiques calculées par les deux méthodes. En ce qui concerne le calcul de la dégradation spécifique par la méthode de WISCHMEIER, on a utilisé l'équation universelle de pertes en terre dans les conditions suivantes :

sol nu : coefficient $C = 1$;

pente de 2 % : longueur de pente de 40 m ; coefficient $LS = 0,24$;

coefficient K de susceptibilité à l'érosion = 0,15.

Ces conditions sont celles des parcelles expérimentales de Séfa, la valeur du coefficient K ayant été obtenue dans ce lieu-même et extrapolée ensuite aux sols de Bambey.

Les résultats de ces calculs figurent dans le tableau II - 14 ; ils concernent la période 1960-1968 à Bambey et 1964-1968 à Séfa (deux postes pluviométriques).

TABLEAU II - 14
COMPARAISON DES DÉGRADATIONS SPÉCIFIQUES ESTIMÉES
PAR LES FORMULES DE « FOURNIER » ET DE « WISCHMEIER », A BAMBEY ET SÉFA

Bambey					Séfa						
Années	Indice d'agressivité		Dégradation spécifique estimée		Postes	Années	Indice d'agressivité		Dégradation spécifique estimée		Erosion mesurée maxi. (t/ha)
	Fournier p ² /P	Wischmeier (t/ha)	Fournier (t/ha)	Wischmeier (t/ha)			Fournier p ² /P	Wischmeier (t/ha)	Fournier (t/ha)	Wischmeier (t/ha)	
1960	99	840	22,1	30,2	Soukoutoto ...	1964	119	1.497	27,5	53,9	12,6
1961	98	1.155	21,8	41,6	Soukoutoto ...	1965	218	1.605	54,4	57,8	5,4
1962	197	637	48,7	22,9	Soukoutoto ...	1966	92	1.462	20,2	52,6	10,6
1963	48	475	8,3	17,1	Soukoutoto ...	1967	149	1.955	35,7	70,4	33,7
1964	66	393	13,2	14,1	Soukoutoto ...	1968	128	693	30,0	24,9	18,1
1965	259	728	65,5	26,2	Parcelle 63 ...	1965	205	2.150	50,8	77,4	8,0
1966	112	523	25,6	18,8	Parcelle 63 ...	1966	90	1.550	19,7	55,8	13,5
1967	89	773	19,4	27,8	Parcelle 63 ...	1967	134	2.146	31,6	77,3	26,7
1968	79	368	16,7	13,2	Parcelle 63 ...	1968	84	541	18,0	19,5	1,3
Moyenne ..	116	655	26,8	23,5	Moyenne ..		135	1.511	36,4	54,4	15,2

Comme on le voit, il n'existe qu'une liaison assez lâche entre les deux indices climatiques d'érosivité. Ceci n'a rien d'étonnant puisque les modes d'établissement de ces indices ont obéi à des préoccupations différentes. Les deux indices font intervenir la hauteur de pluie annuelle mais l'un fait appel, en outre, à la répartition des pluies dans l'année, tandis que l'autre a recours à l'énergie cinétique calculée d'après l'intensité. Il n'y a donc pas de raison spéciale pour que ces deux indices soient en rapport étroit.

Concernant la dégradation spécifique, les deux méthodes donnent en moyenne à Bambey des estimations comparables. De Bambey à Séfa, la pluviométrie moyenne pour la période considérée augmente de 95 % ; la dégradation spécifique estimée par la méthode de FOURNIER augmente de 36 %, tandis que, calculée par la méthode de WISCHMEIER, elle augmente de 131 %. L'écart moyen d'évaluation entre les deux méthodes est à Séfa d'environ 50 %. Il est assez curieux de noter qu'avec des procédures d'estimation très différentes, on aboutit à des valeurs présentant le même ordre de grandeur.

On a fait figurer dans le tableau, à titre indicatif, les valeurs maxima annuelles de l'érosion mesurée à Séfa sous culture. Qu'il s'agisse d'un indice ou de l'autre, il n'y a pas de liaison nette entre la dégradation spécifique estimée et l'érosion mesurée, et ceci pour les mêmes raisons énoncées plus haut (variations de la nature de la culture et des techniques culturales ainsi que de la répartition des pluies par rapport au développement du couvert végétal).

Pour des études à caractère local, comme la mesure de l'érosion en parcelles expérimentales, il est certain que l'indice de WISCHMEIER est mieux approprié que celui de FOURNIER pour suivre les variations interannuelles de l'agressivité climatique ; sa possibilité d'emploi dans l'équation universelle de pertes en terre le rend par ailleurs très intéressant. Cependant, la facilité de calcul et le caractère généralisable de l'indice de FOURNIER le rendent également très utile pour les comparaisons de l'agressivité climatique à l'échelle d'un continent ou d'une portion de continent : les données relatives à son calcul sont aisément disponibles alors que celles nécessaires à l'établissement de l'indice de WISCHMEIER sont généralement peu accessibles. Les travaux et les publications utilisant ce dernier sont encore assez rares, et, de ce fait, les possibilités de comparaison assez limitées.

Quoi qu'il en soit de leurs différences, de conception et d'application, les deux méthodes aboutissent, pour le propos qui nous occupe, au même résultat : la mise en évidence de la très grande agressivité du climat dans toute la zone tropicale de l'Ouest Africain, et tout particulièrement dans son extrémité sud-occidentale englobant la partie méridionale du Sénégal.

B) LES SOLS

Si l'on se réfère à la carte des sols d'Afrique éditée par D'HOORE (20), on constate que, dans la zone étudiée, la plupart des grandes unités pédologiques tropicales sont représentées. Cependant, les sols ferrugineux tropicaux et les ferrisols dominent largement ; on y rencontre également les sols ferrallitiques et les sols peu évolués sur matériaux meubles. Ce sont principalement ces quatre catégories de sols qui sont concernées par notre étude. En sont exclus : les sols hydromorphes et halomorphes, les sols jeunes sur dépôts alluvionnaires, les vertisols, les lithosols sur cuirasses ou roches dures.

Les sols dérivent de roches-mères diverses constituées principalement par : les granitogneiss et les schistes du bouclier précambrien, des grès siliceux primaires, des dolérites, des grès argileux d'origine continentale, des sables d'origine dunaire.

Il ne peut être question ici de caractériser, même succinctement, les différentes unités pédologiques rencontrées. On s'attachera seulement à souligner leurs caractères communs susceptibles d'avoir une influence sur le profil cultural et son évolution. Puis on fournira quelques précisions sur les sols des stations de Bambey et Séfa où se sont déroulées une bonne part des études et expérimentations concernant le profil cultural.

1) CARACTERES COMMUNS AUX SOLS DE LA ZONE INFLUANT SUR LE PROFIL CULTURAL ET SON EVOLUTION

Deux caractéristiques communes à la plupart des sols rencontrés ont une incidence importante sur le profil cultural et son évolution :

- la texture habituellement sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels ;
- la nette prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse du sol.

Quelle que soit la nature de la roche-mère, la plupart des profils de sols ferrugineux tropicaux et ferrallitiques de la zone étudiée présentent, en effet, un horizon superficiel « appauvri » en argile. On discute encore sur l'origine de cet appauvrissement : destruction progressive de la kaolinite, lessivage vertical ou oblique, variation dans le dépôt sémentaire en liaison avec l'érosion et la formation du relief, ou combinaison de plusieurs processus. Quelle qu'en soit l'explication, le fait est cependant assez général.

La prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse de ces sols est également un fait général. Dans les sols ferrallitiques, il n'y a pratiquement pas d'autre minéral argileux et la kaolinite elle-même se trouve dans un état d'altération plus ou moins poussé. Dans les sols ferrugineux tropicaux, on peut trouver à côté de la kaolinite un peu d'illite et parfois de montmorillonite, mais la kaolinite est toujours nettement dominante.

De la combinaison de ces deux caractéristiques découle, pour le profil cultural, une conséquence importante : l'inexistence ou le peu d'importance des phénomènes de gonflement et de retrait du sol, consécutifs aux variations d'humidité. L'ampleur prise par ces phénomènes est en effet en relation, comme l'a montré en particulier MAERTENS (29), non seulement avec la teneur en argile du sol, mais aussi avec la nature de cette argile : à teneurs en argile granulométrique égales, les variations de volume seront maxima pour un sol à montmorillonite et minima pour un sol à kaolinite. Pour les sols considérés, toutes les conditions se trouvent donc réunies pour que la fissuration du sol soit peu accentuée, voire inexistante. Or, cette fissuration a un rôle important dans la division du sol et la création de la structure (26). On conçoit, dans ces conditions, que les facteurs mécaniques de travail du sol joueront un rôle d'autant plus grand dans l'action de division et de création d'une structure et d'un profil cultural, qu'ils devront pallier l'absence ou l'insuffisance des mécanismes naturels.

2) LES SOLS DE BAMBEY ET SEFA : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Ces sols ont fait l'objet d'un certain nombre d'études (5) (6) (21) (22) (31). Ils sont bien représentatifs de ceux qui sont exploités, au Sénégal, pour l'agriculture. Nous ne rappellerons ici que leurs principales caractéristiques.

a) CARACTÈRES GÉNÉRAUX.

A Bambey, un manteau sableux quaternaire, d'épaisseur variant entre 1 m et 10 m, recouvre presque totalement les calcaires et marnes tertiaires. Le modelé est dunaire mais très atténué. Il n'y a pas de drainage organisé. La végétation est du type savane à épineux. Sur les dunes anciennes se développe le sol « dior », classé dans le groupe des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Le lessivage porte sur le fer et, à un degré moindre, sur l'argile. Ce sol est peu évolué ; il présente un profil assez homogène et uniformément sableux ; l'horizon humifère est peu tranché.

Dans les interdunes, ainsi que sur de vastes zones à topographie plane, le sédiment quaternaire est un peu plus argileux ; le calcaire est souvent proche de la surface. Les sols, plus lourds que les précédents, sont dénommés régionalement « dek » ; ils sont également peu évolués ; leur profil est homogène, avec toutefois un horizon humifère bien marqué et assez épais, s'atténuant graduellement en profondeur. Du point de vue pédologique, ils représentent un terme de transition entre sols ferrugineux tropicaux et vertisols, leur calcimorphie pouvant être plus ou moins accentuée.

A Séfa, la topographie est celle de vastes plateaux faiblement ondulés, entaillés par des vallées peu profondes à fond plus ou moins colmaté ; le drainage est, dans l'ensemble, peu efficace. La végétation naturelle est une forêt claire à essences caduques et pyrophiles. La roche-mère est un grès argileux d'origine continentale (démantèlement du Fouta-Djallon), épandu à la fin tertiaire. Sur cette roche-mère se sont différenciés principalement deux sols, nettement distincts par leur morphologie (couleur) et par certains de leurs caractères physiques, mais voisins par leurs propriétés chimiques ainsi que leur comportement vis-à-vis des cultures.

Pour l'un des sols, le profil est de teinte uniformément rouge ; il n'y a pas (ou peu) de ségrégation du fer en profondeur. La structure élémentaire comporte des pseudo-particules ou pseudo-sables.

Dans l'autre sol, moins bien drainé, les horizons supérieurs sont de teinte beige à ocre-beige ; on observe en profondeur des phénomènes plus ou moins accentués de ségrégation du fer (taches et concrétions). Il n'y a pas de pseudo-sables et la structure est plus massive. Les deux sols présentent sous forêt un horizon humifère peu épais (une dizaine de centimètres), mais nettement tranché. Il y a, dans les deux cas, un enrichissement marqué en argile se manifestant assez brutalement vers 40 cm.

Dans la classification française (2), le sol rouge est rangé dans le groupe des sols ferrallitiques moyennement désaturés, le sol beige dans celui des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions.

TABLEAU II - 15
CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES DE QUATRE PROFILS DE SOLS DE BAMBEY ET SÉFA

Sols		Sol Dior				Sol Dek				Sol rouge				Sol beige			
		CRA Bambey, sole II S				Bambey, CRA, sole B				Séfa, station				Séfa, route de Sédhiou			
Localisation																	
Profondeur (cm)		0-10	10-17	30-35	70-80	0-12	12-40	40-60	60-100	0-10	10-20	20-36	36-80	0-10	10-20	20-60	60-100
Terre fine (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Couleur (Munsell)		7,5YR 6/4	7,5YR 6/6	7,5YR 5/4	7,5YR 5/6	—	—	—	—	5 YR 4/2	5 YR 4/2	5 YR 4/4	5 YR 5/6	2,5YR 4/2	2,5YR 4/2	2,5YR 4/6	2,5YR 5/8
Granulo- métrie (%)	Matière organique	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	2,0	0,7	0,5	0,5	3,0	0,4	0,3	0,4
	Argile	3,4	4,0	5,4	3,0	8,5	12,8	14,5	13,0	12,3	14,0	27,8	36,2	11,0	12,5	21,0	40,0
	Limons	0,5	0,4	0,9	0,5	3,5	3,5	3,8	3,5	4,0	5,0	4,7	5,2	3,0	3,2	3,2	4,0
	Sables fins	75,3	74,3	72,8	71,2	66,2	60,8	60,8	64,1	56,7	52,8	44,0	36,6	50,0	50,4	41,6	29,2
	Sables grossiers	20,3	21,0	21,0	24,9	21,4	22,6	20,6	19,1	25,0	27,5	23,0	21,5	33,0	33,5	33,9	26,8
Perméabilité Darcy (cm/h)		1,1	1,1	1,4	1,3	1,1	1,1	1,2	1,0	2,9	0,8	0,9	1,0	2,0	0,5	1,6	1,7
Humidité de la terre sèche (%) :																	
— à pF 4,2		1,6	1,5	2,0	2,4	2,3	3,4	4,1	3,9	3,7	4,9	8,4	11,6	5,2	3,8	6,5	12,6
— à pF 3,0		2,8	2,3	3,0	3,4	8,5	7,7	9,0	8,8	11,2	8,4	12,5	15,3	9,6	6,7	9,3	15,9
Carbone (%)	Total	2,90	1,60	1,30	1,10	2,11	1,99	2,15	1,83	11,30	4,60	2,96	3,04	17,50	2,81	2,15	2,54
	— acides humiques	0,47	0,41	0,42	0,45	0,12	0,08	0,06	Trac.	0,33	0,17	0,06	0,03	1,09	0,53	0,65	0,29
	— acides fulviques	0,30	0,23	0,31	0,15	0,42	0,52	0,52	0,28	0,71	0,83	0,88	0,71	1,11	0,12	0,05	0,01
Azote total (%)		0,23	0,14	0,13	0,11	0,27	0,21	0,17	0,12	0,80	0,36	0,32	0,31	1,08	0,40	0,26	0,27
C/N		13	11	10	10	8	9	13	15	14	13	9	10	16	7	8	9
Cations échan- geables (mé/100g)	Ca	0,45	0,20	0,35	0,30	1,34	1,60	1,67	2,35	1,30	0,90	0,48	0,56	2,52	1,09	0,48	0,65
	Mg	0,35	0,45	0,25	0,55	0,67	0,27	0,47	0,42	0,77	0,40	0,88	0,53	0,50	0,44	0,50	0,79
	K	0,05	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,02	0,06	0,02	0,03	0,04
	Na	0,10	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,11	0,12	0,12	0,13	0,15	0,09	0,14	0,10
	Somme	0,95	0,77	0,70	0,96	2,09	1,93	2,22	2,83	2,24	1,47	1,52	1,31	3,23	1,65	1,16	1,58
	T	2,00	2,05	2,40	2,60	4,32	6,40	6,70	5,46	4,40	3,20	3,80	4,34	6,40	3,06	2,66	3,92
	V (%)	47	37	29	37	48	30	33	52	47	46	40	30	51	54	44	40
P ₂ O ₅	Total (%)	0,15	0,12	0,10	0,14	—	—	—	—	0,17	0,04	0,03	0,03	0,15	0,10	0,04	0,03
	Truog (ppm)	7	8	3	3	2	0	0	0	12	7	5	0	12	4	5	0
Fe ₂ O ₃	Total (%)	4,0	7,5	9,0	9,0	4,9	3,1	10,0	8,0	10,9	12,0	14,8	17,2	9,5	11,6	15,3	21,3
	Libre (%)	3,8	4,8	8,4	8,0	—	—	—	—	8,8	9,0	10,4	13,6	6,2	7,3	10,4	16,0
pH 1/2,5 eau		5,5	5,2	4,5	5,2	5,3	5,6	5,8	5,9	6,1	5,0	4,7	4,6	6,0	5,2	5,1	4,3

Le tableau II - 15 rassemble les principales caractéristiques analytiques des profils typiques des sols « dior », et « dek » de Bambey, beige et rouge de Séfa.

b). CARACTÈRES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES.

Ces sols se caractérisent par une texture sableuse à sablo-argileuse dans les horizons superficiels. Dans le cas des sols « dior », la texture est même très sableuse. Les sables ont un classement hétérométrique avec, cependant, une forte dominance de sables fins. A Séfa, la proportion de sables grossiers est plus importante. D'après leur morphologie, les sables ont à Bambey une origine complexe : fluviale, marine et éolienne ; ils sont arrondis pour la plupart et plus ou moins recouverts d'une pellicule d'oxydes de fer.

A Séfa, les sables sont uniquement d'origine fluviale ; ils sont plus anguleux qu'à Bambey, mais les arêtes sont émoussées ; la pellicule ferrugineuse est également plus importante.

La densité réelle de ces sols est un peu inférieure à celle du quartz. Elle varie, suivant la teneur en argile, entre 2,60 et 2,65.

Les densités apparentes dans les horizons de surface varient notablement suivant l'histoire culturale du sol. Un point important à noter est que, sous culture et en l'absence de travail du sol, elles sont habituellement élevées et de l'ordre de 1,6 à 1,7. On aboutit donc à des porosités relativement faibles de 36 % à 40 %. Cette tendance à la compacité et au tassement peut être attribuée à plusieurs causes : forte proportion de sables fins, classement hétérométrique et caractère plus ou moins arrondi de ces sables, taux de colloïdes insuffisants pour donner lieu à une agrégation importante.

La structure de ces sols est en effet peu développée. A l'état sec, on trouve une faible quantité d'agrégats nuciformes ou grumeleux. Pour les sols « dior » et « dek », BONFILS et FAURE (5) ne trouvent pas plus de 5 % d'agrégats stables à l'eau ayant un diamètre supérieur à 2 mm ; il y en a entre 3 % et 11 % dont le diamètre est inférieur à cette valeur. En utilisant la méthode de HÉNIN (26), POULAIN trouve suivant les traitements entre 5 % et 9 % d'agrégats et un indice d'instabilité variant entre 0,2 et 0,5.

Les microagrégats paraissent donc assez stables, mais il y en a extrêmement peu. Ceci s'explique par les faibles taux de colloïdes organiques et minéraux. Ainsi que cela a été mentionné plus haut, la méthode n'a pas, dans ces conditions, une précision suffisante pour différencier divers traitements agronomiques.

A Séfa, les études sur la structure des sols rouges et beiges ont été récemment développées par CHAUVEL (13) qui a souligné, à cet égard, les différences de comportement entre sols rouges et beiges. Les sols rouges comportent une certaine quantité de microagrégats, cimentés par les hydroxydes ferriques, qui leur confèrent une meilleure perméabilité et une meilleure structure, et surtout une plus grande stabilité, dans le temps, de ces deux caractéristiques,

De ces études ont été extraites les mesures suivantes, concernant l'horizon superficiel (0-10 cm) :

		Taux d'agrégats * (%)			A + L maxi. (%)	I _s	K (cm/h)
		Alcool	Eau	Benzène			
Sols rouges	Forêt	13,8	12,4	5,6	5,6	0,42	3,90
	Culture	5,5	2,6	1,8	10,9	1,32	1,18
Sols beiges	Forêt	8,2	3,6	3,6	6,1	0,79	2,21
	Culture	5,5	2,9	0,9	8,4	1,56	1,15

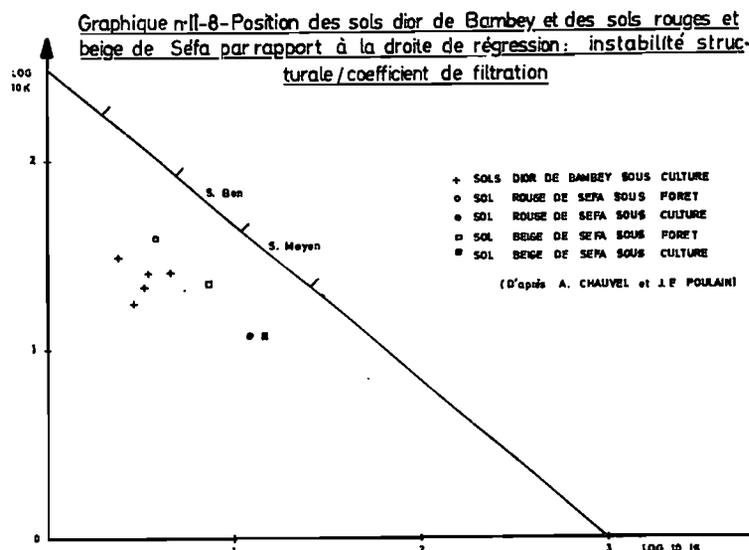
* Les résultats qui figurent sur le tableau représentent les taux de particules ou « agrégats stables » restés sur le tamis à l'issue des différentes opérations et auxquels on a retranché ceux d'entre eux qui résistent au traitement dispersant classique, et qui correspondent donc à la fraction « sable grossier ».

La stabilité structurale est meilleure sous forêt que sous culture et sur sol rouge que beige. Il en est de même du coefficient de filtration.

On peut noter que celui-ci est assez faible pour les sols de Séfa, ainsi que pour les sols de Bambey ; le coefficient K, mesuré au laboratoire, varie entre 0,5 cm/h et 4 cm/h. Les résultats des mesures de K et de I_s ont été reportés sur le graphique II - 8, suivant le mode de représentation proposé par HÉNIN et alii (26).

En raison des faibles valeurs de la perméabilité, les points représentatifs se trouvent nettement en dessous de la droite de régression. On obtient alors des valeurs de Σ comprises entre 1,2 et 1,8, ce qui, d'après les normes habituelles d'interprétation, correspond à des stabilités structurales moyennes à assez bonnes.

Si la mesure de la perméabilité au laboratoire sur échantillons tamisés donne toujours des résultats assez faibles, il n'en est pas de même des mesures effectuées sur le terrain, par les méthodes de MUNTZ ou de PORCHET : les valeurs obtenues sont généralement élevées et comprises entre 20 cm/h et 50 cm/h à Bambey, entre 10 cm/h et 20 cm/h à Séfa. Ces méthodes rendent mal compte des phénomènes réellement observés sur le terrain pendant les pluies : si en début de saison le sol sec est en effet capable d'absorber des intensités de pluies élevées, il n'en va pas de même en cours de saison, lorsque le sol est humide. La capacité d'infiltration est alors variable dans le temps suivant l'état d'humidité du sol, l'espace-temps entre les pluies, les travaux du sol.



Au cours d'une même pluie, ainsi que l'a montré COINTEPAS (16) en parcelles expérimentales de mesure de l'érosion, le débit d'infiltration baisse sensiblement : de l'ordre de 5 cm/h en début de pluie sur sols cultivés, il peut descendre à moins de 0,5 cm/h en fin de pluie. Le ruissellement est la règle pour les sols sous culture à Séfa dès que la pente dépasse 1 % à 2 %. À Bambeï, il se produit seulement pour les fortes pluies (supérieures à 30 mm ou 40 mm).

Ce sont finalement les mesures de perméabilité au laboratoire sur échantillons à structure intacte qui paraissent le mieux rendre compte des phénomènes d'infiltration observés sur le terrain et des facteurs qui les influencent. À Bambeï, les valeurs obtenues par cette procédure sont de l'ordre de 5 cm/h pendant la première heure ; elles baissent lentement ensuite pour le sol « dior » et plus rapidement pour le « dek » (9) en utilisant un matériel assez rudimentaire. À Séfa, COINTEPAS (17) a mis en évidence, par cette méthode, les grandes différences de perméabilité entre horizons de surface et horizons profonds : la perméabilité, qui est de l'ordre de 0,5 cm/h dans les 20 premiers centimètres de sol cultivé, est environ trente fois plus faible dans les horizons de 20 cm à 100 cm, ce qui expliquerait l'engorgement de la zone de 20 cm à 30 cm que l'on observe après chaque précipitation.

La perméabilité baisse avec le temps, mais cette diminution est surtout nette pour les horizons de surface où se produit une dispersion des colloïdes.

Plus récemment, CHAUVEL et TOBIAS en utilisant la méthode de la station de VERCIÈRE modifiée (32) ont mesuré un grand nombre de perméabilités sur différents horizons de sols beiges et de sols rouges, sous culture et sous forêt, en diverses situations topographiques. Nous extrayons de cette étude (14) les données figurant dans le tableau II - 16.

TABLEAU II - 16
VALEURS DE LA PERMÉABILITÉ
après cinq heures de percolation pour différents horizons de sols rouges et beiges,
sous forêt, à Séfa (mm/h)

Profondeur (cm)	Sol rouge			Sol beige		
	Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima	Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima
0- 10	370	744	1.067	692	840	1.102
15- 25	412	745	1.272	295	593	1.086
30- 40	105	154	230	462	1.141	1.970
45- 55	22	126	262	171	302	627
70- 80	90	165	210	24	48	62
100-110	160	185	207	57	67	85
150-160	50	180	350	65	97	132
200-210	145	227	330	30	76	200

Comme on le voit, les perméabilités dans les horizons de surface (0 à 25 cm) sont élevées dans les deux sols. Elles deviennent ensuite quatre à cinq fois plus faibles en dessous de 25 cm pour le sol rouge ; dans le cas du sol beige, des valeurs élevées de perméabilité sont observées jusqu'à 60 cm, mais, en dessous, la baisse de perméabilité est plus brutale que pour le sol rouge (valeurs six à dix fois moins élevées qu'en surface, en moyenne).

Ces valeurs ne baissent que très lentement avec le temps. On peut penser qu'avec des valeurs aussi élevées de perméabilité les sols sous forêt sont capables d'absorber la quasi-totalité des pluies, d'autant que les intensités parfois très élevées de celles-ci sont modifiées par le couvert feuillu ; seuls seraient à craindre des engorgements temporaires en profondeur, surtout dans le cas du sol beige. On observe, en effet, en parcelles expérimentales d'érosion, que le ruissellement sous forêt est presque toujours négligeable.

Il n'en va pas de même sous culture et l'on verra, par ailleurs, quel rôle important joue le couvert végétal dans les phénomènes de perméabilité et d'infiltration de l'eau dans le sol.

La **capacité de rétention** pour l'eau des sols étudiés est faible. Elle est en moyenne de 6 % à 7 % d'humidité pondérale pour les sols « dior », de 9 % pour les « dek » et de 12 % pour les sols de Séfa (9). En profondeur, elle augmente sensiblement pour les sols de Séfa (texture plus argileuse), mais ne varie guère pour les sols « dior » et « dek ».

Les **points de flétrissement** se situent aux environs de 2 % d'humidité pondérale pour les sols « dior », 3 % pour les « dek », 5 % pour les sols de Séfa.

L'**eau utile** des horizons de surface varie donc de 4 % à 7 % suivant les sols : elle est toujours peu importante.

La cohésion des sols est faible à l'état humide et très grande à l'état sec, même pour les sols « dior » très sableux. Les mesures de résistance à la pénétration, effectuées à l'aide du pénétromètre, permettent de chiffrer cette cohésion. Des mesures nombreuses ont été faites sur diverses expérimentations de Bambey et Séfa. Le tableau II - 17 rassemble, sous une forme résumée, un certain nombre de ces mesures et permet de comparer les cohésions des principaux sols à l'état sec et à l'état humide.

TABLEAU II - 17
FORCES DE RÉSISTANCE A LA PÉNÉTRATION EN SAISON SÈCHE ET EN SAISON HUMIDE

Sols et horizons	Argile Limon	Humidité (%)			Saison sèche F (en kg)				Saison des pluies F (en kg)			
		Capacité de rétention	pF 4,2	Fin de saison sèche	Nombre d'essais	Moyenne	Maximum	Minimum	Nombre d'essais	Moyenne	Maximum	Minimum
Dior 0-20.....	3-7	5-6	1,5-2,0	0,3-2,0	156	229	240	35	14	64	73	43
Bambey 20-40.....	5-9	8-9	2,2-2,7	0,8-1,2	156	363	939	42	14	96	107	81
Dek 0-20.....	8-12	8-9	3-4	0,7-1,5	64	540	1.070	170	6	78	89	66
Bambey 20-40.....	11-15	10-11	4-5	1,5-2,5	64	591	985	219	6	124	155	100
Beige 0-20.....	11-20	9-13	3-5	1-3	146	408	1.080	180	0	—	—	—
Séfa 20-40.....	15-25	12-16	6-9	4-6	146	802	3.458	375	0	—	—	—

En saison sèche, les forces nécessaires pour enfoncer le barreau métallique de 20 cm sont, en moyenne, deux fois plus élevées sur sol « dek » et sur sol beige de Séfa que sur sol « dior ». Les moyennes sont très élevées, même pour le sol « dior ». Ce n'est que pour les sols de ce type les plus sableux que les forces de résistance à la pénétration sur 20 cm s'abaissent au-dessous de 50 kg. Les maxima dépassent la tonne en sol « dek » et en sol beige. Dans l'horizon 20-40 cm, les forces de pénétration s'accroissent légèrement en sol « dior » et en sol « dek », et notablement pour le sol de Séfa, par rapport aux mêmes forces dans l'horizon 0-20 cm. Ceci s'explique par l'accroissement de la teneur en argile pour les sols de Séfa.

A l'état humide, les forces de pénétration diminuent très sensiblement et les différences entre les sols s'atténuent. GAUDEFROY-DEMOMBYNES et CHARREAU (24 bis) ont montré, pour ces sols, l'analogie entre courbes d'ameublissement et courbes d'humidité.

Ces valeurs de résistance à la pénétration seront rapprochées, plus loin, des efforts de traction pour les différents instruments aratoires.

C) L'EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL, AU COURS DE L'ANNEE, SOUS L'INFLUENCE DU CLIMAT

On distinguera deux périodes, caractérisées par des processus nettement différents d'évolution :

- la saison des pluies,
- la saison sèche.

1) EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL PENDANT LA SAISON DES PLUIES

Pendant cette saison, le sol est soumis à des alternances d'humectation et de dessiccation. L'action des pluies à forte intensité se manifeste sur le sol par deux processus : un processus de tassement et un processus de battance.

a) TASSEMENT DU SOL.

Le tassement du sol au cours de la saison des pluies peut être mis en évidence par la courbe d'évolution de la densité apparente. C'est ainsi qu'en 1965, BLONDEL (4) a procédé sur un essai de travail du sol, en sol « dior » à Bambey, à des mesures de densité apparente sur un témoin non travaillé et sur un témoin labouré en sec. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU II - 18
EVOLUTION DE LA DENSITÉ APPARENTE EN FONCTION DE LA PLUIE CUMULÉE
SUR UN SOL « DIOR » A BAMBEY

Date de prélèvement	Pluie cumulée (mm)	Témoin		Labour	
		Densité apparente	Porosité (%)	Densité apparente	Porosité (%)
21 juin	6	1,64 ± 0,03	38	1,47 ± 0,03	44
21 juillet	79	1,64 ± 0,03	38	1,58 ± 0,02	40
5 août	179	1,64 ± 0,03	38	1,64 ± 0,02	38

Après 180 mm de pluie cumulée, soit en moyenne un mois et demi après le début des pluies à Bambey, les porosités, modifiées par le travail du sol, sont devenues équivalentes à celles du sol non travaillé.

L'évolution peut être assez différente suivant les années et les types de sol, mais il se produit inévitablement une baisse importante de la porosité au cours de la saison des pluies.

b) BATTANCE ET ÉROSION.

L'énergie cinétique élevée développée par les pluies entraîne des phénomènes de battance très marqués. Ceux-ci s'observent sur tous les types de sols. De faibles pentes suffisent alors pour que se manifestent un transport d'éléments terreux et une érosion plus ou moins intense. L'érosion intervient surtout en début de saison, lorsque le sol est peu couvert par la végétation ; par la suite, celle-ci modifie très sensiblement, comme on le verra, l'allure du phénomène.

En l'absence de couvert végétal, l'érosion varie, à Séfa, entre 18 t/ha et 50 t/ha suivant les années, sur les parcelles de 40 m à 50 m de long, allongées dans le sens de la pente et pour des valeurs de pente allant de 1 % à 2 %. Il a été possible, d'après ces mesures, de calculer la valeur de K, coefficient de susceptibilité des sols à l'érosion dans l'équation universelle des pertes en sol de WISCHMEIER (35). Suivant les périodes, la valeur de K varie de 0,04 à 0,17, valeurs qui sont, de toute façon, situées assez bas dans l'échelle américaine (0,10 à 0,50) et classent les sols de Séfa parmi les sols assez stables. L'importance des manifestations de l'érosion à Séfa s'expliquerait donc bien davantage par le caractère exceptionnellement agressif des pluies que par une fragilité particulière des sols (11).

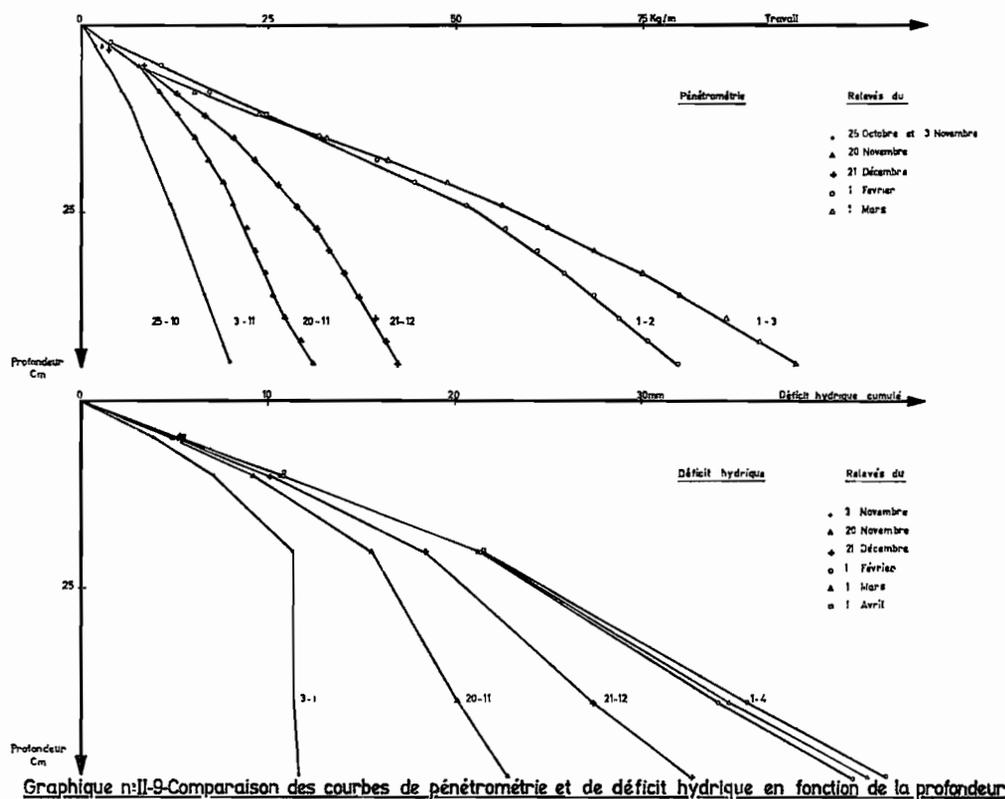
Sous couvert végétal, l'érosion varie à Séfa de 0,02 t/ha à 27 t/ha. Une étude assez complète, poursuivie sur une quinzaine d'années, a été réalisée dans ce domaine. Les différents facteurs influençant l'érosion seront examinés par ailleurs.

Il n'y a pas eu, au Sénégal, en dehors de celles effectuées à Séfa, d'autres mesures directes des tonnages de terre emportés par l'érosion hydrique, bien que les manifestations de celle-ci aient été observées un peu partout, y compris dans les régions nord les moins arrosées. Des expérimentations ont été mises en place ces dernières années, au Sénégal et au Niger.

Au Sénégal même, une mesure indirecte de l'érosion, par examen de ses conséquences sur le sol, a pu être effectuée à Boulel par BOUYER (7). Cet auteur met en évidence, au bout de dix années de mise en culture, une diminution significative du taux d'argile et une augmentation significative du rapport sables grossiers/sables totaux dans l'horizon de surface ; de 9 % en moyenne, au début de l'expérience, le taux d'argile baisse à 7,5 % à la fin ; le rapport sables grossiers/sables totaux passe de 24,0 % à 32,5 %. C'est surtout au cours des trois premières années de culture que le taux a diminué ; par contre, les variations du rapport sables grossiers/sables totaux sont faibles au début et deviennent importantes à partir de la cinquième année. L'auteur explique ce décalage par le fait que l'entraînement de l'argile est plus facile et plus rapide que celui du sable fin. Il attribue cet entraînement d'éléments fins, avec augmentation consécutive de la proportion de sables grossiers, à l'érosion superficielle par l'eau et peut-être par le vent. Il n'y a pas, en effet, de phénomène de lessivage vers les horizons profonds du profil, la teneur en argile de ces derniers restant pratiquement constante.

2) EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL AU COURS DE LA SAISON SECHE

Dans les deux ou trois semaines qui suivent la dernière chute de pluie, l'évaporation est intense et la partie supérieure du profil de sol se dessèche très rapidement. Corollairement, la cohésion du sol se développe pour atteindre après deux ou trois mois de saison sèche des valeurs très élevées. POULAIN et CHARREAU (30) ont cherché à comparer les courbes d'assèchement et celles du développement de la cohésion. Pour cela, ils ont procédé pendant la saison sèche 1967-1968 à des relevés périodiques de profils hydriques et de profils pénétrométriques en sol « dior ». Les résultats ont été reportés sur les graphiques II - 9, II - 10 et II - 11.



Sur le premier graphique on a fait figurer en comparaison les relevés de profils pénétrométriques (travail effectué en fonction de la profondeur) et les déficits de rétention, cumulés par horizon, aux mêmes dates. On a considéré que le premier profil hydrique, relevé le 24 octobre, soit le lendemain de la dernière pluie de la saison, correspondait à la capacité de rétention pour tous les horizons. On note sur ce graphique l'analogie entre les deux séries de courbes ; cependant, on peut également noter la différence de rapidité d'évolution et le décalage qui s'ensuit pour les deux séries : les profils d'humidité évoluant, au début, beaucoup plus rapidement que les profils de pénétrométrie. Ce phénomène est bien mis en évidence sur les graphiques suivants.

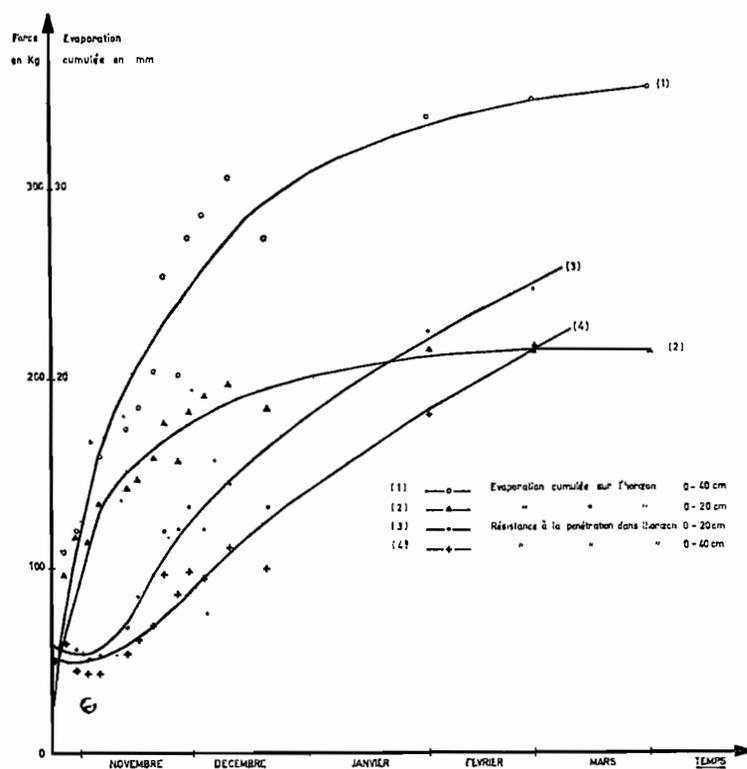
Sur le graphique II - 10 on a fait figurer en comparaison les courbes d'évaporation cumulée et de résistance à la pénétration en fonction du temps dans les horizons 0-20 cm et 0-40 cm. Comme on peut le constater, l'allure des deux séries de courbes est nettement différente. L'évaporation est très rapide au début, pour se ralentir progressivement à partir du dixième ou quinzième jour après la fin des pluies. Au contraire, la cohésion du sol n'augmente pratiquement pas pendant les premiers jours de la saison sèche ; on a même l'impression qu'elle diminue légèrement, mais ceci peut être dû à l'imprécision des mesures (hétérogénéité du terrain). Il faut attendre le vingtième jour, alors que le sol a déjà perdu une quinzaine de millimètres d'eau dans l'horizon 0-20 cm et une vingtaine dans l'horizon 0-40 cm, pour que la cohésion commence à augmenter. A partir de ce moment, elle augmente rapidement et le rythme d'augmentation diminue peu au fur et à mesure que s'avance la saison sèche. Il est regrettable que les

mesures de pénétrométrie se soient arrêtées prématurément le 1^{er} mars. On peut penser, d'après l'allure des courbes, que la cohésion a pu continuer à se développer encore pendant les trois derniers mois de la saison sèche, alors que l'évaporation, dans les horizons correspondants, était pratiquement stoppée à partir du 1^{er} mars.

Les graphiques II - 11 et II - 12 traduisent d'une autre manière ces mêmes faits. On a tracé ici, sur le premier graphique, les courbes du développement de la cohésion, traduite par la force de résistance à la pénétration en kilogrammes, en fonction du déficit de rétention en millimètres, dans les deux horizons 0-20 cm et 0-40 cm. Les deux courbes sont nettement distinctes.

Comme on le voit, il y a un certain temps de latence avant que la cohésion ne se développe, très rapidement dans l'horizon 0-20 cm, plus progressivement dans l'horizon 0-40 cm. Si l'on exprime les pertes d'eau en pourcentage du déficit de rétention et la cohésion en pourcentage de la plus forte cohésion observée (« coefficient de cohésion »), on observe que les points se groupent, pour les deux horizons considérés, autour d'une même courbe : la cohésion ne commence à se développer que lorsque plus de la moitié de l'eau contenue dans les horizons a disparu.

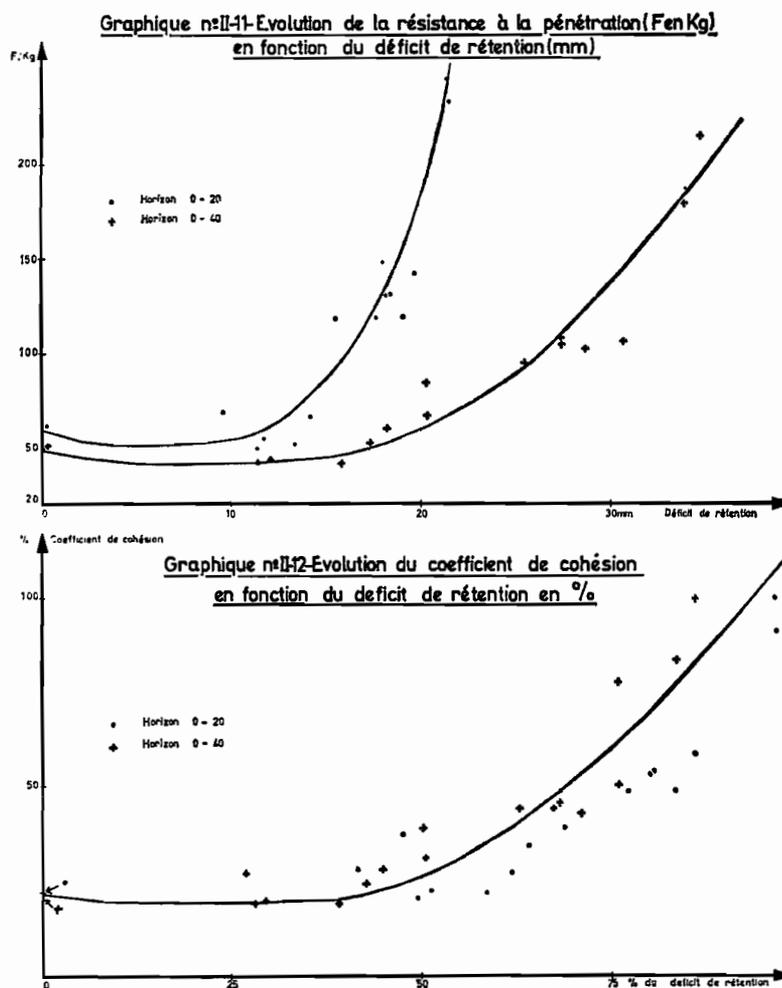
Graphique n°II-10-Courbes comparées en fonction du temps, de l'évaporation cumulée et du développement de la cohésion



De cet ensemble de données, il résulte que le développement de la cohésion que l'on observe au cours de la saison sèche dans les sols étudiés ne paraît pas s'effectuer au même rythme que le dessèchement de ces sols. Ceci peut sembler assez surprenant et en contradiction avec les observations de MAERTENS (28) qui note une augmentation exponentielle de la résistance à la pénétration dès que l'humidité s'abaisse au-dessous de la capacité de rétention. Bien qu'il y ait un lien de causalité étroit entre les deux processus de dessèchement et de développement de la cohésion, il faut admettre que dans l'expérience de Bambej

d'autres phénomènes viennent interférer dans le développement de la cohésion. Le départ d'eau par évaporation est suivi d'une augmentation de température dans tout le profil de sol. Cette augmentation est de l'ordre de 5° à 10° dans les horizons superficiels (5). Il se peut qu'après le dessèchement, cette augmentation de température joue un rôle dans le durcissement des ciments, fournissant ainsi une explication partielle au phénomène d'« hysteresis » observé entre dessèchement et développement de la cohésion dans le sol.

Quel qu'en soit le mécanisme exact, ce développement de la cohésion au cours de la saison sèche, se traduisant par une véritable prise en masse, est une caractéristique essentielle et générale de tous les sols situés dans la zone tropicale à longue saison sèche. Les forces de résistance à la pénétration peuvent être alors cinq à dix fois supérieures à ce qu'elles sont au cours de la saison des pluies. Ce fait a, comme on le verra, des conséquences importantes en ce qui concerne le travail profond du sol.



D) CONCLUSION

En pays tempéré, certains facteurs naturels peuvent jouer un rôle favorable dans l'amélioration du profil cultural : l'alternance des phases d'humectation et de dessiccation sur des sols suffisamment argileux et contenant une certaine proportion de montmorillonite ou d'illite peut, en particulier, avoir une incidence importante sur la division du sol en agrégats et le développement d'une structure. Dans certaines conditions, le gel peut également jouer un rôle favorable sur la structure (26).

En zone tropicale, aucun facteur naturel ne joue dans un sens favorable au développement de la structure. Bien au contraire, l'exceptionnelle agressivité des pluies, l'aridité et la durée de la saison sèche, la texture sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels des sols et la prédominance de la kaolinite dans les minéraux argileux sont autant de facteurs nettement défavorables qui joueront dans le sens de la dégradation du profil cultural et de la disparition de la structure. On peut en déduire que, dans les conditions naturelles, les propriétés physiques des sols, et en particulier leur structure, ne seront a priori guère favorables à l'installation d'une végétation cultivée ; il importe de voir maintenant dans quelles mesures les facteurs biologiques et l'intervention humaine pourront contribuer à créer un profil cultural satisfaisant à partir de conditions de départ médiocres, et à protéger ce profil cultural ainsi créé contre l'action très dégradante du climat.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Aménagement du Territoire, 1967. Quelques données pluviométriques de seize stations du Sénégal (période 1932-1965).
Minist. du Plan et du Dévelop. Aménagem. du Terr., Dakar.
- (2) AUBERT (G.), 1965. Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM.
ORSTOM, *Cahiers de Pédologie*, III, 3, 269-88.
- (3) BERTRAND (R.), 1967. Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays Baoulé (Côte-d'Ivoire).
Coll. sur la fert. des sols tropicaux (Tananarive, 19-25 nov. 1967), t. II, Com. n° 106, 1281-95.
- (4) BLONDEL (D.), 1965. Influence du travail du sol sur le profil cultural et les cultures.
In Rap. An. Div. d'Agropéd. IRAT/Sénégal, doc. mult., 427-36.
- (5) BONFILS (P.), FAURE (J.), 1955. Etude des sols du CRA/Bambey (carte au 1/10.000).
Annales du CRA/Bambey, 5-24.
- (6) —, —, 1956. Les sols de la région de Thiès (carte au 1/100.000).
Annales du CRA/Bambey, 5-92.
- (7) BOUYER (S.), 1959. Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole au Sénégal.
CCTA, III^e Conf. Interf. des Sols, Dalaba, II, 841-50.
- (8) BRUNET-MORET (Y.), 1964. Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique.
Paris, ORSTOM, 5 vol.
- (9) CHARREAU (C.), 1961. Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal.
L'Agr. Trop., XVI, 5, 504-62.
- (10) —, 1968. Pluie et érosion.
Com. présentée au Séminaire de Météo. et Climat. (Dakar, 27 juin 1968), Doc. mult. IRAT/Sénégal, 14 p.
- (11) —, 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
C.R. VII^e Cong. Int. du Génie Rural, Baden-Baden.
- (12) —, SCHOCH (P.G.), DANCETTE (C.), 1964-1968. Analyse de l'agressivité des pluies à Bambey et Séfa.
Rapports annuels de l'IRAT/Sénégal, Division de Bioclimatologie.
- (13) CHAUVEL (A.), 1966. Etudes physiques des sols à Séfa.
Centre ORSTOM, Dakar, rapp. mult. 56 p.
- (14) —, TOBIAS (C.). Quelques données sur les caractéristiques physiques et le pédoclimat des sols à Séfa (Casamance).
A paraître.
- (15) COCHEMÉ (J.), FRANQUIN (P.), 1967. Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique au sud du Sahara, en Afrique occidentale.
Projet conjoint d'Agroclimatologie FAO/UNESCO/OMM, FAO, Rome.
- (16) COINTEPAS (J.-P.), 1956. Premiers résultats des mesures de l'érosion en Moyenne-Casamance.
C.R. du VI^e Cong. Int. de la Sc. du Sol, Paris, VI-15, 569-76.
- (17) —, 1958. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa.
Centre ORSTOM, Dakar, doc. mult. 110 p.
- (18) CORMARY (Y.), MASSON (J.), 1964. Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherches du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet-type de la formule de perte de sols de WISCHMEIER.
ORSTOM, *Cah. de Pédologie*, II, 3, 3-26.
- (19) DELORME (G.A.), 1963. Répartition et durée des précipitations en Afrique occidentale.
Monographie de la Météorologie Nationale n° 28. Paris, Minist. des Travaux Publics et des Transports.
- (20) D'HOORE (J.L.), 1964. La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000.
Com. de Coop. Tech. en Afrique, Lagos.

- (21) FAUCK (R.), 1952. Les problèmes pédologiques en Moyenne-Casamance et leurs conséquences. Rapp. de la Station Exp. de la CGOT, Doc. mult.
- (22) —, 1955. Etude de pédologie de la région de Sédhiou (Moyenne-Casamance). *L'Agr. Trop.*, X, 6, 752-93.
- (23) FOURNIER (F.), 1960. Climat et érosion. Thèse Doct. ès lettres, Paris, PUF, Paris.
- (24) —, 1962. Notice explicative de la carte du danger d'érosion en Afrique au sud du Sahara. Document CEE-CCTA.
- (24 bis) GAUDEFRY-DEMOMBYNES (P.), CHARREAU (C.), 1961. Possibilité de conservation de l'humidité dans le sol pendant la saison sèche ; influence corrélative sur le degré d'ameublissement du sol. *L'Agr. Trop.*, XVI, 3, 238-54.
- (25) GOUJON (P.), 1968. Conservation des sols en Afrique et à Madagascar. Première partie : Les facteurs de l'érosion et l'équation universelle de WISCHMEIER. *Bois et forêts des Tropiques*, n° 118, mars-avril, p. 3-17.
- (26) HÉNIN (S.), FÉODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. Le profil cultural. Principes de physique du sol. Soc. d'Ed. des Ingén. Agric., Paris.
- (27) IRHO/Sénégal, 1961-1966. Comptes rendus de l'essai jachère-engrais vert-couverture à Darou. In Rapp. annuels de l'IRHO au Sénégal (doc. mult.).
- (28) MAERTENS (C.), 1964. La résistance mécanique des sols à la pénétration, ses facteurs et son influence sur l'enracinement. *Ann. Agr.*, 15 (5), 539-54.
- (29) —, Influence de quelques facteurs sur la fissuration des sols. *Sc. du Sol*, 1, 77-84.
- (30) POULAIN (J.-F.), CHARREAU (C.), 1967-1968. Mesures de pénétrométrie et d'humidité sur l'essai de Silane. Arch. Divis. d'Agropédologie, IRAT/Sénégal..
- (31) TOBIAS (C.), 1965. Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges : étude d'une topographie dans la région de Séfa. Centre ORSTOM, Dakar, Doc. mult., 116 p.
- (32) —, 1968. Mesure au laboratoire de la perméabilité d'échantillon de sols non remaniés. ORSTOM, *Cahiers de Pédologie*, IV, 2, 251-7.
- (33) WISCHMEIER (W.H.), 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, 246-9.
- (34) —, SMITH (D.D.), 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geo. Un.*, 39, 2, 285-91.
- (35) —, —, 1960. A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Trans. 7th Intern. Cong. Soil Sci.*, 1, 418-25.

CHAPITRE III

LES FACTEURS BIOLOGIQUES : FAUNE ET VEGETATION ET LEUR INFLUENCE SUR LE PROFIL CULTURAL ET LA PRODUCTIVITE AGRICOLE

Les facteurs biologiques susceptibles d'intervenir dans les modifications du profil cultural et d'avoir une incidence sur la production agricole sont la mésofaune et la végétation, naturelle et cultivée. Il faudrait y ajouter pour être complet la microflore et la microfaune du sol, mais ces problèmes ne seront pas pris en considération ici.

A) LA FAUNE DU SOL

La faune du sol a fait l'objet de peu d'études au Sénégal et dans la zone tropicale sèche en général. Son action sur le sol est donc assez mal connue, bien qu'un certain nombre d'indices donnent à penser qu'elle est loin d'être négligeable : des études systématiques devraient être entreprises dans ce domaine.

L'action de la mésofaune est importante sous forêt claire (Casamance) et se traduit dans l'horizon superficiel du sol (10 cm) par une amélioration très sensible de la porosité, de la structure et de l'ameublissement. Après mise en culture, cette action disparaît peu à peu complètement ; seul subsiste le travail des termites et fourmis, travail qui reste localisé et irrégulier et n'intéresse qu'une partie des champs cultivés. A l'échelle de la rotation, cette action ne modifie pas sensiblement le profil cultural.

Les vers de terre sont habituellement peu abondants et leur action assez faible. On a cependant noté, à Séfa, dans certaines parcelles cultivées d'une façon ininterrompue depuis une quinzaine d'années, l'apparition à la surface du sol de quantités importantes de déjections de vers, désignées communément sous le nom de tortillons ou de turricules (31). L'ensemble de ces déjections représente un tonnage important : 33 t/ha, soit une couche de terre d'épaisseur moyenne de 2,5 mm. Cette terre est beaucoup plus riche en bases échangeables et en matière organique que l'horizon qui les supporte. Leur incidence sur les propriétés physiques du sol n'a pas, jusqu'à présent, été examinée. Ces déjections ont été observées uniquement sur sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (sols beiges). Ces sols ayant subi, après déforestation, une modification du régime hydrique et ayant évolué vers des conditions d'hydromorphie de plus en plus accentuées, on pense que l'apparition de ces vers de terre en surface peut résulter de l'augmentation de l'engorgement dans l'horizon superficiel.

Dans les jachères herbacées ou arbustives, le travail de la mésofaune et même de la macrofaune (fouisseurs) prend à nouveau une certaine importance, sans pour autant avoir sur le sol les mêmes conséquences que sous forêt, il s'en faut même de beaucoup.

Faute de données précises concernant l'action de la mésofaune, nous nous limiterons à ces quelques observations, nous réservant de reprendre plus loin cette question, à l'occasion des études sur l'enfouissement de matière végétale dans le sol, où la mésofaune joue à nouveau un rôle important dans l'aménagement du profil cultural.

B) VEGETATION NATURELLE ET CULTURES DE LA ZONE

La végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée, est influencée par les caractéristiques du sol et notamment par ses propriétés physiques. Inversement, elle exerce une action directe sur les propriétés des sols et le profil cultural, et intervient ainsi indirectement sur les rendements agricoles des plantes qui lui succèdent. Avant d'examiner ces interactions entre caractéristiques du sol et végétation, on décrira rapidement la végétation naturelle et les plantes cultivées dans la zone étudiée en prenant pour exemple le cas du Sénégal.

1) LA VEGETATION NATURELLE

La végétation du Sénégal a fait l'objet d'une étude d'ensemble de la part de J. TROCHAIN (94), étude qui a été complétée depuis par de nombreuses études de détail. ROBERTY (85 bis) en a effectué la cartographie générale. Il n'est pas dans notre propos de résumer ces divers travaux, mais simplement de noter les aspects qui intéressent directement le sol et les cultures.

Les formations végétales naturelles du Sénégal varient considérablement du nord au sud, suivant le gradient de pluviométrie (300 mm à 1.800 mm) et la durée de la saison des pluies (2 mois à 6 mois). On passe ainsi progressivement de la steppe à épineux au nord à la savane à Combrétacées au centre et à la forêt claire à *Daniella oliveri* au sud. Dans toute la partie occidentale du Sénégal, où l'occupation humaine est importante et ancienne, il est exceptionnel de trouver des formations végétales correspondant à l'euclymax (sauf dans les forêts classées) : il s'agit presque partout de peni-climax. Cette remarque ne vaut pas pour la partie orientale, encore très peu peuplée.

Les terrains de culture sont rarement entièrement déboisés ; les paysans conservent en général dans leurs champs les essences forestières les plus intéressantes, soit par leurs fruits, soit par leur bois ; dans certains cas, il y a même un aménagement assez complet du paysage par constitution progressive d'un véritable parc arboré à partir d'essences sélectionnées (*Acacia albida*, en particulier). Le dessouchage est, par ailleurs, très incomplet. Lorsqu'un terrain de culture est abandonné en friche, il est d'abord colonisé par une végétation herbacée mais, dès la première année, les souches rejettent et le peuplement arbustif tend à se reconstituer. Au bout de quelques années, les friches ont un aspect buissonnant dans le nord, avec une dominance de *Guiera senegalensis*, et arbustif dans le sud, domaine des *Combretum* et *Terminalia*.

Toutefois, le couvert arbustif n'est réellement important et dense qu'après quatre ou cinq ans dans le sud, et une dizaine d'années dans le nord. Pour les jachères de courte durée, la végétation dominante est herbacée. Il faut noter que cette végétation est presque entièrement constituée de plantes annuelles. La seule graminée vivace qui arrive à franchir le barrage de la longue saison sèche est *Andropogon gayanus*. Encore cette plante n'arrive-t-elle à s'implanter qu'au bout de deux ou trois ans et ne colonise-t-elle que les terrains les plus sableux. Dans le sud du pays, on peut trouver également *Cymbopogon giganteum* et *Roetboellia exaltata*.

Les herbes se dessèchent pour la plupart dès le mois d'octobre-novembre ; certaines d'entre elles arrivent cependant à subsister jusqu'en janvier. Exception faite de l'*Acacia albida*, dont le cycle phénologique est inversé, les arbres perdent leur feuillage progressivement au cours de la saison sèche, pour le renouveler à la fin de celle-ci en mai-juin.

La production des jachères herbacées est toujours assez faible : elle varie de 0,5 t/ha de matière sèche dans le nord à un maximum de 8 t/ha dans le sud, dans les meilleures conditions de terrain. Dans la région centre (Bambey), une production de 2,5 t/ha peut être considérée comme normale (tableau III-2). Ces productions sont incomparablement plus faibles que celles des savanes tropicales humides ou équatoriales. LAUDELOUT (59) donne des exemples de diverses productions fourragères dans la cuvette congolaise : les rendements à l'hectare sont compris entre 16 t et 60 t, avec un maximum de 70 t pour *Pennisetum purpureum*.

La production annuelle de litière pour les arbres est peu connue. Cependant, DOMMERCUES (29) a évalué à 4,7 t/ha et 5,8 t/ha la quantité de litière produite chaque année en Casamance sous de jeunes teckeraies de 4 ans à 8 ans. D'après cet auteur, le chiffre de 5 t/ha représenterait une moyenne acceptable pour les forêts de la zone tropicale semi-humide (contre 15 t/ha en zone équatoriale). Plus récemment, JUNG (57) a estimé à 4,2 t/ha en moyenne la production annuelle de litière sous *Acacia albida*.

2) LES PLANTES CULTIVEES

Les cultures sous pluies pratiquées au Sénégal sont les cultures habituelles des zones sahélo-soudanaises et soudano-guinéennes.

Parmi les céréales, les mils *Pennisetum* dominent nettement au nord de la Gambie : mils hâtifs (100 jours à 120 jours) cultivés en auréole autour des villages sur des terrains enrichis par la fumure du bétail et les ordures ménagères : ils constituent l'alimentation de « soudure » par excellence ; mils tardifs (150 jours) cultivés en champs ouverts ou en association avec l'arachide. Les sorghos sont cultivés au nord de la Gambie sur les plaques de terrains plus argileux (dépressions interdunaires, sols dérivés de marnes, etc...). Leur culture prend de plus en plus d'extension au fur et à mesure que l'on va vers le sud. Il s'agit surtout de sorghos tardifs (150 jours), les sorghos hâtifs (100 jours à 120 jours) étant assez peu répandus.

Le maïs commence à faire son apparition au sud du Saloum, mais ne prend une certaine importance qu'en Casamance et dans la zone méridionale du Sénégal oriental. Il s'agit dans tous les cas de « culture de case », sur sols très enrichis par déjections du bétail et ordures ménagères.

Le riz pluvial ou « de plateau » a été introduit il y a une quinzaine d'années en Moyenne-Casamance et sa culture est restée pendant longtemps localisée à sa zone d'introduction ; il s'agit d'une culture semi-mécanisée pratiquée dans le cadre d'une société d'économie mixte. Depuis 1967, un effort de vulgarisation est fait pour développer la culture du riz pluvial dans la région méridionale du Sénégal.

Parmi les légumineuses, l'arachide est, de loin, la plus répandue. Sa culture occupe, au Sénégal, environ la moitié des terres cultivées (1 million d'hectares sur 2 millions d'hectares). Cette proportion tendait à s'accroître ces dernières années ; il semble qu'on assiste depuis peu à une stabilisation. La quasi-totalité des variétés utilisées actuellement sont des variétés à cycle long (120 jours). Les variétés hâtives à court cycle (90 jours à 100 jours) occupent des superficies restreintes dans la zone nord du pays.

Le niébé (*Vigna unguiculata*) est cultivé principalement en association avec le mil hâtif dans le nord du pays.

Enfin, le cotonnier est en nette progression dans la zone sud orientale.

Dans le tableau III-1 sont regroupées un certain nombre de données intéressant ces diverses plantes. Pour le semis, il s'agit de normes recommandées par les agronomes ; elles sont souvent fort éloignées des pratiques traditionnelles, elles-mêmes très diversifiées. La durée du cycle végétatif concerne l'ensemble des variétés, hâtives aussi bien que tardives. Les chiffres de rendements en grains et en pailles concernent trois niveaux de productions :

- un niveau minimum correspondant aux cultures traditionnelles peu soignées dans des zones défavorisées du point de vue sol ou climat ;
- un niveau maximum correspondant à une culture intensive sur sol fertile avec pluviométrie favorable ; ces chiffres ne sont toutefois pas des maxima absolus, tels qu'on peut les obtenir sur petites parcelles ;
- un niveau moyen qui est celui des productions habituelles de la zone Centre-Sénégal dans de bonnes conditions de culture (fertilisation minérale importante) ; les chiffres sur le riz et le maïs concernent la Casamance.

TABLEAU III-1
DONNÉES ÉCONOMIQUES ET AGRONOMIQUES CONCERNANT LES JACHÈRES ET CULTURES AU SÉNÉGAL

Caractéristiques Cultures	Données économiques *			Semis			Cycle végétatif Durée (jours)	Rendement grains ou gousses (t/ha)			Rendements pailles (t/ha)		
	Superficie cultivée × 1.000 ha	Production × 1.000 tonnes	Rendement moyen (kg/ha)	Mode	Écartement (cm)	Densité /ha		Minimum	Maximum	Moyen.	Minimum	Maximum	Moyen.
Jachères	—	—	—	—	—	—	130-200	—	—	—	1,0	10,0	3,0
Mil engrais vert	—	—	—	Volée - Poquets étalés ..	60	—	80-100	—	—	—	0,5	15,0	5,0
Mil grain	1.155	655	567	Poquets	100 × 100	10.000	90-150	0,3	3,0	1,5	2,0	18,0	9,0
Sorgho grain				Poquets	100 × 50	20.000							
Mais grain	72	87	1.205	Poquets	100 × 50	20.000	90-150	0,5	3,5	2,0	1,8	18,0	7,0
Riz pluvial				Poquets	90 × 25	45.000							
Arachide	1.114	1.005	865	Lignes	40	—	90-120	0,5	3,0	2,0	0,5	6,0	3,0
Niébé				Lignes	60 × 15	110.000							
Cotonnier	99	30	303	Poquets	40 × 15	167.000	120-180	0,3	2,5	1,0	0,5	4,0	1,5
	4,0	4,3	1.075	Poquets	50 × 40	50.000							
					90 × 20	55.000	150	0,4	3,5	1,5	0,6	6,0	3,0

* D'après le rapport annuel 1967-1968 de la Direction des Services Agricoles du Sénégal.

3) L'ENRACINEMENT DES PLANTES

a) GENERALITES

L'enracinement des plantes de zone tropicale sèche, cultivées ou non, n'a pas fait, jusqu'à présent, l'objet d'études systématiques.

Si un certain nombre d'observations ont été faites sur la morphologie des systèmes racinaires, leur extension latérale et verticale, on ne trouve, par contre, dans la littérature, que fort peu de données quantitatives sur les poids, longueurs et surfaces racinaires. La connaissance de ces divers éléments s'avère, cependant, au stade actuel, indispensable pour avoir une image correcte des horizons de sol exploités par les racines, apprécier les réactions du système racinaire aux conditions du milieu et aux interventions de l'agronome, tester l'action des racines sur la structure du sol et fournir des données sûres pour les calculs de bilan organique et minéral.

Dans la zone sèche d'Afrique de l'Ouest, il n'y a guère, à notre connaissance, qu'au Sénégal que ces études ont été entreprises et encore à une époque assez récente. Les résultats sont donc encore assez peu nombreux mais, vu le manque de données précises dans ce domaine, ils présentent un intérêt tout particulier ; il faut toutefois souligner leur caractère provisoire. Ainsi que cela a été mentionné dans un chapitre précédent, deux méthodes ont été utilisées concurremment pour l'étude de l'enracinement : une méthode globale avec déterrage complet du système racinaire, et une méthode par « sondages », au moyen de cylindres métalliques enfoncés horizontalement ou verticalement dans le sol en des sites repérés par rapport à la plante et à différentes profondeurs. Les deux méthodes se complètent. La deuxième, beaucoup plus facile d'emploi et plus généralisable, permet de mesurer la densité d'occupation racinaire par horizon de sol et d'en déduire, par extrapolation, les poids de racines. La première fournit, en outre, des données sur la longueur, la surface et la grosseur des racines, ainsi que sur leur répartition par classes.

C'est principalement en se fondant sur les résultats de ces études qu'a été établi le tableau III-2, rassemblant quelques données sur l'enracinement des plantes de jachères et des plantes cultivées dans la zone étudiée. Il faut souligner qu'il s'agit là de données estimatives et qu'il n'y faut pas voir autre chose que des ordres de grandeurs, susceptibles, d'ailleurs, d'être modifiés au fur et à mesure de l'avancement des études en cours.

Un certain nombre de conventions ont été adoptées pour l'établissement de ce tableau.

En ce qui concerne les profondeurs d'enracinement, on a fait figurer deux chiffres, l'un représentant la profondeur minimum, l'autre la profondeur maximum explorée par les racines lorsque les conditions sont favorables. Ce dernier chiffre ne doit pas être considéré comme la limite atteinte par les racines les plus profondes : il correspond à la tranche de sol contenant au moins 80 % du système racinaire. Quelques racines isolées peuvent descendre beaucoup plus bas que cette limite.

Pour la répartition des racines dans le plan horizontal, on doit naturellement se référer, pour les plantes cultivées, aux densités et écartements de semis habituellement pratiqués. A partir de ces données et des observations faites sur le terrain ont été estimées, pour les différentes cultures, les proportions de terrain colonisé par les racines par rapport à la superficie totale. Pour chaque culture, on a indiqué deux chiffres représentant les limites inférieures et supérieures de la variation.

L'intensité d'action sur la structure du sol a été appréciée par l'observation de profils culturaux ; trois gradations ont été retenues : action nulle, moyenne ou forte. Dans la première catégorie, on a classé les légumineuses cultivées et le cotonnier ; dans la seconde, les graminées de jachères et le mil engrais vert ; dans la troisième : les céréales traditionnelles, le maïs et le riz pluvial.

Les chiffres de production de paille ont été repris du tableau III-1, avec les mêmes conventions.

Les poids de racines à l'hectare ont été déduits des mesures par prélèvements globaux et par sondages effectués au Sénégal.

Il y a lieu de souligner ici les difficultés et les limites de cette démarche. Les mesures faites par la méthode des sondages portent, par le jeu des répétitions, sur un volume de terre de quelques décimètres cubes alors que l'extrapolation à l'hectare concerne un volume de 3.000 m³ à 5.000 m³ de terre. Le rapport entre le volume échantillonné et le volume global est donc de 1 à 10⁵ ou 10⁶. D'autre part, si pour les jachères les racines explorent uniformément la surface du terrain, il n'en est pas de même pour les plantes cultivées. Il faut donc s'assurer, dans ce dernier cas, de ce que l'ensemble des sondages effectués dans la zone de prélèvement est bien représentatif de la répartition moyenne de l'enracinement par rapport à la surface. Dans ce but, les calculs n'ont porté que sur les sondages effectués perpendiculairement à la ligne de semis. Dans le cas général, la zone de prélèvement couvre toute la largeur de l'interligne. On peut alors extrapoler directement à l'hectare à partir de la moyenne des sondages, après avoir vérifié, sur les zones de prélèvement parallèles à la ligne, qu'il n'y avait pas de gradient marqué le long de cette ligne ; ceci est habituellement vrai pour les semis suffisamment serrés. Dans certains cas (sorgho), la zone de prélèvement ne couvre pas toute la largeur de l'interligne et il faut alors faire une hypothèse sur la proportion de racines se trouvant en dehors de la zone de prélèvement. Ceci introduit une imprécision supplémentaire, qui ne semble pas, cependant, très grave.

Dans le cas des prélèvements globaux, les volumes de sol échantillonnés sont nettement plus élevés et de l'ordre de quelques mètres cubes. Le rapport entre volume échantillonné et volume global est donc plus grand que dans le cas des sondages ; il n'est toutefois jamais supérieur à 1/10³.

Malgré toutes ces imprécisions, on peut cependant estimer que les deux méthodes fournissent des ordres de grandeurs valables. Il n'y a pourtant pas un regroupement parfait entre les résultats obtenus par ces deux méthodes. Les études méthodologiques en cours permettront d'expliquer ces divergences et de situer les valeurs respectives des deux méthodes. Dès maintenant, on peut dire qu'il y a probablement une surestimation dans le cas des prélèvements par sondages. Mais, d'autre part, il pourrait y avoir également une sous-estimation dans le cas des prélèvements globaux (pertes de fines racines pouvant intervenir au cours des manipulations). Les poids réels se situeraient donc entre les valeurs indiquées par ces deux méthodes. Les prélèvements ont été faits habituellement au stade grain laiteux ou grain pâteux, et, parfois, à la récolte.

On a jugé utile de faire figurer, dans le tableau, des indications concernant les valeurs du rapport poids de l'appareil aérien/poids de l'appareil racinaire pour les différentes plantes. Faute de données précises dans ce domaine, beaucoup d'auteurs ont, en effet, utilisé ce rapport pour calculer la masse racinaire d'après celle des parties aériennes en faisant l'hypothèse qu'il avait, pour chaque plante, une valeur moyenne déterminée. C'est ainsi que, dans une étude sur le bilan organique des sols, GREENLAND et NYE (41) évaluent à 3 cette valeur pour les plantes herbacées de la jachère en zone de savane tropicale. L'examen des données du tableau III-2 montre que c'est bien, en effet, cette valeur moyenne que l'on retrouve pour les jachères et le mil engrais vert au Sénégal. On note cependant une certaine fluctuation des valeurs autour de cette moyenne. Malgré cela, on peut estimer qu'il existe, grossièrement, une relation de proportionnalité entre parties aériennes et racines dans le cas des jachères et engrais vert, et considérer comme approximativement valable, pour une première étape, la procédure estimative ci-dessus mentionnée. Cette démarche ne peut convenir, par contre, pour les plantes cultivées. Si dans ce dernier cas l'on observe, fréquemment, en effet, des régressions linéaires significatives entre parties aériennes (appareil végétatif + organes générateurs) et parties racinaires, les droites de régression ne passent pas par l'origine et la proportionnalité n'existe qu'à partir d'une certaine valeur de la masse racinaire. Ceci explique que l'on trouve, pour les rapports parties aériennes/parties racinaires des valeurs très variées, ainsi qu'on peut s'en rendre compte à l'examen du tableau III-2.

D'après les mesures faites au Sénégal, il semble qu'en général l'appareil racinaire réagisse moins à l'amélioration de la fertilité que les parties aériennes (tiges, feuilles et organes générateurs), de sorte que, dans de bonnes conditions de fertilité, le rapport parties aériennes/racines aura tendance à être élevé tandis qu'au contraire, en conditions médiocres, il serait assez faible. PELERENTS (74), travaillant sur

diverses variétés de riz pluvial au Congo, considère que ce rapport peut être assimilé à un indice de l'adaptation de la plante au milieu : plus il est élevé, mieux la variété serait adaptée. Les études faites au Sénégal n'ont cependant pas, jusqu'à présent, confirmé ce point de vue.

Après cette présentation d'ensemble, quelques précisions seront fournies maintenant sur l'enracinement des différentes plantes.

b) ENRACINEMENT DES PLANTES DE JACHERES

Les jachères dont il est question ici sont des jachères de courte durée (1 an ou 2 ans) incluses dans la rotation culturale. Ces jachères sont composées essentiellement de graminées annuelles à systèmes racinaires fasciculés et de diverses autres plantes (légumineuses, euphorbiacées, composées...) qui ont, en général, un système pivotant.

En partant du nord pour aller vers le sud du Sénégal, la masse racinaire des jachères s'accroît ainsi que l'épaisseur de la couche colonisée. Les racines de ces graminées sont, dans tous les cas, assez fines. Le système racinaire le plus puissant est celui d'*Andropogon gayanus*, qui est la seule graminée vivace des jachères. Les racines sont assez grosses et descendent en profondeur ; elles sont par contre presque lisses et comportent peu de radicelles et poils absorbants. Quelques autres graminées pérennes introduites telles que *Panicum coloratum*, *P. antidotale*, *Cenchrus setigerus* et *C. ciliaris* sont susceptibles de développer un système racinaire puissant, profond et très bien fasciculé lorsque les conditions de terrain sont favorables. Comme on le verra plus loin, le travail du sol a une influence remarquable sur le développement racinaire de ces graminées.

L'enracinement des jachères a été étudié par NICOU et THIROUIN (71) ainsi que par MERLIER (63). Ces auteurs ont utilisé la méthode des profils culturaux complétée par celle de prélèvements par cylindre enfoncé horizontalement. Les racines explorant la quasi-totalité de la superficie couverte par la jachère, il est facile de passer de la densité d'occupation racinaire, exprimée en g/dm³ au tonnage de racines à l'hectare, avec cependant toutes les réserves faites plus haut sur la précision des valeurs ainsi obtenues.

TABLEAU III-2
DONNÉES ESTIMATIVES CONCERNANT L'ENRACINEMENT DES JACHERES ET DES PRINCIPALES CULTURES

Caractéristiques Cultures	Mode d'enracinement			Poids de racines (kg/ha)			Parties aériennes (pailles + grains) (kg/ha)			Rapport parties aériennes/ parties racinaires en fin de cycle		
	Profondeur (cm)	Superficie couverte	Intensité d'action sur la structure	Minimum	Maximum	Moyen.	Minimum	Maximum	Moyen.	Minimum	Maximum	Moyen.
Jachères	10-20	90-100	+	200	7.000	1.000	500	10.000	3.000	1,0	6,0	3,0
Mil engrais vert ..	15-25	80-100	+	200	3.000	1.700	500	15.000	5.000	1,5	5,0	3,0
Mil grain	20-40	10-40	++	400	3.000	1.500	2.300	21.000	10.500	—	—	7,0
Mais	20-40	35-70	++	300	4.000	2.000	800	11.000	5.500	2,0	8,5	5,0
Sorgho	20-40	25-40	++	400	4.000	1.000	2.300	21.500	9.000	3,5	20,0	9,0
Riz pluvial	15-30	50-90	++	300	3.000	1.000	1.000	9.000	5.000	2,0	9,0	5,0
Arachide	20-40	50-80	0	400	1.500	800	2.200	8.500	4.500	1,5	9,0	4,0
Niébé	20-40	50-80	0	150	1.300	500	800	6.500	2.500	—	—	5,0
Cotonnier	50-80	50-80	0	150	1.500	750	1.000	9.500	4.500	—	—	6,0

Les auteurs précités ont étudié une vingtaine de situations au Sénégal. Les poids de racines varient entre 0,79 t/ha et 7,75 t/ha avec une moyenne de 2,07 t/ha. Les valeurs correspondantes de matière sèche produite par l'appareil végétatif s'étagent entre 2 t/ha et 10 t/ha, avec une moyenne de 4,8 t/ha. Les valeurs du rapport parties végétatives/système racinaire vont de 0,89 à 5,40, avec une moyenne de 3,2. Le tonnage de racines est particulièrement important à Séfa où il se trouve être quatre à cinq fois plus élevé que dans le reste du Sénégal. C'est à Séfa que le chiffre record de 7,75 t/ha a été obtenu, correspondant à une densité d'occupation racinaire moyenne de 1,72 g/dm³ sur une couche de 45 cm de profondeur (3,41 g/dm³ dans la couche 0 à 10 cm). Corrélativement, le rapport parties végétatives/système racinaire accuse ici ses valeurs les plus basses puisqu'il ne dépasse généralement pas 2.

Sauf dans le cas d'un sol préalablement travaillé, l'enracinement des graminées annuelles est peu profond. Après examen des profils culturaux, il a été jugé suffisant de prélever jusqu'à 30 cm dans les zones nord et centre du Sénégal et jusqu'à 45 cm dans la zone sud (trois niveaux dans chaque cas). La proportion de racines concentrées dans l'horizon superficiel (0 à 10 cm) varie entre 60 % et 75 %. Il n'y en a guère plus de 10 % à 15 % dans la couche la plus profonde (20 à 30 cm dans les zones nord et centre, 30 à 40 cm dans la zone sud).

c) ENRACINEMENT DES CEREALES

Les céréales ont un système racinaire fasciculé, en forme de cône à grand angle d'ouverture. Dans l'ordre de grosseur décroissante des racines, les plantes se classent habituellement ainsi : maïs, sorgho, mil, riz. Quand les conditions de terrain sont favorables, les racines principales sont abondamment pourvues de radicelles et poils absorbants.

Le développement du système racinaire, sa répartition en profondeur, sa fasciculation sont très variables suivant l'écologie, les techniques culturales et la fertilisation.

Les études par la méthode « globale » n'ont concerné, jusqu'à présent, que le sorgho et le riz pluvial. Par contre, des études par la méthode des sondages ont été réalisées sur les quatre céréales. Les prélèvements ont été effectués à trois niveaux dans une tranche de sol de 30 cm (nord du Sénégal) ou 45 cm (sud) de profondeur. Chaque situation étudiée, correspondant en général à un traitement d'un essai de techniques culturales, représente une moyenne de 200 à 500 prélèvements unitaires.

Le mil engrais vert ou mil fourrage est semé en lignes continues espacées de 60 cm. Les prélèvements sont faits perpendiculairement à la ligne de semis. Les racines explorent la quasi-totalité de la superficie mais ne descendent pas très profondément ; elles sont souvent de faible diamètre (forte densité de semis).

Cinq situations ont été étudiées par NICOU et THIROUIN (71). La quasi-totalité des racines sont concentrées dans la couche 0 à 20 cm dans la zone nord et 0 à 30 cm dans la zone sud ; il y en a moins de 10 % dans le niveau inférieur (20 à 30 cm ou 30 à 45 cm). Les tonnages de racines trouvés expérimentalement vont de 1,27 t/ha à 3,30 t/ha avec une moyenne de 2,0 t/ha. Les rapports partie végétative/système racinaire s'étagent entre 1,42 et 4,10 avec une moyenne de 2,9.

VIDAL (95) a étudié l'enracinement du **mil grain** dans des conditions de culture artificielle : plant isolé en bac de végétation de vastes dimensions ; treillis métalliques incorporés dans la terre du bac de façon à conserver, après nettoyage au jet, la disposition du système racinaire. Dans ces conditions il observait un développement racinaire très important, certaines racines descendaient jusqu'à 1,50 m de profondeur, 90 % de la masse racinaire étant cependant concentrée à moins de 1 m de profondeur. L'enracinement était développé suivant une symétrie radiale.

Les observations faites en plein champ ne montrent pas, habituellement, un système racinaire aussi développé. Le mil est semé en poquets à l'écartement de 1 m. La symétrie radiale de l'enracinement est souvent altérée par les hétérogénéités du terrain. Les fosses de prélèvements sont faites à cheval sur les lignes, à 5 cm ou 10 cm du pied. Une vingtaine de situations ont été étudiées (71) mais une dizaine seulement, concernant uniquement Séfa, sont exploitables pour le calcul de la masse racinaire. Celle-ci varie, à Séfa, de 1,94 t/ha à 2,98 t/ha avec une moyenne de 2,3 t/ha. Les rapports partie végétative/système racinaire n'ont pas été mesurés. En culture hydroponique, JACQUINOT (53) trouve pour une espèce particulière de mil (*Pennisetum gibbosum*), en fin de cycle végétatif, une valeur de 6.

Le mil étant semé à grand écartement et la plus grande densité racinaire se trouvant près de la touffe, la prospection du terrain par les racines est inégale : la plupart des racines se trouvent concentrées dans une zone représentant au maximum 40 % de la superficie.

En profondeur, la répartition est variable. Dans les mesures faites à Séfa, il y avait en moyenne 66 % des racines dans la couche 0 à 15 cm, 32 % dans la couche 15 à 30 cm et 2 % dans la couche 30 à 45 cm. BLONDEL (7) a noté que sur un sol non travaillé, à Bambey, l'enracinement descendait à 1 m de profondeur, 45 % des racines se trouvant entre 20 cm et 1 m ; par contre, à Séfa, sur un terrain labouré, la totalité des racines était concentrée dans la couche superficielle (0 à 20 cm), les racines ne descendant pas au-dessous du fond du labour.

L'enracinement du **maïs** a été étudié à Séfa et à Sinthiou-Malème (71). Les poids de racines calculés à partir des sondages vont à Séfa de 1,47 t/ha à 3,91 t/ha avec une moyenne de 2,59 t/ha pour sept cas. A Sinthiou, les valeurs correspondantes sont nettement plus faibles puisqu'elles vont de 1,24 t/ha à 2,31 t/ha avec une moyenne de 1,66 t/ha pour 21 cas étudiés. Il est vrai que les prélèvements de Sinthiou-Malème ne portaient que sur une tranche de sol de 30 cm d'épaisseur contre 45 cm à Séfa.

Les rapports parties aériennes/racines, mesurés à Sinthiou-Malème, oscillent entre les valeurs de 2,2 et 8,3 avec une moyenne de 5,2. Les prélèvements effectués au stade floraison indiquent que l'appareil racinaire est encore peu développé à ce stade puisque, en poids, il ne représente que 40 % à 50 % de sa valeur au stade grain laiteux-pâteux.

Le semis du maïs est effectué en lignes espacées de 90 cm et à 25 cm d'écartement sur les lignes. Dans ces conditions, on estime que la surface intensément prospectée par les racines représente au maximum environ 70 % de la surface totale. BERGER (4) rapporte que sur sol argileux aux États-Unis le système racinaire du maïs peut se développer autour du pied dans un cercle de 85 cm de rayon et descendre jusqu'à une profondeur de 60 cm. Dans les sols sablo-argileux du Sénégal, il ne semble pas que le volume prospecté par les racines puisse être aussi important. Les sondages effectués à Séfa montrent qu'il y a en moyenne 60 % de racines dans la couche 0 à 15 cm, 37 % dans la couche 15 à 30 cm et seulement 3 % à 4 % dans la couche 30 à 45 cm.

CHOPART et NICOU (23) ont conduit récemment à Bambey une étude sur l'enracinement d'un sorgho à pailles courtes (variété 63-18) dans deux conditions de fertilité : un témoin et un traitement avec labour et engrais. Des plants de sorgho ont été soigneusement déterrés à différentes étapes de la vie de la plante (levée, tallage, montaison, épiaison, récolte) et il a été procédé, sur ces prélèvements, à une étude complète de l'enracinement avec mesures de poids, de longueurs, de diamètres, distinction entre racines adultes, racines jeunes et racinelles, répartition dans le sol, estimation des surfaces. A cette occasion, des comparaisons ont été faites avec l'enracinement d'une autre variété de sorgho (Congossane) ainsi qu'entre plusieurs méthodes de prélèvements. Par ailleurs, NICOU et THIROUIN (71) ont procédé, à Nioro et Sinthiou-Malème, à des séries de prélèvements par sondages sur des essais de techniques culturales.

Dans ce dernier cas, l'évaluation des poids de racines à l'hectare, à partir des chiffres de densité d'occupation racinaire, est assez délicate, car les fosses de prélèvement ne couvrent pas toute la largeur de l'interligne. Une estimation est cependant possible ; elle fournit pour les quatorze cas étudiés des valeurs allant de 1,28 t/ha à 4,64 t/ha avec une moyenne de 2,25 t/ha. Les rapports partie végétative/système racinaire sont très fluctuants puisqu'ils vont de 3,6 à 14,9 avec une moyenne de 7,4.

Dans l'étude réalisée à Bambey par la méthode globale, les poids de racines calculés à l'hectare sont beaucoup plus faibles, puisqu'ils vont de 0,66 t/ha à 1,02 t/ha, malgré une croissance végétative satisfaisante (6,10 t/ha à 15,10 t/ha de paille à la récolte). Dans les mêmes conditions, les prélèvements par sondages donnaient des valeurs environ 1,8 fois plus fortes. Ceci illustre ce qui a été dit plus haut des différences entre les deux méthodes et de la surestimation probable de la méthode par sondages. Par ailleurs, il convient de remarquer que, dans l'essai de Bambey, le sorgho avait été semé à une densité inférieure de moitié à la normale, ce qui peut expliquer également les faibles tonnages à l'hectare (l'extrapolation à l'hectare se faisant, dans la méthode globale, par l'intermédiaire du nombre de plantes).

L'étude de l'évolution dans le temps du système racinaire montre que celui-ci se développe surtout entre la période de tallage et celle de la montaison, la phase de croissance rapide, pour l'appareil végétatif, se situant entre la montaison et l'épiaison. Il s'ensuit que le rapport parties aériennes sur parties racinaires varie dans de fortes proportions au cours de la croissance. Il est minimum à la montaison (2,5 à 3,9) et augmente ensuite jusqu'à la récolte (12,3 sur le témoin et 20,5 en sol labouré et fumé). A ce moment, la masse racinaire est composée à peu près pour moitié de racines adultes et de racinelles. Le diamètre moyen des racines adultes est un peu supérieur à 1 mm, la longueur moyenne va de 44 cm à 48 cm. La longueur totale des racines par plant a été estimée à la récolte à 32 km sur le témoin et 44 km sur le sol labouré et fumé. Le maximum de longueur racinaire est atteint au moment de la floraison. Les valeurs de surface racinaire totale sont de 9 m² sur le témoin et de 12 m² sur le sol labouré et fumé.

Dans les conditions de l'expérience de Bambey, l'enracinement du 63-18 s'arrêtait à 90 cm de profondeur, alors que celui du Congossane descendait jusqu'à 1,30 m. Mais, dans tous les cas, plus de 90 % de la masse racinaire se trouvait concentrée dans les 30 cm superficiels (dont 45 % à 56 % dans l'horizon 0 à 10 cm). Les sondages effectués à Nioro et Sinthiou-Malème indiquent une décroissance encore plus rapide de la densité d'occupation racinaire avec la profondeur : sur une tranche de 30 cm, on trouve en moyenne 80 % des racines dans l'horizon 0 à 10 cm, 16 % dans l'horizon 10 à 20 cm et 4 % seulement dans l'horizon 20 à 30 cm. Les chiffres de profondeur d'enracinement mesurés à Bambey sont à rapprocher des observations faites par LEA (60) au Soudan, sur sol argileux : dans ces conditions, l'enracinement d'un sorgho nain descendait jusqu'à 114 cm, la vitesse d'élongation des racines correspondant sensiblement à la progression du front d'humidité dans le sol.

La méthode de prélèvement global a été également appliquée au riz pluvial par SÉCUI, NICOU et HADDAD (90). L'expérience, conduite à Séfa, avait pour objet de comparer l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial : Taïchung native n° 1, IR 8, Iguape Cateto et 63-83 en présence ou en absence

de travail du sol. Les mesures réalisées au stade grain laiteux montrèrent une forte action du labour sur la masse racinaire qui devient double de celle du témoin sans travail. On note également à cette occasion les différences d'appréciation du poids de racines à l'hectare entre les deux méthodes. Par prélèvement global, la masse racinaire est évaluée à 0,60 t/ha sans travail du sol et 1,22 t/ha sur labour, en moyenne, pour les quatre variétés. Les chiffres de sondages correspondants sont respectivement 1,23 t/ha et 2,58 t/ha, soit le double des précédents. Là encore, il semble qu'il y ait sous-estimation d'un côté et surestimation de l'autre. Les prélèvements par sondages effectués l'année précédente (1968) indiquaient des valeurs comprises entre 1 t/ha et 2 t/ha.

Dans les conditions de Séfa, sur une tranche de 30 cm de profondeur, la grande majorité des racines (75 % à 95 %) se trouve concentrée dans les vingt centimètres superficiels ; le labour accroît nettement la proportion de racines dans l'horizon 10 à 20 cm aux dépens de l'horizon 0 à 10 cm. On trouve cependant quelques racines en dessous de 50 cm de profondeur. Le riz étant semé en lignes continues à 40 cm d'écartement, la quasi-totalité de la superficie est colonisée par les racines en conditions de bonne culture.

Les rapports parties aériennes/parties racinaires mesurés à Séfa vont de 4,2 à 9,2 avec une moyenne de 6,4 pour sept cas. Au Congo, PELERENTS (74) trouve pour ces rapports des valeurs qui s'étagent, à la récolte, entre 3,2 et 8,7 ; les valeurs sont influencées à la fois par le type de sol et la variété. D'après cet auteur, la valeur de ce rapport serait un indice de l'adaptation de la variété au milieu : l'adaptation serait d'autant meilleure que le rapport serait plus élevé. Ceci ne semble pas vérifié à Séfa.

L'étude par prélèvements globaux réalisée à Séfa a surtout fait apparaître l'insuffisance de la mesure pondérale pour la caractérisation du système racinaire. Les poids de racines des différentes variétés sont, en effet, à peu près semblables, alors que la simple observation permet de noter des différences morphologiques très sensibles entre les systèmes racinaires des variétés. Les variétés asiatiques « Taïchung native n° 1 » et « IR 8 » présentent en effet un ensemble de fines racines très fasciculées qui contraste fortement avec le système racinaire plus grossier et moins divisé du 63-83 et de l'« Iguape Cateto ».

Les mesures de longueurs, de diamètre et de surface effectuées sur racines principales et secondaires permettent d'apprécier, quantitativement, ces différences. Les longueurs moyennes de racines principales varient peu d'une variété à l'autre. Par contre, si l'on considère la longueur totale des racines dans le parallélépipède de prélèvement (32 dm³), des différences très sensibles apparaissent ; elles sont dues essentiellement à la longueur des racines secondaires, c'est-à-dire au degré de ramification, car la longueur des racines principales intervient pour moins de 5 % dans le total (sauf pour le 63-83 : 9 %). Sur le témoin sans travail, les longueurs totales de racines sont de 0,7 km pour le 63-83, 2,5 km pour l'Iguape Cateto, 3,3 km pour le Taïchung et 4,6 km pour l'IR 8. Sur le labour, les longueurs sont multipliées par un coefficient variant de 1,4 à 2,5 suivant les variétés, mais le classement reste le même. Le diamètre de toutes les racines varie en fonction du degré de ramification.

Ces différences se retrouvent dans les surfaces racinaires qui, sur le témoin, sont de 34 dm² pour le 63-83, 77 dm² pour l'Iguape Cateto, 71 dm² pour le Taïchung et 97 dm² pour l'IR 8. Sur labour, ces valeurs sont multipliées par des coefficients allant de 1,5 à 2,5 sans que le classement des variétés en soit affecté.

Au total, des différences importantes se manifestent entre les variétés. Le 63-83 et, dans une moindre mesure, l'Iguape Cateto, ont un enracinement assez grossier, susceptible d'avoir une bonne capacité de pénétration et de pouvoir tirer parti de conditions de sols peu favorables (compacité, pauvreté chimique). Le TN 1 et l'IR 8 ont un enracinement plus ramifié, plus fin et plus enchevêtré : la prospection du sol est certainement bien meilleure, mais, en contrepartie, ces variétés risquent d'être plus sensibles à des conditions de sols médiocres.

D'après ces observations, il pourrait se révéler intéressant de prendre en considération, comme critères de sélection, les caractéristiques du système racinaire.

d) ENRACINEMENT DES LEGUMINEUSES CULTIVEES

La morphologie du système racinaire de l'arachide a été étudiée à Bambey par ORGIAS (73). En fin de cycle végétatif, le pivot de l'arachide peut descendre jusqu'à 1 m de profondeur. Il a une abondante fasciculation dans les 20 cm superficiels. Les racines secondaires ont d'abord une direction horizontale puis descendent en profondeur. De 20 cm à 70 cm, il n'y a pratiquement pas de racines secondaires sur le pivot ; la fasciculation reprend au-dessous de 70 cm. Les nodosités sont concentrées presque exclusivement dans la zone superficielle (0 à 25 cm). Environ 50 % des racines se trouvent dans cette même zone.

La plupart des racines, à l'exception du pivot, sont très fines. Dans cette étude, le rapport entre parties végétatives et système racinaire a été trouvé voisin de 3.

GAUTREAU (35), qui a examiné le système racinaire d'une dizaine de variétés, trouve pour ce rapport des valeurs très variables allant de 1,8 à 9,3 avec une moyenne de 4,9 ; dans les conditions de l'expérience menée à Bambey, les évaluations de poids de racines allaient de 445 kg/ha à 1.330 kg/ha.

LEA (60) trouve des profondeurs d'enracinement très importantes pour l'arachide puisqu'elles vont de 96 cm en sol argileux du Soudan à 173 cm dans un sol à texture moyenne au Tanganyika. Dans ce dernier cas, la vitesse d'élongation moyenne est de 17,3 mm par jour pendant cent jours, mais elle peut atteindre 31,5 mm/jour pendant les dix premiers jours. En sol argileux, la vitesse d'élongation moyenne est moins élevée (17,5 mm/jour).

Le niébé a également un système pivotant, le pivot étant généralement plus gros que celui de l'arachide. Comme pour cette dernière plante, la fasciculation est localisée surtout dans la couche superficielle. Le pivot paraît également s'implanter assez profondément. Aucune mesure précise n'a été faite, à notre connaissance, sur l'enracinement du niébé. On a estimé à 5,0 la valeur moyenne du rapport parties aériennes/parties racinaires et évalué, sur cette base, les masses racinaires.

e) ENRACINEMENT DU COTONNIER

L'enracinement du cotonnier n'a pas été jusqu'à présent étudié au Sénégal, sinon en profils culturaux. La tige principale se continue par une racine pivotante qui peut s'enfoncer à plus de 1 m dans le sol. Des racines latérales partent du pivot et progressent horizontalement, constituant des étages successifs ; elles peuvent se diviser. L'ensemble des racines et radicelles peut prendre un développement important et de façon assez rapide (58).

LEA (60) constate que, dans un vertisol du Soudan, la profondeur d'enracinement du cotonnier atteint 80 cm avec une vitesse d'élongation moyenne de 7,6 mm pendant 107 jours (34,4 mm/jour pendant les quatorze premiers jours). Sur sol sableux (« sables roux ») à Madagascar, BERGER et BERTRAND (5) trouvent que plus de 80 % des racines sont concentrées dans la couche 0 à 60 cm ; quelques racines descendent cependant en dessous de 1 m. Le poids de racines est de 750 kg/ha à 800 kg/ha.

Faute de données plus précises, la valeur de 6,0 a été adoptée comme rapport moyen entre parties aériennes et système racinaire pour l'ensemble du Sénégal et les calculs de masses racinaires ont été effectués sur cette base.

4) LIAISONS ENTRE L'ENRACINEMENT, LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION

Un enracinement développé et profond offre à la plante de meilleures garanties d'alimentation en eau et sels minéraux qu'un système racinaire médiocre et superficiel. C'est pourquoi il n'est pas étonnant qu'on observe assez souvent une certaine proportionnalité entre développement du système racinaire et développement du système végétatif des plantes cultivées. Pour la même raison, on peut s'attendre à trouver une liaison du même type avec la production en grains, chaque fois que le développement du système racinaire peut jouer le rôle de facteur limitant pour la culture. C'est ce qu'on a observé de nombreux auteurs, travaillant sur des plantes très variées, un peu partout dans le monde, et ce qui a été confirmé au Sénégal par BLONDEL (6), NICOU et THIROUIN (71), CHOPART et NICOU (23).

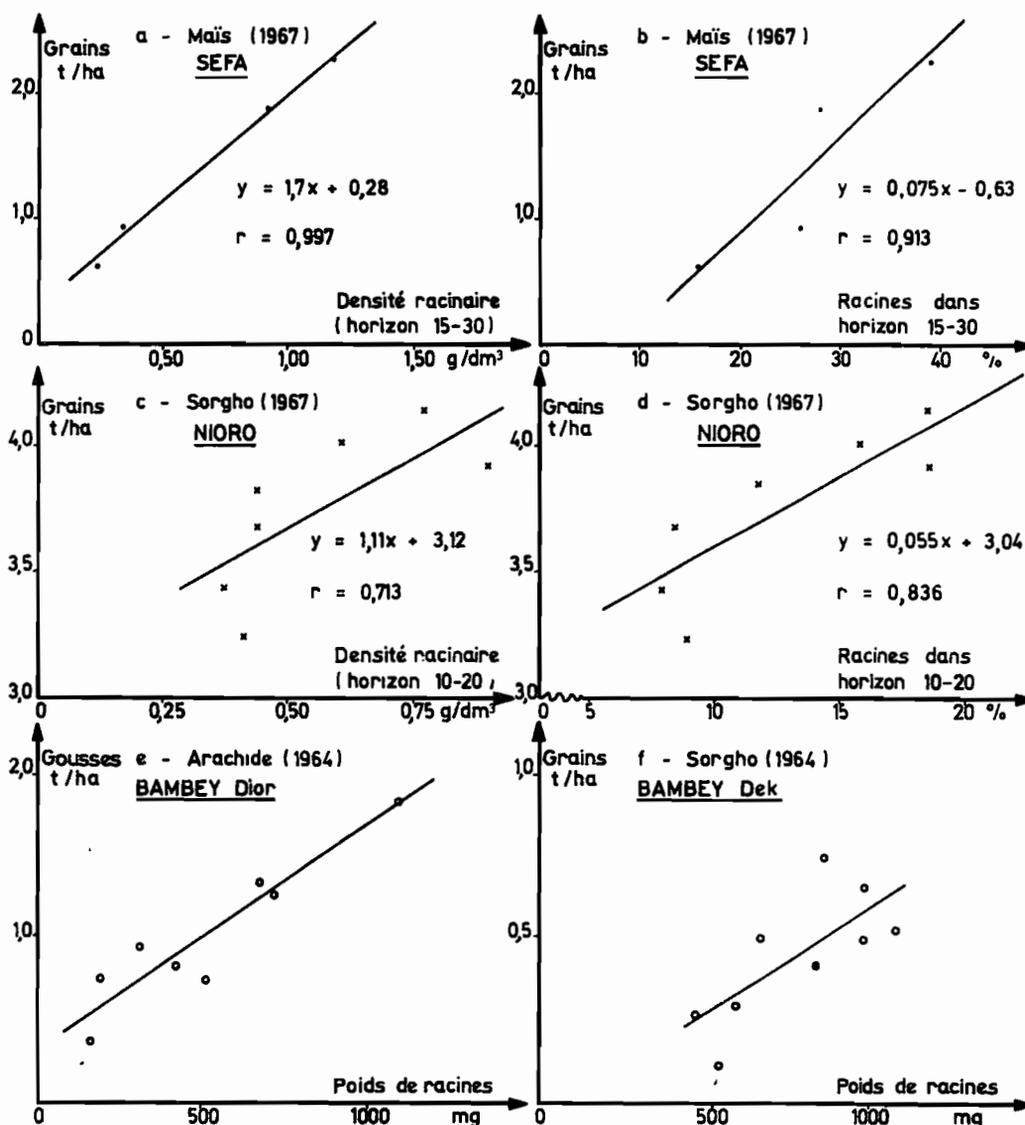
Les corrélations entre le développement du système racinaire et les rendements en grains, mises en évidence par ces auteurs, sont figurées sur le graphique III-1. Elles intéressent trois plantes : arachide, sorgho et maïs, et trois écologies différentes : Bambey, Nioro et Séfa. Les prélèvements ont été effectués sur des essais de techniques culturales : essais « Modes de préparation × Dates de semis » à Nioro, « Labour de fin de cycle » à Séfa, « Travail du sol × Fertilisation » à Bambey. A ce dernier emplacement, deux types de sols étant concernés : sol « dior » pour l'arachide, sol « dek » pour le sorgho. Les prélèvements racinaires étaient faits par sondages au moyen de tubes de faible diamètre (5 cm à 6 cm) introduits horizontalement (Séfa et Nioro) ou verticalement (Bambey) dans le sol, dans des positions définies par rapport à la plante. Les résultats ont été exprimés en poids de racines par plante à Bambey et concernent l'ensemble des prélèvements effectués à trois niveaux (0 à 10 cm, 10 à 20 cm et 20 à 30 cm). A Nioro et Séfa, les prélèvements racinaires concernent ici l'horizon intermédiaire (10 à 20 cm ou 15 à 30 cm) et sont exprimés, soit en densité d'occupation racinaire, soit en pourcentage du poids de racines dans l'horizon intermédiaire par rapport à l'ensemble des trois niveaux de prélèvements. Les rendements des cultures ont été mesurés sur la superficie totale des parcelles d'essai concernées par les prélèvements racinaires.

Dans tous les cas étudiés, les liaisons entre enracinement et rendements sont linéaires ; les probabilités des liaisons calculées à Séfa et à Nioro sont supérieures à 0,99. Les corrélations à Séfa et Nioro sont meilleures pour l'horizon intermédiaire que pour l'ensemble des horizons prélevés.

Graphique n°III - 1

Liaisons entre enracinement et rendements sur différentes plantes

D'après NICOU et THIROUIN (1968) a-b-c-d- BLONDEL (1965) e-f



Dans une étude récente, CHOPART et NICOU (23), utilisant la méthode des prélèvements globaux pour l'enracinement du sorgho ont examiné, par plant individuel, les liaisons entre poids de racines et poids de grains. Ils ont trouvé, entre ces deux variables, des régressions linéaires positives et hautement significatives.

En appelant x le poids de racines par plant en g et y le poids de racines par plant en g, on obtient, pour deux variétés de sorgho, les relations suivantes :

pour le congossane,

$$y = 2,49 x - 62,5 \text{ avec } r = 0,749^{++}, n = 11 ;$$

pour le 63-18,

$$y = 9,225 x - 388,7 \text{ avec } r = 0,994^{+++}, n = 6.$$

Dans ce dernier cas (63-18), l'équation de régression liant l'ensemble des parties aériennes ($y =$ pailles + panicules) au système racinaire (x) était la suivante :

$$y = 33,57 x - 1.316 \text{ avec } r = 0,954^{+++}, n = 6.$$

C) INFLUENCES RECIPROQUES ENTRE PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL ET VEGETATION

Les propriétés physiques du sol ont une influence importante sur la végétation, par l'intermédiaire de l'enracinement. Mais inversement, la végétation est susceptible de modifier, dans de notables proportions, les propriétés physiques du sol, et en particulier la structure. C'est pourquoi on parlera d'interaction ou d'influence réciproque entre ces deux séries de facteurs.

On examinera d'abord l'influence des propriétés physiques du sol sur la végétation, puis celle de la végétation sur les propriétés physiques du sol.

1) LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL INFLUANT SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTION VEGETALE

Toutes les propriétés physiques des sols, qu'il s'agisse de texture, structure, perméabilité, caractéristiques et régime hydriques, cohésion, interviennent sur la croissance végétale par le biais de l'enracinement et de l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Il est, par ailleurs, difficile de vouloir caractériser isolément l'action de chaque facteur, car la plupart d'entre eux sont interdépendants. Il est, par exemple, à peu près impossible de modifier la compaction d'un sol sans modifier du même coup sa cohésion et sa perméabilité.

L'une de ces caractéristiques a retenu plus particulièrement l'attention des spécialistes et semble donc très importante du point de vue agricole : il s'agit de la **porosité**. Très nombreux sont en effet les auteurs qui, dans des régions très variées et sur des plantes diverses, ont mis en évidence l'influence favorable d'un accroissement de porosité sur l'enracinement des cultures et sur leurs rendements. Sans prétendre faire une revue exhaustive de ces travaux, citons entre autres : aux Etats-Unis, TAYLOR et GARDNER (91) sur cotonnier, TAYLOR et RATLIFF (92) sur cotonnier et arachide, PHILIPS et DON KIRKHAM (76) sur maïs, MEREDITH et PATRICK (62) sur sorgho fourrager ; en Allemagne, GLIEMEROTH, KAHNT et SIDIRAS (38) sur orge et maïs, GEISLER (36) sur céréales et pois ; en France, MAERTENS (61) sur orge et maïs.

La valeur de 40 % de porosité est souvent citée comme une valeur seuil en dessous de laquelle l'enracinement ne se développe pas ou mal, ce qui entraîne des baisses de rendement importantes : SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN (89), HIDDING et Van Den BERG (44). Toutefois, VIEHMEYER et HENDRICKSON (96) ont souligné le fait que l'incidence des variations de densité apparente sur le développement racinaire dépendait étroitement du type de texture du sol.

Au Sénégal, des observations similaires ont été faites sur sols sableux et sablo-argileux. Le graphique III-2 fournit quelques exemples de relations entre densité apparente et enracinement, d'une part, densité apparente et rendements, d'autre part. BLONDEL (6) a étudié ces relations à Bambey sur arachide en sol « dior » et sur sorgho en sol « dek » ; NICOU et THIROUIN (71) les ont mises en évidence à Nioro sur sorgho cultivé sur sol ferrugineux tropical. Comme on peut le constater, le poids de racines et la densité d'occupation racinaire décroissent très rapidement quand la densité apparente augmente. La régression est linéaire pour le sorgho et hyperbolique pour l'arachide. Plus récemment, NICOU a mis en évidence, sur maïs, des liaisons entre densité apparente et enracinement. Les mesures ont été effectuées à Sinthiou-Malème en 1968 (Essai « Modes de préparation \times Dates de semis ») et à Séfa en 1969 (Essai « Régénération du profil ») ; elles intéressent dans les deux cas le niveau 10 à 20 cm ; à Sinthiou, les densités apparentes ont été mesurées au semis, tandis qu'à Séfa les prélèvements ont été effectués environ un mois après.

Dans les deux cas, les régressions sont linéaires, négatives et très hautement significatives. En appelant x la densité apparente en g/cm^3 et y la densité d'occupation racinaire en g/dm^3 , les équations de régression sont les suivantes :

à Sinthiou-Malème,

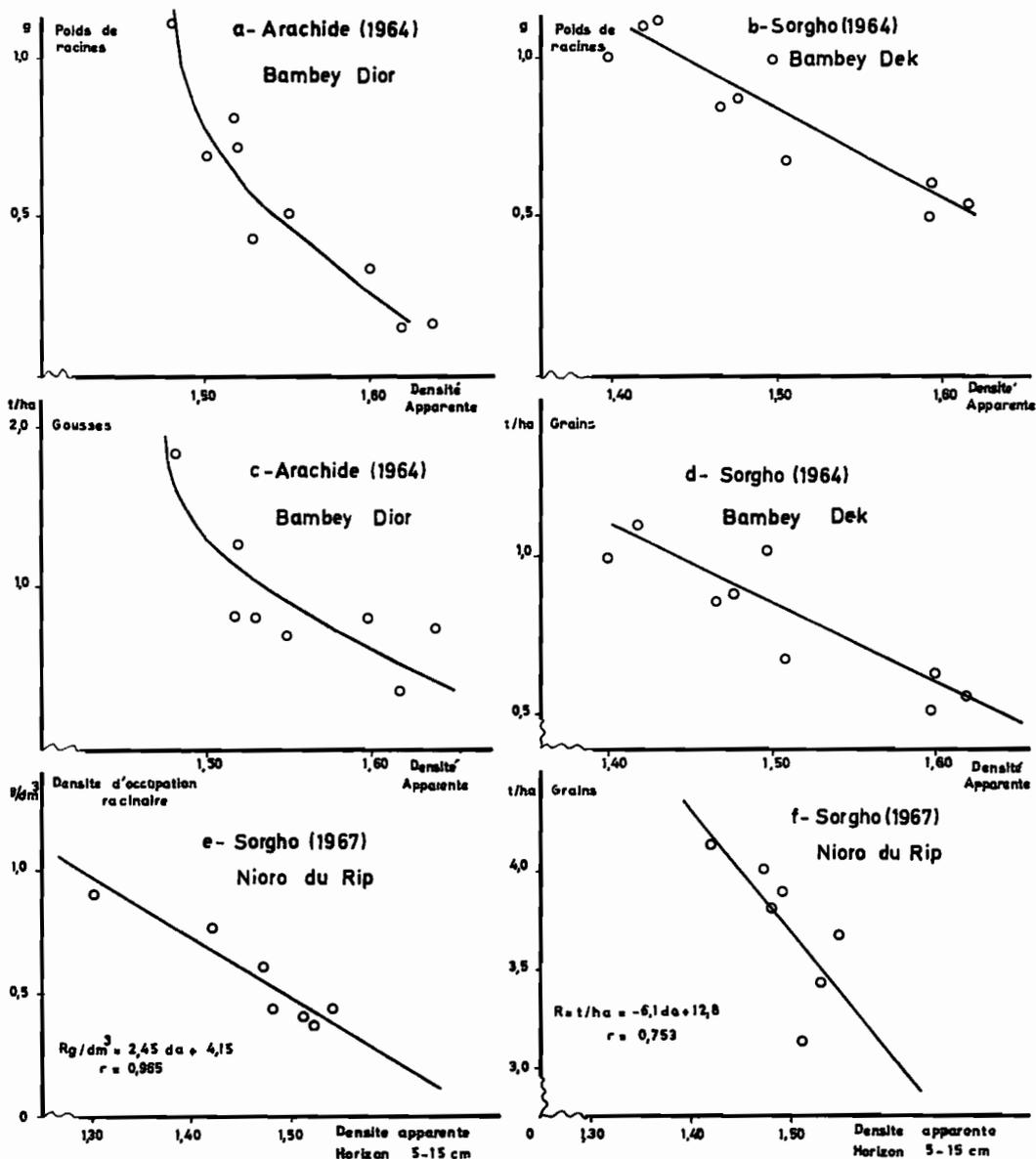
$$y = 1,96 x + 3,46, \text{ avec } n = 9, r = 0,891, P = 0,001 ;$$

à Séfa,

$$y = 4,85 x + 7,71, \text{ avec } n = 6. r = 0,988. P = 0,00001.$$

Graphique n°III-2: Liaisons entre densité apparente, enracinement et rendements sur diverses plantes

D'après Blondel(1965) a-b-c-d et Nicou-Thirouin(1968) e-f



Comme il existe, ainsi qu'on l'a vu précédemment, des régressions linéaires positives entre enracinement et rendement pour ces mêmes plantes, il n'est pas étonnant de trouver également de fortes liaisons négatives entre densité apparente et rendement. La décroissance de rendement est linéaire pour le sorgho : elle est de 450 kg/ha à 600 kg/ha pour une augmentation de 0,10 point de densité apparente, soit une diminution correspondante de 20 % à 14 % en valeur relative. Cette décroissance est grossièrement hyperbolique pour l'arachide : très rapide aux faibles densités, plus lente quand la densité augmente ; entre les valeurs de 1,5 et 1,6, la perte de rendement, dans les conditions de l'expérience, est de 730 kg/ha, soit 55 % en valeur relative.

Pour les sols à texture grossière ou moyenne du Sénégal, une porosité de 40 % correspond à une valeur de densité apparente de 1,59 (densité réelle : 2,65). Cette valeur est très fréquemment dépassée dans les terrains cultivés ; la granulométrie particulière du matériau, à dominance de sables fins, hétérométriques, arrondis, est en effet très propice à un tassement important. Si l'on admet, avec les auteurs précités, que cette valeur de 40 % constitue une valeur seuil pour l'enracinement, il faut s'attendre à ce que, dans les conditions naturelles, les sols étudiés offrent un milieu physiquement défavorable à l'implantation et au développement racinaire. Ce milieu devra être modifié dans le sens d'une amélioration de la porosité.

Cependant, si tous les auteurs s'accordent à reconnaître l'influence de la porosité globale sur l'enracinement, les opinions divergent en ce qui concerne l'interprétation à donner de ce phénomène. Diverses hypothèses peuvent, en effet, être envisagées. Vis-à-vis de l'enracinement, l'augmentation de la porosité peut jouer par :

- une modification du régime hydrique,
- l'aération du sol et une meilleure diffusion de l'oxygène,
- une diminution de la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines.

Il est très difficile de trancher entre ces divers mécanismes, car ils sont tous plus ou moins liés et une modification de la porosité entraînera généralement une variation simultanée des trois facteurs considérés. Par ailleurs, les influences respectives de chacun d'entre eux sur l'enracinement peuvent être très différentes suivant la nature des sols et en particulier leur texture. Ceci pourrait expliquer, au moins en partie, les divergences de résultats expérimentaux obtenus dans des conditions très diverses.

La compaction du sol entraîne la diminution du volume des pores et, plus particulièrement, celui des pores de gros diamètre. En même temps se produit habituellement une augmentation de la proportion des pores capillaires (diamètre inférieur à 10 μ), de sorte que la **quantité d'eau disponible** pour les plantes peut s'élever dans certaines limites ; le degré d'augmentation est fonction des processus de compactage et de la nature du sol. ROSENBERG et WILLITS, cités par GEISLER (36), font état de résultats obtenus, dans ce domaine, sur sol sablo-limoneux. Pour une augmentation de la densité apparente de 1,31 à 1,64, la proportion de macropores (0 mb à 100 mb) passe de 30,6 % à 19,1 % ; en même temps, la quantité d'eau disponible augmente, en valeur relative, de 100 à 111.

Toutefois, cette modification de l'eau disponible est peu importante en regard d'un autre phénomène intéressant également le régime hydrique du sol : la diminution de la **perméabilité**. Dans les mêmes conditions d'expérience, celle-ci passe en effet de 16,25 cm/h à 0,50 cm/h quand la densité apparente augmente de 1,31 à 1,64. La baisse de perméabilité est très rapide, puisque pour une densité apparente de 1,45 la perméabilité a déjà chuté à 3,50 cm/h.

Dans les sols sableux du Sénégal, il est douteux que les variations de compaction puissent entraîner des variations importantes de porosité capillaire. Celle-ci est de toute façon faible (entre 10 % et 20 % en volume) et les observations faites en plein champ ne paraissent pas indiquer d'augmentation sensible de la capacité de rétention et du volume d'eau utile quand la densité apparente du sol augmente. Par contre, l'amélioration de la porosité entraîne indubitablement une nette amélioration de la perméabilité. Ceci peut avoir des conséquences pratiques importantes, surtout en début de saison et pour les sols en pente ; cependant, ce phénomène ne peut rendre compte, à lui seul, des améliorations de développement racinaire et de croissance végétale lorsque les problèmes d'infiltration de l'eau ne se posent pas de façon aiguë, ce qui était le cas dans les expériences de Bambey et Nioro-du-Rip.

GRABLE (39) a fait une revue récente des travaux concernant l'**aération du sol** et la croissance végétale. Parmi les principales conclusions qui s'en dégagent, on peut retenir que :

- l'aération des sols intervient non seulement dans l'activité racinaire, mais dans l'activité métabolique globale de la plante ;

- un déficit d'aération provoque rapidement une réduction des phénomènes d'absorption de l'eau, résultant d'un abaissement de l'activité métabolique et de la perméabilité des cellules racinaires ;
- une forte concentration en CO_2 du milieu sol réduit davantage l'absorption d'eau qu'une diminution du taux d'oxygène ;
- d'étroites relations existent entre aération du sol et infestation des récoltes par les pathogènes ; la teneur en eau du sol peut être, à cet égard, plus importante encore que l'aération ;
- il existe de fortes corrélations entre le taux d'oxygène apporté au système racinaire et les réponses de croissance de bon nombre de cultures ;
- la réponse physiologique des plantes aux différents niveaux d' O_2 ou CO_2 peut être variable suivant la nature de la plante ; la production d'éthanol par les plantes submergées est une importante réponse au bas niveau d' O_2 .

Cependant, de cette revue et d'un certain nombre d'autres travaux, il se dégage l'impression que l'aération du sol et l'alimentation en O_2 des racines ne jouent réellement le rôle de facteurs limitants pour la croissance végétale que dans des conditions particulières de milieu et de culture, lorsque le volume des pores libres d'eau est très faible et inférieur, semble-t-il, à 10 %. Ceci est très rarement le cas des sols étudiés et, en dehors de certains cas particuliers, il ne semble pas que cette hypothèse puisse être retenue pour expliquer l'effet améliorateur, sur la croissance racinaire et végétale, d'une augmentation de porosité du sol.

Beaucoup plus générale, par contre, paraît être l'action de la résistance mécanique des sols sur la croissance des racines et des tiges souterraines. BARLEY et GREAGEN (3) ont effectué récemment une revue des très nombreux travaux effectués sur ce sujet. Des corrélations nombreuses ont été mises en évidence, dans des conditions de sols très variées, entre résistance mécanique et développement racinaire. La résistance mécanique des sols est généralement appréciée par la pénétration d'une aiguille de diamètre voisin de celui des racines à étudier. La conclusion d'ensemble est que la cohésion des sols peut jouer le rôle de facteur limitant vis-à-vis du développement racinaire dans des sols extrêmement divers et non pas seulement, comme on le croyait autrefois, à l'intérieur d'une gamme restreinte de sols très compacts.

Les études menées au Sénégal n'ont pas permis, jusqu'à présent, d'apprécier quantitativement l'influence de ce facteur sur la croissance racinaire et végétale. Les mesures pénétrométriques sont effectuées, en effet, en plein champ, au moyen d'un barreau métallique d'un diamètre de 2 cm terminé par une pointe conique ; elles mettent en évidence des différences importantes de résistance à la pénétration entre sols ayant subi des traitements variés, à condition d'opérer à des taux d'humidité édaphique assez bas et nettement inférieurs à la capacité de rétention. Dans le cas contraire, qui est habituel pendant la saison des pluies, ces différences s'atténuent considérablement ou même disparaissent. On pourrait sans doute améliorer la sensibilité de la méthode en la modifiant légèrement (utilisation de poids plus faibles), mais de toutes manières elle ne paraît pas pouvoir répondre à la question posée. Il faudrait, en effet, opérer à une échelle beaucoup plus fine avec un pénétromètre de dimensions comparables à celles d'une racine moyenne, en utilisant, par exemple, la procédure de MAERTENS (61). Ceci n'a pas encore été essayé jusqu'à présent.

Il peut paraître surprenant, à première vue, que dans des sols sableux présentant un état d'ameublissement apparemment satisfaisant, lorsqu'ils sont humidifiés au voisinage de la capacité de rétention, la résistance mécanique à la pénétration puisse jouer le rôle de facteur limitant vis-à-vis du développement racinaire. Pourtant, il semble bien que ces sols n'échappent pas à la règle générale et que les racines y soient très sensibles à de petites différences de cohésion : les observations de profils culturaux montrent en effet des coudes et des changements de morphologie au passage de couches plus compactes (semelle de labour, notamment).

Par ailleurs, les deux autres hypothèses paraissant, comme on l'a vu, insuffisantes à expliquer à elles seules et dans la totalité des cas les effets observés sur la physiologie des plantes cultivées, force est de donner la primauté à ce troisième mécanisme, qui semble susceptible de jouer d'une façon générale et dans tous les types de sols, même les plus sableux. On ne voit pas, en effet, quel autre mécanisme pourrait intervenir.

Il existe un dernier point à prendre en considération : celui de la **qualité de la porosité**. On n'a fait état, jusqu'à présent, que de l'amélioration globale de la porosité. Or, un changement quantitatif de porosité s'accompagne généralement d'une modification de la distribution des pores par classes de diamètre. Lorsqu'on effectue, par exemple, un travail du sol en sol sableux, l'augmentation de porosité qui en résulte concerne presque uniquement les macropores : la porosité capillaire reste à peu près inchangée. A l'intérieur des macropores, ce sont les pores de gros diamètre qui augmentent, proportionnellement, le plus vite. Il y a donc une modification qualitative radicale de la porosité et un réaménagement des particules terreuses : la nature de la porosité change. Or, il semble que les racines des plantes soient sensibles non seulement à l'augmentation quantitative de la porosité, mais peut-être plus encore à son changement qualitatif. Ceci semble d'autant plus vrai que la modification qualitative paraît persister davantage, dans le temps, que la quantitative.

Très fréquemment, en effet, l'augmentation de porosité, résultant d'un travail de préparation, disparaît avec les premières pluies : souvent, au bout de deux à trois semaines, la porosité globale est ramenée à son niveau d'origine. La mesure de densité apparente ne permet plus de déceler de différences significatives entre traitements. Par contre, le développement racinaire et la croissance végétale restent très nettement supérieurs sur sol travaillé, et cette supériorité se maintient pendant toute la saison. L'examen des profils culturaux montre que le sol travaillé, s'il est aussi tassé que le témoin, présente cependant une structure un peu différente. Même lorsque le développement racinaire n'est pas beaucoup plus important, la morphologie racinaire n'est pas la même : l'observation à la loupe montre une proportion beaucoup plus importante de poils absorbants que sur le témoin *. Il serait intéressant de pousser plus à fond l'étude de la porosité et de son influence sur l'enracinement, notamment par l'utilisation des techniques de micromorphologie (lames minces).

Là encore, cette action sur l'enracinement paraît pouvoir s'expliquer en termes de résistance à la pénétration : le réarrangement des particules, consécutif à la modification de porosité en augmentant la proportion de pores de gros diamètre, doit ouvrir des voies de cheminement préférentiel pour les racines, leur permettant ainsi de coloniser plus complètement et plus rapidement le terrain.

2) ACTION DE LA VEGETATION SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS

On examinera d'abord les mécanismes d'action puis les effets des grandes formations végétales : forêts, jachères, cultures, sur les sols.

a) LES MECANISMES D'ACTION

Les plantes influencent les propriétés physiques des sols de plusieurs manières :

- par leur appareil végétatif, elles protègent le sol contre les dégradations susceptibles d'être provoquées par les agents atmosphériques : pluie et soleil notamment ;
- par leur système racinaire, elles agissent sur la structure ;
- par le biais des restitutions organiques, elles modifient les bilans humique et minéral des sols et exercent ainsi indirectement, à long terme, une action sur les propriétés physiques des sols.

Ces divers processus s'exercent plus ou moins simultanément et ne sont pas indépendants. Il est donc difficile d'apprécier la part respective de chacun d'entre eux quand on observe la résultante de leur action sur les propriétés du sol. On tentera, néanmoins, de le faire en ce qui concerne l'action du couvert végétal et celle du système racinaire.

COUVERT VÉGÉTAL ET PROTECTION DU SOL

Cette action s'exerce pendant la saison sèche et pendant la saison des pluies.

PENDANT LA SAISON SÈCHE.

L'observateur nouveau venu dans ces pays ne peut qu'être frappé de voir le sol, débarrassé de ses récoltes, exposé aux ardeurs solaires pendant toute la saison sèche. C'est pourquoi, de longue date, les agronomes se sont préoccupés des conséquences que cela pouvait entraîner pour le sol. Les principales sont :

- la possibilité de développement de l'érosion éolienne,
- la très forte élévation de températures de la couche superficielle du sol.

* Observations faites par MM. MAERTENS et NICOU sur arachide en sol sableux à Bambey.

L'érosion éolienne est surtout à craindre dans les régions septentrionales de la zone. Le sol sableux dénudé, dont la faible structure a été détruite soit par un glanage trop poussé de l'arachide, soit par le passage des troupeaux, soit par toute autre cause, est alors une proie facile pour le vent. Les éléments fins sont emportés et l'horizon de surface s'enrichit relativement en éléments grossiers.

Le degré de dégradation par l'érosion éolienne peut alors être apprécié par la mesure comparée des rapports sables grossiers/sables fins dans l'horizon de surface et dans les horizons profonds, en admettant, bien entendu, que le matériau d'origine était uniforme dans tout le profil. C'est ce qui a été fait par différents auteurs : AUBERT, DUBOIS, MAIGNIEN (1), FAURE (33). Ceux-ci ont montré que, dans la région de Louga, ce rapport était très généralement plus élevé dans les horizons de surface que dans les horizons profonds, les valeurs relatives allant de 1 à 3 dans certains profils.

Des mesures de protection contre l'érosion éolienne par l'installation d'une végétation après la récolte sont pratiquement impossibles à envisager dans ces zones, en raison de la longueur (8 mois à 9 mois) et de l'exceptionnelle aridité de la saison sèche. Après arachide, il y a, malgré tout, quelques repousses de plantes herbacées ; après céréales, les tiges restent un certain temps sur le terrain et sont parfois couchées par les paysans, sur le sol. De toute manière, la couverture du sol reste très insuffisante. Elle ne peut être assurée que par la jachère naturelle herbacée (de courte durée) ou la friche buissonnante (jachère de longue durée), ce qui implique la mise en œuvre d'une politique de brise-vent naturels ou, plus radicale encore, celle de la mise en défens.

Remarquons, cependant, que les dangers d'érosion éolienne s'atténuent rapidement quand on va vers le sud et que le gradient de pluviométrie augmente. Par ailleurs, il faut noter que les dangers d'érosion éolienne ne sont réellement graves que lorsque la structure de l'horizon superficiel du sol est devenue particulière. Partout où l'on a su conserver une certaine agrégation des éléments et préserver la structure du sol, ce danger est beaucoup moins à craindre. Il est frappant, à cet égard d'observer à Bambey, en saison sèche, le comportement de terrains sableux voisins, l'un cultivé l'année précédente en arachide et dont les 2 cm superficiels ont subi, après récolte, une pulvérisation poussée pour recherche des restes en terre, et l'autre labouré à l'état humide en fin d'hivernage et présentant, en saison sèche, une structure motteuse. Malgré la différence de profondeur de travail (le labour ayant pu être effectué à 20 cm ou 25 cm), le premier terrain sera l'objet d'une dégradation poussée par l'érosion éolienne alors que, sur le second, les mottes sèches ne donneront aucune prise au vent. Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur ce point.

L'élévation de température des couches superficielles du sol en saison sèche, en l'absence de couvert végétal, est un fait connu. Il a été bien mis en évidence, en particulier par GAUDEFROY-DEMOMBYNES (34) qui a comparé les températures à la surface du sol, à 5 cm et 20 cm de profondeur sur deux parcelles voisines : l'une où le sol était presque nu, avec végétation clairsemée correspondant à la repousse spontanée dans les champs après culture, l'autre où le sol était recouvert par une végétation importante de *Centrosema plumieri*, l'une des rares plantes d'introduction susceptible de recouvrir le sol en saison sèche sans irrigation complémentaire.

Les relevés effectués ont montré que les amplitudes de températures au cours de la journée étaient beaucoup plus fortes sur sol nu, même à 20 cm de profondeur, et que les températures maxima à la surface du sol oscillaient habituellement entre 55° et 60° (maximum absolu : 65°) pour le sol nu, entre 38° et 41° pour le sol couvert (maximum absolu : 43,5°), soit une différence moyenne de 16° en faveur du sol couvert.

Il se peut qu'une telle différence puisse entraîner à la longue des répercussions sur le taux de matière organique du sol ; celui-ci est en effet une fonction exponentielle inverse de la température, ainsi que l'ont montré un certain nombre d'auteurs et en particulier JENNY (54, 55) et ses collaborateurs travaillant en pays tempérés et en zones équatoriales. Nous n'avons pas connaissance d'études de ce genre menées dans les régions tropicales sèches, mais la relation étant d'un caractère général doit pouvoir s'appliquer également dans ce cas particulier.

Concernant la microflore des sols, des numérations ont été faites sur les sols des deux parcelles de l'expérience précitée par Y. DOMMERCUES. Elles montrent que les amylolytiques passent de 50.000 à 900.000 par gramme de terre du sol nu au sol couvert, les nitreux de 250 à 890, les cellulolytiques aérobies de 480 à 1.720, les champignons restant inchangés. La couverture du sol a donc protégé très efficacement la microflore nitrificatrice, cellulolytique et amylolytique.

La couverture artificielle du sol par paillage ne peut guère s'envisager dans la pratique agricole courante. Des essais de fauche de la jachère et du paillage du sol ont été réalisés en saison sèche, tant par l'IRHO que par l'IRAT. Dans tous les cas, en dehors de l'action de protection contre l'érosion éolienne,

les effets sur le sol sont peu sensibles ; la paille se dessèche sans se mélanger au sol, l'activité de la mésofaune est très réduite ou même inexistante, la modification du profil cultural et de la structure n'est pas visible.

Globalement, en dehors des régions où l'érosion éolienne est à craindre et en tenant compte du fait qu'elle se manifeste surtout sur des terrains à structure superficielle particulière, il ne semble pas que les conséquences de la dénudation du sol pendant la saison sèche soient aussi graves pour le sol et aussi préjudiciables aux cultures qu'on le pensait autrefois. Des observations fréquentes ont pu être faites, en effet, sur terrains dénudés, notamment après exécution des labours d'automne (ou de fin de cycle) : ni l'observation ni l'analyse ne permettaient de déceler un changement notable dans les propriétés du sol.

A Madagascar, cependant, sur sol ferrallitique dérivé de gneiss, à Ambatobe, BOUCHARD (8) a observé qu'après réalisation d'un labour de fin de cycle, il y avait, au cours de la saison sèche de trois à quatre mois qui suivait, une augmentation sensible de la stabilité structurale.

Les valeurs moyennes de l'indice d'instabilité IS sont les suivantes pour les différentes cultures :

	Janvier 1968	Octobre 1968
Arachide	1,17	1,01
Maïs	0,95	0,76
Pomme de terre	1,05	0,94

L'amélioration de la stabilité structurale est attribuée à la dessiccation saisonnière et à l'aération du sol. Ces résultats sont à rapprocher de ceux obtenus par MONNIER et KONAN (65) sur l'influence de la dessiccation sur la stabilité structurale.

En dehors de cette influence sur la stabilité structurale, on peut s'attendre à ce que la dénudation répétée du sol pendant la saison sèche conduise, à la longue, à une oxydation plus rapide de la matière organique et à un effet dépressif sur le niveau humique du sol. Cependant, à notre connaissance, aucune observation précise n'a été faite sur ce point. Il est difficile d'apprécier ce que pourrait être le rythme et l'ampleur du phénomène.

Au total, il n'apparaît donc pas que l'absence de couvert végétal pendant la saison sèche puisse entraîner automatiquement des conséquences catastrophiques pour le sol, comme on semblait le craindre autrefois. Il n'en est pas de même pour la saison des pluies, où le développement du couvert végétal revêt une importance primordiale pour le sol.

PENDANT LA SAISON DES PLUIES.

On a vu plus haut combien était élevée l'agressivité des pluies dans toute la zone étudiée et quels effets pouvaient résulter, pour le sol, de la battance des pluies : tassement du sol, diminution de perméabilité, destruction des agrégats, arrachement des particules. Le ruissellement n'étant généralement pas, par lui-même, agent d'érosion (sauf cas de pentes longues), la cause essentielle de la dégradation du sol résulte dans l'énergie cinétique des pluies. On conçoit quel intérêt il peut y avoir à interposer entre la pluie et le sol un dispositif permettant à la pluie d'atteindre le sol en annulant ou en diminuant fortement son énergie cinétique. C'est ce qu'ont fort bien démontré HUDSON et JACKSON (45) en Rhodésie, en comparant le ruissellement et l'érosion sur trois parcelles contiguës. Sur la première, le sol était nu ; sur la seconde, il était également nu mais une gaze de nylon avait été tendue à 10 cm au-dessus du sol ; la troisième parcelle était constituée d'une prairie dense de *Digitaria swazilandensis*. Les résultats montrèrent qu'à la fois le ruissellement et l'érosion étaient beaucoup plus faibles sous prairie et sous gaze que sur sol entièrement découvert. Il y avait très peu de différence, à cet égard, entre l'effet de la couverture artificielle (gaze) et celui de la couverture naturelle (prairie).

Au Sénégal, une expérience analogue a été effectuée par l'IRHO à Darou, dans le Sine-Saloum (49). L'essai dénommé « Couverture × jachère × engrais vert » avait pour but d'étudier l'action de l'engrais vert en analysant cette technique par ses composantes élémentaires : action de protection du sol, des racines, de la matière verte, du labour. Parmi les neuf traitements de l'essai, deux d'entre eux sont intéressants à comparer du point de vue qui nous occupe. Dans le premier traitement (G), le sol est dénudé systématiquement pendant trois années consécutives (1958-1960). Dans le second (H), le terrain est dénudé systématiquement les trois années, mais protégé par une couverture artificielle (clayonnage) perméable à l'eau mais suffisante pour diminuer très sensiblement l'énergie cinétique des chutes de pluie ; on peut donc considérer que dans le traitement G les actions de lessivage et de battance des pluies s'ajoutent, alors que, dans le traitement H, le lessivage vertical est seul en cause ; dans ce dernier traitement, il faut tenir compte également d'une action secondaire de la couverture sur les températures du sol (ombrage).

Il n'y a pas eu de mesures effectuées sur le sol (en dehors de mesures de température). Mais les effets des traitements sur le sol ont été testés indirectement par les cultures elles-mêmes. En 1961 et 1962, il y eut deux cultures consécutives d'arachide. En 1963 et 1964, les traitements de dénudation et de couverture artificielle furent à nouveau appliqués. Les cultures-tests furent en 1965 l'arachide et en 1966 le sorgho.

Les résultats furent les suivants :

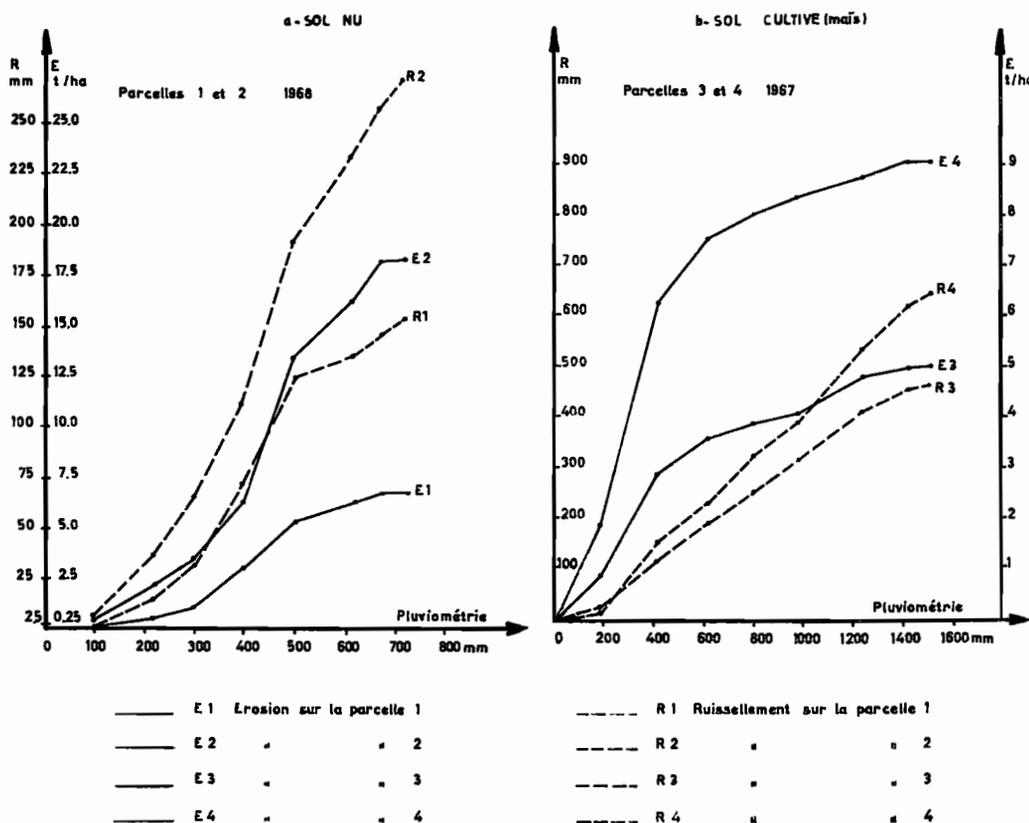
TABLEAU III-3
INFLUENCE DE LA COUVERTURE ARTIFICIELLE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES A DAROU
d'après l'IRHO/Sénégal (49)

Traitements	Années	1961 Arachide gousses (kg/ha)	1962 Arachide gousses (kg/ha)	1965 Arachide gousses (kg/ha)	1966 Sorgho grains (kg/ha)
G (terrain nu)		1710	1020	2140	290
H (terrain dénudé, couvert artificiellement)		2190 ++	1360	2905 ++	620 ++
ppds 5 %		211	Test F non significatif	295	124
ppds 1 %		277		395	166

On voit donc, d'après cet exemple, quelles peuvent être, en l'absence de couvert végétal, les conséquences de la dégradation de l'état structural du sol par suite de la battance de la pluie et de l'érosion : les diminutions de rendement pour l'arachide qui suit immédiatement le traitement de dénudation sont de 480 kg/ha à 750 kg/ha, soit 22 % à 26 % du témoin. Pour la deuxième culture, les pertes de rendement sont encore de 340 kg/ha pour l'arachide et 330 kg/ha pour le sorgho (25 % et 53 % du témoin).

Graphique III - 3
Ruissellement et Erosion cumulés en fonction de la
pluviométrie à Séfa sur sol nu et sur sol cultivé

D'après C. Charreau (1968)



L'expérimentation menée à Séfa en cases d'érosion permet également de mettre en évidence l'influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion. En effectuant la synthèse des résultats acquis entre 1954 et 1963, ROOSE (86) avait déjà noté l'opposition entre la constance du ruissellement au cours de la saison et la baisse continue de l'érosion sur parcelle cultivée au cours de la même période. Ceci a été mis en relation avec le développement du couvert végétal qui paraissait peu influencer sur le ruissellement alors que son incidence sur l'érosion était capitale. Ce point a été largement confirmé par les études postérieures (15 à 19). En 1968, CHARREAU (13) a pu comparer ruissellement et érosion sur sol nu et sur sol cultivé. Les courbes cumulatives correspondantes ont été figurées, en fonction de la pluviométrie, sur le graphique III-3.

On note que toutes les courbes de ruissellement sont pratiquement linéaires, qu'il s'agisse de sol nu ou de sol cultivé. Les courbes d'érosion sont également grossièrement linéaires sur sol nu ; par contre, elles présentent un infléchissement très net sur sol cultivé à partir de 400 mm de pluie, ce qui correspond à la fin juillet. A ce moment, le maïs a pratiquement terminé sa croissance végétative et développé son feuillage : l'effet de battance des pluies sur le sol est fortement atténué par rapport à la période précédente.

De ces indications on peut déduire que, parmi les méthodes de lutte contre la dégradation du sol et l'érosion, une place de choix devra être réservée aux méthodes « biologiques », fondées sur le développement rapide et important du couvert végétal. Toutes sortes de mesures peuvent concourir à cet objectif : choix de la plante et de la variété, façons de préparation et d'entretien, date et mode de semis, fertilisation, etc.

Mais, parmi toutes ces mesures, l'une d'entre elles revêt une importance particulière : la précocité des semis. Il s'agit là, en effet, de la première mesure à prendre pour assurer une conservation du sol satisfaisante. Cette mesure trouve, par ailleurs, une autre justification dans les processus biochimiques intervenant au moment des premières pluies : « pic » de minéralisation azotée et reprise « explosive » de la vie microbienne ; ces conditions fugaces ne se retrouvent pas par la suite. Il est habituellement observé que la croissance des plantes semées dès les premières pluies est beaucoup plus rapide que celle des plantes à semis retardé.

ACTION DES RACINES SUR LA STRUCTURE DU SOL

L'influence des racines sur les propriétés physiques du sol et, en particulier, sur le développement de la structure est maintenant un fait bien établi. En pays tempérés, HÉNIN *et alii* (43) ont constaté que, « sous une végétation continue et permanente, type prairie, il se constituait progressivement une structure grumeleuse exploitée par les racines ». Le mécanisme d'action du système racinaire est encore mal connu ; sans être des outils de perforation, « les racines peuvent néanmoins maintenir et même agrandir les fissures existant dans le sol et, de ce fait, améliorer la structure ».

Dans un travail récent, BUI HUU TRI (11) a fourni d'intéressantes précisions sur la granulation du sol sous prairie. Entre autres conclusions de cette étude, il ressort que « la capacité du réseau racinaire à diviser une masse de terre compacte semble étroitement liée à l'aptitude de cette terre à se fissurer ».

En opérant en milieu mono-particulaire ou agrégé fin, l'auteur n'observe, en effet, aucune influence des racines sur la structuration lorsque le sol choisi est de texture sableuse (50 μ à 200 μ), alors que l'effet d'agrégation est très net lorsqu'il s'agit d'un sol argilo-limoneux ; par ailleurs, il note que, en vases de végétation, sur sable, la croissance du ray-grass d'Italie utilisé comme plante-test n'est jamais satisfaisante, malgré toutes les précautions prises. En milieu continu, après malaxage et compactage du sol, l'action de division des racines est beaucoup plus marquée sur un sol argilo-limoneux que sur sol à nette dominance limoneuse. L'efficacité de l'action racinaire dépendrait donc non seulement de la nature de la plante, mais aussi et surtout de la granulométrie du sol et de son état structural initial.

L'action racinaire se manifeste par « un resserrement de la distribution dimensionnelle des éléments structuraux autour d'une taille moyenne dont les dimensions semblent déterminées par celle de la maille racinaire dans la couche de sol considérée ». Elle est donc fonction de la longueur racinaire par unité de volume. « Elle semble se borner à révéler, à accélérer ou à fortement accentuer une évolution structurale essentiellement conditionnée par la texture du sol ». L'examen des mécanismes de la formation des éléments structuraux fait également ressortir la nécessité de faire appel aux possibilités de réaction du sol aux alternances d'humectation et de dessiccation : la présence des racines crée une hétérogénéité perturbant le développement des phénomènes de gonflement et retrait ; à cette action mécanique s'ajoute l'effet résultant de la dessiccation préférentielle.

En résumé, d'après cet auteur, il ne faut s'attendre à une action efficace du système racinaire sur la granulation du sol que lorsque certaines conditions initiales de texture et de structure sont remplies.

En pays tropicaux humides (zones soudano-guinéennes d'Afrique centrale), MOREL et QUANTIN (66) ont décrit quatre stades successifs d'installation de la flore des jachères naturelles, caractérisées, pour les graminées, par des ports et des modes d'enracinement différents. Ils ont établi ensuite une relation entre la vitesse d'installation des stades successifs de la jachère naturelle et l'état structural du sol (mesuré par l'indice de stabilité de HÉNIN). Réciproquement, au cours de l'évolution de la jachère, se produit une évolution du profil cultural ; le sol, d'aspect massif au départ, reforme des agrégats de type polyédrique d'abord, puis nuciforme et enfin grumeleux. Dans cette transformation des propriétés structurales du sol, les auteurs accordent une importance toute particulière au rôle joué par les graminées à port érigé élevé et enracinement profond, qui représentent les deux derniers stades de la jachère. En l'occurrence, il s'agit principalement de : *Panicum maximum*, *Roetboellia exaltata*, *Brachiaria brizantha*, *Setaria sphacelata* (troisième stade) et de *Pennisetum purpureum* (quatrième stade). On notera que toutes ces graminées sont des espèces vivaces.

En zone tropicale sèche, nous n'avons pas connaissance d'observations et études concernant l'influence du système racinaire des plantes sur les propriétés structurales du sol, en dehors d'une série d'observations qui ont été faites au Sénégal.

Dès 1965, DEFFONTAINES (26) estimait que l'influence des racines sur la structure du sol n'était pas toujours visible et que les effets variaient avec les végétaux ; ils lui paraissaient nuls sous arachide, localisés et limités en surface pour certaines plantes annuelles comme le sorgho ou le mil, nettement marqués sous certaines plantes pérennes et sous maïs. Encore faut-il souligner que, dans ce dernier cas (plantes pérennes et maïs), les notations de DEFFONTAINES concernaient des plantes installées sur des terrains préalablement labourés, ce qui change entièrement le problème. Les nombreuses observations qui ont été faites depuis ont toujours confirmé ce point de vue : en l'absence de travail du sol, l'action racinaire des plantes cultivées et des plantes de jachère dans les sols à texture grossière du Sénégal paraît très faible, voire quasi nulle.

Par contre, lorsque la structure du sol a été préalablement améliorée par un labour ou par tout autre travail du sol, l'action racinaire peut, chez certaines graminées ou céréales, devenir très importante non seulement pour conserver la structure préexistante, mais également pour l'affiner et l'améliorer. Il n'existe malheureusement pas de mesures précises à ce sujet, mais les appréciations visuelles et tactiles qui ont été faites ne laissent guère de doutes sur ce point.

Ces observations viennent entièrement confirmer les conclusions de BUI HUU TRI (11) concernant l'importance primordiale de la composition granulométrique et de l'état physique initial du sol pour l'action racinaire ultérieure. L'attention a déjà été attirée en effet sur l'inexistence ou le peu d'importance des phénomènes de gonflement et de retrait dans ces sols. Il ne faut donc pas s'étonner de ce que, dans les conditions naturelles, l'action du système racinaire soit très faible. Ce n'est qu'en modifiant l'état physique initial par le travail du sol qu'on peut espérer faire jouer cette action, et parfois de façon sensible.

En corollaire, le rôle joué par les plantes de jachères naturelles nous semble ici fort éloigné de celui qui a été décrit pour les jachères de la zone soudano-guinéenne. Pour tenter d'expliquer cette divergence, on peut avancer deux hypothèses : différences dans la nature des plantes de jachère et différences dans la qualité des sols.

Les jachères décrites par MOREL et QUANTIN (66) sont, dans leurs derniers stades, constituées essentiellement de graminées vivaces, à enracinement puissant et profond, alors que les jachères des sahélo-soudaniennes comportent presque exclusivement des graminées annuelles de taille médiocre, à enracinement faible et superficiel. Dans ces régions, la durée et la sévérité de la saison sèche interdisent en effet ou, tout au moins, limitent fortement le développement de plantes vivaces (exception faite d'*Andropogon gyanus*). Il pourrait, par contre, y avoir une certaine analogie en ce qui concerne l'action structurale sur le sol, entre les jachères des zones tropicales sèches et les deux premiers stades des jachères des zones tropicales humides (graminées rampantes et graminées érigées de taille moyenne) : dans les deux cas, cette action paraît assez faible et localisée à la couche tout à fait superficielle.

La seconde différence réside dans la nature des sols qui sont beaucoup plus argileux, dès la surface, dans les stations étudiées de la République centrafricaine. Il est probable que, dans ces conditions, ont pu se manifester des phénomènes de fissuration préparant le travail des racines. Par ailleurs, avant l'installation de la jachère, le sol a subi un travail de préparation plus ou moins poussé : soit un véritable labour, soit un travail à la houe (assez superficiel, il est vrai).

Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que des conditions aussi différentes de climats, de sols, de nature de la végétation aient abouti à des résultats différents.

Pour conclure, il faut souligner que, pour les sols sableux de la zone tropicale sèche, il n'y a pas grand bénéfice à attendre, pour le sol, de l'action spécifique des racines des plantes de jachères. Cette action tend cependant à s'accroître avec la durée de la jachère, ainsi qu'avec la pluviométrie. Elle pourrait devenir très importante dans le cas particulier d'une prairie artificielle temporaire constituée de plantes vivaces et installée sur un terrain préalablement travaillé et fumé. Cette technique apparaît encore prématurée dans les conditions actuelles de l'agriculture de ces pays.

b) LA RESULTANTE DES EFFETS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS : INFLUENCES COMPAREES DES DIFFERENTES FORMATIONS VEGETALES

On définira d'abord rapidement les formations végétales étudiées puis on examinera leurs influences respectives sur les caractéristiques hydrodynamiques, les régimes hydriques et thermiques, la structure des sols et les manifestations de l'érosion.

LES FORMATIONS VÉGÉTALES ÉTUDIÉES

On les rangera en trois grandes catégories : forêts, jachères, cultures. Il s'agit là d'une schématisation grossière, car il est évident qu'il existe à l'intérieur de chaque catégorie des types très variés. Cependant il est impossible, étant donné le caractère assez général de cette étude, d'entrer dans le détail des écologies ; par ailleurs, les données que nous possédons sont insuffisantes pour le faire ; enfin, il n'est pas certain qu'une distinction plus poussée entre les différentes formations végétales amènerait à modifier beaucoup les conclusions de l'étude.

Les comparaisons forêts/culture intéressent principalement le domaine de la SODAICA, à Séfa, en Casamance, où l'évolution du sol a pu être suivie pendant la vingtaine d'années qui a suivi la déforestation. La forêt de Séfa est une forêt claire sèche à *Daniella oliveri* et combrétacées. Cette forêt n'est jamais complètement défeuillée pendant la saison sèche. La strate herbacée est composée principalement de grandes andropogonées. Cette végétation est soumise annuellement aux feux courants de milieu et de fin de saison sèche (février à juin).

Les jachères ont été étudiées principalement à Bambey. Il s'agit généralement de jachères herbacées de courte durée (un à quatre ans) incluses dans la rotation ; il y a également un cas de jachère de longue durée à *Andropogon gayanus*.

Les données chiffrées sur la comparaison jachères/cultures sont d'ailleurs beaucoup moins nombreuses que pour la comparaison forêt/cultures. Il eût été intéressant de pouvoir caractériser par leur action sur le sol les différentes étapes de reconstitution de la végétation naturelle : prairie à graminées annuelles, prairie à graminées vivaces, savane arbustive ou buissonnante, forêt claire (pour les zones les plus arrosées). L'insuffisance des informations recueillies ne permet pas de pousser très loin l'exploration de ce domaine. On peut cependant avancer, sans grands risques, l'hypothèse que plus la jachère se rapproche du type arbustif ou forestier, plus son action sur les propriétés physiques du sol sera proche de celle de la forêt. Ce sont seulement les premiers stades de reconstitution de la végétation naturelle qui seront étudiés ici : les prairies à graminées annuelles ou, parfois, à graminées vivaces. Et ceci, en l'absence de travail du sol.

INFLUENCES COMPAREES SUR LES CARACTÉRISTIQUES HYDRO-DYNAMIQUES DES SOLS

L'influence du couvert végétal ne se fait guère sentir sur les **valeurs d'humidité aux différents pF** : celles-ci sont, en effet, étroitement dépendantes des teneurs en colloïdes minéraux et organiques dans le sol et varient donc peu sous l'influence de la végétation. On peut noter, cependant, une baisse sensible de la capacité de rétention et de la réserve d'eau utile dans les horizons superficiels des sols de Séfa après déforestation : celle-ci entraîne, en effet, une chute brutale du taux de matière organique de l'ordre de 40 % de la valeur initiale (31). Cette disparition de la matière organique a une répercussion sensible sur les courbes de pF en fonction de l'humidité dans les horizons superficiels, et en particulier sur les valeurs du pF 2,5 (correspondant à la capacité au champ) et celles du pF 4,2 (point de flétrissement) : la baisse serait de l'ordre de 20 % pour le premier point et de 5 % pour le second.

Plus importante et plus générale apparaît l'influence de la végétation sur la perméabilité des sols ; mais il s'agit là d'une notion difficile à appréhender ; les résultats peuvent varier beaucoup suivant la méthode de mesure utilisée : coefficient de filtration sur échantillons remaniés, perméabilité sur échantillons intacts, perméabilité *in situ*, mesures de ruissellement.

De nombreuses mesures de **coefficient de filtration** de DARCY ont été effectuées sur les sols de Séfa. Les plus récentes sont dues à CHAUVEL (21) qui a comparé les horizons superficiels des sols rouges et beiges sous forêt, et sous culture, une vingtaine d'années après le défrichement. Les valeurs moyennes obtenues sont les suivantes (en cm/h) :

	Sous forêt	Sous culture
Sol rouge	3,90	1,18
Sol beige	2,21	1,15

Ces valeurs sont assez faibles mais on peut noter une baisse importante après mise en culture : en valeur relative, elle atteint 50 % à 70 % de la valeur initiale.

Ces mêmes mesures ont été effectuées à Bambey par POULAIN (81) qui a comparé, dans un même essai implanté sur sol « dior », trois terrains soumis aux traitements suivants :

jachère de longue durée à *Andropogon gayanus*,
rotation triennale : jachère-arachide-mil,
culture continue d'arachide.

Les prélèvements ont été effectués quatre ans après le démarrage de l'essai. Les résultats ont été les suivants :

	Jachère	Rotation	Arachide continue
Coefficient de filtration (cm/h) .	1,43	1,68	1,23

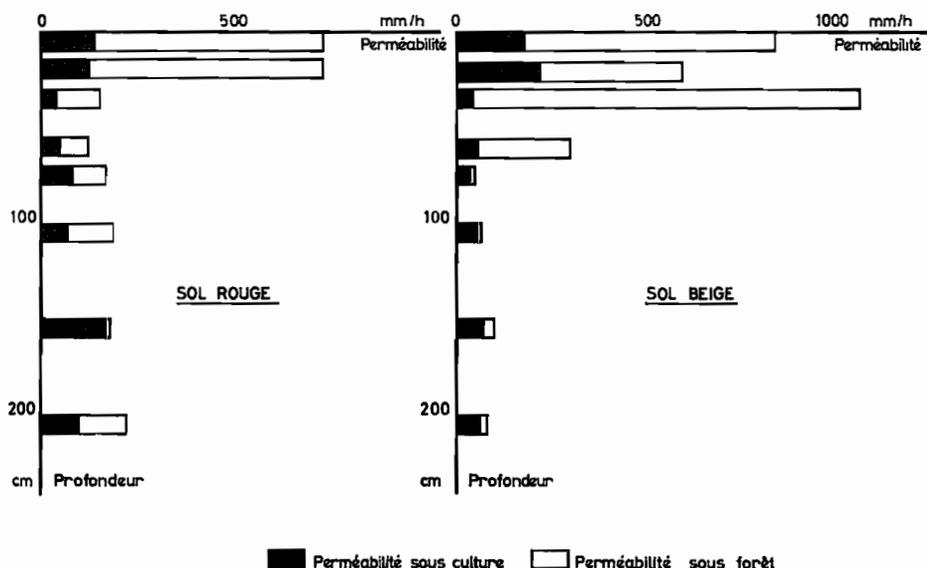
La différence entre la rotation et l'arachide continue est très hautement significative ($P = 0,999$) ; par contre, les différences entre jachère et rotation, d'une part, jachère et arachide continue, d'autre part, ne sont pas significatives.

Comme on l'a vu précédemment, le coefficient de filtration renseigne davantage sur l'état structural du sol que sur les conditions réelles d'infiltration de l'eau dans le sol.

Plus probantes, à cet égard, sont les mesures de **perméabilité** effectuées sur des échantillons de sol dont la structure est conservée intacte.

Graphique III-4: Valeurs moyennes comparées de la perméabilité sous forêt et sous culture à différents niveaux des sols rouges et beiges de Séfa

D'après A. Chauvel et C Tobias (19)



Des mesures de ce type ont été effectuées par COINTEPAS (24) sur des échantillons de sol prélevés par enfoncement de cylindres de 20 cm de hauteur et 8 cm de diamètre. L'auteur souligne lui-même que, faute de matériel adéquat et en raison des effets de paroi qui ont pu se produire, les chiffres obtenus peuvent être critiquables en valeur absolue mais gardent leur intérêt en valeur relative. Les valeurs obtenues sont très faibles puisqu'elles sont de l'ordre de 4 mm/h à 5 mm/h dans les horizons superficiels des sols sous culture. L'influence du couvert végétal est extrêmement nette. La différence entre sol de forêt et sol cultivé est, en effet, de l'ordre de 1 à 50 pour la couche 0 à 20 cm et de 1 à 20 ou 30 pour la couche de 20 à 40 cm.

Plus récemment, CHAUVEL et TOBIAS (22) ont procédé à d'autres mesures de perméabilité en utilisant une méthode proche de celle de VERCIÈRE (10). La méthode a été décrite par TOBIAS (93). La comparaison a pu être faite de sols rouges et sols beiges sous forêt et sous culture. Les résultats de perméabilité, après cinq heures de percolation, figurent dans le tableau III-4 et sur le graphique III-4.

TABLEAU III-4
COMPARAISON DES VALEURS DE PERMÉABILITÉ EN SOL ROUGE ET BEIGE DE SÉFA SOUS FORÊT ET SOUS CULTURE
(en mm/h)
d'après CHAUVEL et TOBIAS (19)

Type de sol	Profondeur (cm)	Forêt			Culture		
		Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima	Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima
Rouge	0- 10	370	744	1.067	48	142	256
	15- 25	412	745	1.272	77	124	218
	30- 40	105	154	230	21	37	61
	45- 50	22	126	262	19	50	100
	70- 80	90	165	210	56	85	104
	100-110	160	185	207	63	67	75
	150-160	50	180	350	120	173	217
200-210	145	227	330	63	100	153	
Beige	0- 10	692	840	1.102	57	179	380
	15- 25	295	593	1.086	180	215	250
	30- 40	462	1.141	1.970	10	42	75
	45- 50	171	302	627	20	55	80
	75- 80	24	48	62	24	43	60
	100-110	57	67	85	38	55	112
	150-160	65	97	132	42	63	92
200-210	30	76	200	25	59	140	

Comme on peut le constater, il y a effectivement une baisse importante de perméabilité en passant de la forêt à la culture, baisse qui affecte surtout les horizons superficiels mais qui se fait sentir de façon atténuée jusqu'à 2 m de profondeur. Pour les horizons de surface, l'écart relatif est toutefois beaucoup moins important que celui qui était signalé par COINTEPAS. Si l'on ne considère que les valeurs moyennes, il est, jusqu'à 40 cm, de 3 à 6 pour les deux sols, exception faite pour le niveau 30 cm à 40 cm du sol beige dont la perméabilité chute dans une très forte proportion (27 à 1). Les valeurs de perméabilité sont, dans l'ensemble, nettement plus élevées que celles indiquées par COINTEPAS. Cependant, les chiffres de perméabilité du sol beige sous culture ne concernent ici qu'un emplacement situé en position haute et plane. Deux autres emplacements ont été étudiés, dans des positions topographiques différentes : l'un au fond, l'autre en bordure d'une microcuvette. Les valeurs de perméabilité obtenues sont sensiblement plus faibles, surtout pour le sol en bordure de microcuvette. On se rapproche alors des ordres de grandeur indiqués par COINTEPAS et les écarts entre forêt et culture deviennent effectivement très importants. Ceci souligne la variabilité des mesures en fonction de l'échantillonnage sur le terrain même à faible distance. Il semble, toutefois, que le sol de bordure de cuvette ne constitue qu'un cas particulier et que les chiffres indiqués sur le tableau reflètent mieux la tendance générale.

Des mesures de perméabilité *in situ*, en utilisant les méthodes de MÜNTZ (67) et PORCHET (79), ont été effectuées en assez grand nombre dans diverses stations du Sénégal et concernent, cette fois, la comparaison jachères/cultures. Il n'est pas apparu de différences significatives entre les modes d'occupation du sol : la méthode PORCHET donne toujours des valeurs élevées dans les deux cas ; la méthode MÜNTZ fournit des résultats plus variables dans les champs cultivés que dans les jachères, en raison des variations d'état structural de la couche supérieure ; en moyenne, les valeurs seraient un peu plus faibles sous culture, sans que la différence soit très accusée. Ces mesures n'ont pas, à notre connaissance, été effectuées sous forêt.

On a vu précédemment qu'un quart des pluies tombait à Séfa avec une intensité supérieure à 62 mm/h. Si l'on se réfère au tableau III-4, on constate que ce chiffre est sensiblement supérieur aux valeurs de perméabilité, notamment pour les horizons entre 0,30 et 1 m. On peut donc s'attendre à ce qu'au cours des fortes pluies il y ait engorgement du sol vers 30 cm de profondeur et formation d'une lame d'eau en surface ; si le sol est en pente, même légère, il doit y avoir apparition du ruissellement. C'est effectivement ce que l'on constate à Séfa où les études menées de 1954 à 1968 en cases d'érosion ont permis de chiffrer chaque année, pour différentes cultures, les **valeurs de ruissellement**. Les mesures ont été faites sur parcelles de 40 m à 50 m de long et 5 m de large pour les cultures, 15 m de large pour la forêt, située sur pentes variant de 1 % à 2 %.

En soustrayant ces valeurs de ruissellement de la hauteur d'eau tombée, on en déduit l'infiltration globale pendant le temps considéré, ce qui constitue la mesure la plus sûre de la perméabilité. En suivant les variations du débit de ruissellement au cours de la pluie, on peut suivre, indirectement, les variations de l'infiltration au cours de la pluie. C'est ce qu'ont tenté successivement COINTEPAS (24) en 1955 et PIERI (77) en 1965 pour des parcelles sous culture.

En dressant les courbes de vitesse d'infiltration en fonction du temps, COINTEPAS trouve une famille de courbes grossièrement assimilables à des branches d'hyperboles : la vitesse d'infiltration diminue rapidement au cours de la pluie et les courbes tendent toutes vers une même limite. Cette limite pourrait représenter un coefficient maximum d'infiltration du sol en cours de drainage ; elle varie de 4,5 mm/h à 7 mm/h suivant la nature de la culture. PIERI retrouve les résultats de COINTEPAS pour des pluies d'intensité relativement constante ; par contre, pour des pluies à intensités variables, ce qui est le cas général, le phénomène lui apparaît plus complexe : les vitesses d'infiltration seraient alors grossièrement proportionnelles aux intensités de pluie. La relation linéaire serait d'autant meilleure que ces intensités sont inférieures à 100 mm/h et que la durée de la pluie ne dépasse pas quarante-cinq minutes.

La question n'est donc pas tranchée et d'autres études seraient nécessaires pour pouvoir y répondre avec certitude.

Quoi qu'il en soit, les valeurs globales de ruissellement ou d'infiltration au cours de chaque pluie fournissent déjà d'intéressants renseignements et permettent, en particulier, de caractériser l'influence de la nature du couvert végétal.

Les études menées de 1954 à 1963, regroupées par ROOSE (86) et celles conduites de 1964 à 1968 par CHARREAU *et alii* (15, 16, 17, 18, 19) fournissent les données nécessaires. Elles ont été résumées dans le tableau III-5.

Ces données doivent être interprétées avec une certaine prudence, car elles intéressent un nombre de répétitions variable pour chaque traitement et différentes années. Par ailleurs, pour les plantes cultivées, elles intègrent les résultats obtenus par différentes techniques culturales (par exemple : culture à plat et culture en billons ; culture traditionnelle et culture mécanisée). Néanmoins, les ordres de grandeurs restent valables et il est possible de dégager de ces chiffres certaines observations.

On constate tout d'abord une opposition très nette entre la forêt et les autres formations végétales : jachères ou cultures. Que la forêt soit brûlée en saison sèche, comme il est de règle dans la région, ou qu'elle soit intégralement protégée du feu, le ruissellement est toujours très faible sous son couvert : 13 mm à 14 mm en moyenne, soit 1 % de la pluviométrie.

TABLEAU III-5
INFLUENCE COMPARÉE DE DIVERSES COUVERTURES VÉGÉTALES SUR LE RUISSellement A SÉFA
(1954 - 1968)

Nature du couvert végétal	Nombre de répétitions	Pluie moyenne (mm)	Ruissellement (mm)			Ruissellement (%)		
			Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
Forêt protégée	11	1.293	12,9	5,0	44,7	0,9	0,1	2,3
Forêt brûlée	13	1.289	14,0	8,0	42,9	1,1	0,3	2,2
Jachère herbacée	7	1.203	199,7	142,0	250,6	16,6	11,8	21,5
Arachide	32	1.329	275,3	66,6	529,1	20,7	3,7	42,5
Cotonnier	3	1.151	322,3	10,4	491,5	28,0	0,9	42,7
Sorgho engrais vert	13	1.246	241,0	129,6	404,9	19,3	11,2	35,0
Riz pluvial	17	946	221,0	14,5	443,7	23,3	2,4	39,3
Sorgho grain	2	1.113	379,4	271,6	467,5	34,1	24,4	42,0
Maïs	17	1.405	248,2	19,4	698,0	17,7	1,1	46,3
Mil grain	4	1.328	389,6	271,6	529,1	29,3	18,8	39,7
Cultures dévastées et sol nu	11	1.154	455,6	151,5	646,4	39,5	20,8	53,1

Quand jachères ou cultures remplacent la forêt, le ruissellement augmente dans de très fortes proportions. Si l'on regroupe les formations végétales en quatre grandes catégories : forêt, jachères herbacées, cultures, sol nu (ou cultures dévastées), on obtient les moyennes pondérées suivantes :

	Hauteur d'eau ruisselée (mm)	Coefficient de ruissellement (%)
Forêt	15	1,0
Jachères	200	16,6
Cultures	264	21,2
Sol nu	456	39,5

Jachères et cultures se situent donc en position intermédiaire entre les deux extrêmes que constituent la forêt, d'une part, le sol nu, d'autre part. On voit qu'il n'y a pas d'opposition tranchée, à ce point de vue, entre jachères et cultures. Il s'agit ici de jachères de courte durée (1 ou 2 ans) incluses dans la rotation culturale. Le ruissellement est un peu plus faible sous jachère que sous culture, mais la différence n'est pas considérable.

On peut penser que le ruissellement est surtout important sous jachère lorsque celle-ci est à son début d'implantation, ce qui est en partie exact. Mais on est surpris, cependant, de constater que de forts ruissellements peuvent également se produire en fin de saison sur jachère de deuxième année (cas de la parcelle 8 en 1962). Il semble que, comme pour les cultures, le développement du couvert végétal au cours du temps n'ait pas une influence déterminante sur l'allure du ruissellement, alors que c'est le contraire qui est observé pour l'érosion.

En ce qui concerne les cultures, on peut noter que les valeurs moyennes obtenues sont assez voisines les unes des autres ; comme il y a, par ailleurs, de grandes variations entre répétitions (dans l'espace et dans le temps), il existe d'importantes zones de recouvrement entre les gammes de valeurs obtenues pour chaque culture. Il est difficile de dire si telle culture provoque davantage de ruissellement que telle autre : ce sont plutôt les techniques culturales associées à chaque culture qui ont une influence réelle sur l'infiltration de l'eau dans le sol, ainsi qu'on le verra plus loin.

Au total, les conclusions découlant des études sur le ruissellement viennent renforcer et préciser celles qui étaient déduites des mesures de perméabilité :

- nette diminution de l'infiltration de l'eau dans le sol, quand on passe de la forêt à la culture ;
- peu de différences, à ce point de vue, entre cultures et jachères herbacées, de même qu'entre diverses cultures.

INFLUENCES COMPARÉES SUR LE RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS

Des observations précédentes faites sur les sols de Séfa, on aurait pu déduire que la déforestation de vastes superficies (10.000 ha d'un seul tenant à la SODAICA), entreprise en 1948, conduirait inmanquablement à un assèchement progressif de la zone défrichée et à un abaissement de la nappe phréatique, l'infiltration étant inférieure de 20 % en moyenne (et parfois bien davantage) sous culture, par rapport à la forêt.

Or, ainsi que le rapportent CHARREAU et FAUCK (14), une vingtaine d'années après le défrichement, c'est le phénomène inverse qui est observé : d'après les hydrogéologues, le niveau de la nappe s'est élevé de 8 m, donnant naissance dans une des vallées entaillant le plateau déboisé à une source débitant 300 l/s à 500 l/s (bassin versant de l'ordre de 20 km²). Toutes les vallées entaillant le plateau déboisé, qui étaient autrefois à sec dès le mois de décembre, sont maintenant en eau toute l'année ; les vallées voisines, dont le bassin versant est entièrement boisé, ne présentent pas de modification dans leur régime d'écoulement.

On peut avancer trois hypothèses pour tenter d'expliquer cette divergence entre la prévision et les faits :

- le volume d'eau parvenant par ruissellement superficiel jusqu'aux thalwegs pourrait contribuer à alimenter la nappe phréatique ;
- l'importance du ruissellement à l'échelle du bassin versant a été surestimée ;
- 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.

La première hypothèse ne peut guère être retenue, car elle est contredite par l'allure générale de la surface piézométrique de la nappe dans cette région de Moyenne-Casamance, indiquant nettement un drainage de la nappe par la rivière et ses affluents ; elle est incompatible aussi avec l'apparition de sources dans les thalwegs.

La seconde hypothèse peut retenir davantage l'attention, car il est en effet difficile d'extrapoler des mesures de ruissellement faites sur petites parcelles (40 m à 50 m de long) à des bassins versants très étendus, avec des pentes très longues. 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 de ruissellement peut donc être inférieur, et parfois de beaucoup, à la somme des ruissellements parcellaires. Cette hypothèse apparaît donc assez valable mais elle ne saurait rendre compte, à elle seule, du renversement de la tendance et de l'ampleur du phénomène.

C'est finalement la réduction d'évaporation sous culture pendant la saison sèche qui paraît être le mécanisme déterminant. Alors que la forêt, dont les arbres ne sont jamais entièrement défeuillés, continue à puiser dans les réserves hydriques du sol en asséchant, de plus en plus lentement, des couches de plus en plus profondes, la culture, au contraire, lorsque le terrain est débarrassé de ses récoltes, cesse assez vite d'évaporer. Les horizons superficiels se dessèchent rapidement et fortement, constituant un mulch naturel qui réduit jusqu'à l'annuler l'évaporation du sol. Quant à la transpiration, elle est inexistante chez les résidus végétaux desséchés.

Les profils hydriques se trouvent ainsi figés dans un état de pseudo-équilibre pendant plusieurs mois de la saison sèche et l'humidité se trouve conservée à faible profondeur dans le sol. Le phénomène se reproduisant de façon identique chaque année, on conçoit qu'il puisse y avoir une augmentation progressive du stock d'eau en profondeur et relèvement du niveau de la nappe phréatique.

On peut tenter, avec toutes les réserves qui s'imposent, de comparer quantitativement les gains d'eau dans le sol et les réductions de l'évaporation, de façon à vérifier si l'on retrouve les mêmes ordres de grandeur. En reprenant le chiffre de 8 m en vingt ans fourni par les hydrologues, 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 (32), 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 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 déboisé pose également 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 : possibilités d'irrigation pendant la saison sèche ou ennoyage des vallées pendant la saison des pluies. Cela pose de nouveaux problèmes d'aménagement.

Si, comme on vient de le voir, il peut y avoir modification complète du régime hydrique des sols en passant de la forêt à la culture, avec toutes les conséquences qui en découlent pour le sol et l'agriculture, il n'y a pas, par contre, d'opposition tranchée, à ce point de vue, entre cultures et jachères herbacées.

On peut considérer, en effet, qu'un mois ou deux après l'arrêt des pluies les herbes de la jachère sont mortes ou en état de vie très ralentie : l'évapotranspiration est faible ; par ailleurs, il n'y a pas d'exploitation des horizons profonds du sol.

On se retrouve donc à peu près dans les mêmes conditions que la culture, avec toutefois un assèchement un peu plus poussé, en général. Entre les différentes cultures, il n'y a pas, non plus, de différences essentielles. L'évapotranspiration est davantage influencée par le développement végétatif et la longueur du cycle que par la nature même de la plante cultivée.

INFLUENCES COMPARÉES SUR LE RÉGIME THERMIQUE DES SOLS

Cette question a été évoquée plus haut (voir p. 581). On a souligné qu'il pouvait y avoir d'importantes différences de température dans les horizons superficiels du sol, en saison sèche, entre sol dénudé et sol protégé par une couverture végétale vivante. Lorsque cette couverture est morte, desséchée et clairsemée, comme c'est le cas général des jachères herbacées en saison sèche (quand elles ne sont pas brûlées), l'effet sur les températures du sol est, par contre, pratiquement nul.

A Séfa, des mesures systématiques (24) en saison sèche ont montré que la moyenne des maxima journaliers dans l'horizon superficiel était plus élevée de 8°, sous culture que sous forêt : 48° contre 40°. Les amplitudes de variations thermiques journalières ont également augmenté : de 11,4° sous forêt, elles passent à 20,1° sous culture. L'égalité des températures sous forêt et sous culture n'est atteinte qu'à 1 m de profondeur : c'est donc l'ensemble du profil qui se trouve sous un régime pédoclimatique différent du fait de la déforestation.

INFLUENCES COMPARÉES DES FORMATIONS VÉGÉTALES SUR LA STRUCTURE DU SOL

Il faut entendre ici la structure dans son sens le plus large, comme synonyme de mode d'assemblage des agglomérats terreux. Cette notion, assez délicate à cerner, peut être appréhendée de diverses manières : examen morphologique, mesures de pénétrométrie, de densité apparente et de stabilité structurale.

On passera en revue les résultats obtenus par ces différentes méthodes.

Les examens comparés de profils sous forêt et sous culture, effectués à Séfa par de nombreux auteurs et, en particulier, par CHARREAU et PICON (16), ont mis en évidence des différences nettes d'aspect morphologique dans les couches superficielles du sol (0 à 30 cm) entre ces deux situations.

Sous forêt, on observe de 0 à 6 cm une couche de couleur brune, très foncée, presque noire. La structure est grumeleuse fine, la porosité importante. Cet horizon est très abondamment colonisé par les racines et se trouve être le siège d'une activité intense de la mésofaune (nombreuses galeries d'animaux). Le contraste avec les horizons inférieurs est bien marqué par la couleur, qui va en s'éclaircissant, la texture qui devient plus argileuse et la compacité qui augmente. Il ne semble pas y avoir de différences importantes entre les sols sous forêt brûlée annuellement en saison sèche et sous forêt intégralement protégée du feu.

Sous culture, il y a une homogénéisation complète de la couche de 0 à 30 cm, travaillée par les instruments aratoires. La teinte est gris-brun, beaucoup plus claire que dans l'horizon de surface forestier ; la limite est brutalement marquée par le fond des labours. La structure est fondue avec parfois une tendance à former quelques agrégats polyédriques.

Sous jachère herbacée, le profil de sol n'est pas très différent de ce qu'il est sous culture. Pour les jachères intercalées dans les rotations culturales, on note une certaine action des racines sur la structure et la porosité sur une profondeur de 5 à 10 cm : cette profondeur correspond à la couche travaillée au cours des façons de préparation superficielles ou d'entretien. Cette action intéresse toute la superficie du terrain couvert par la jachère. Comme pour les céréales, la structure n'est réellement modifiée sous jachère que lorsque celle-ci a subi un travail de préparation profond.

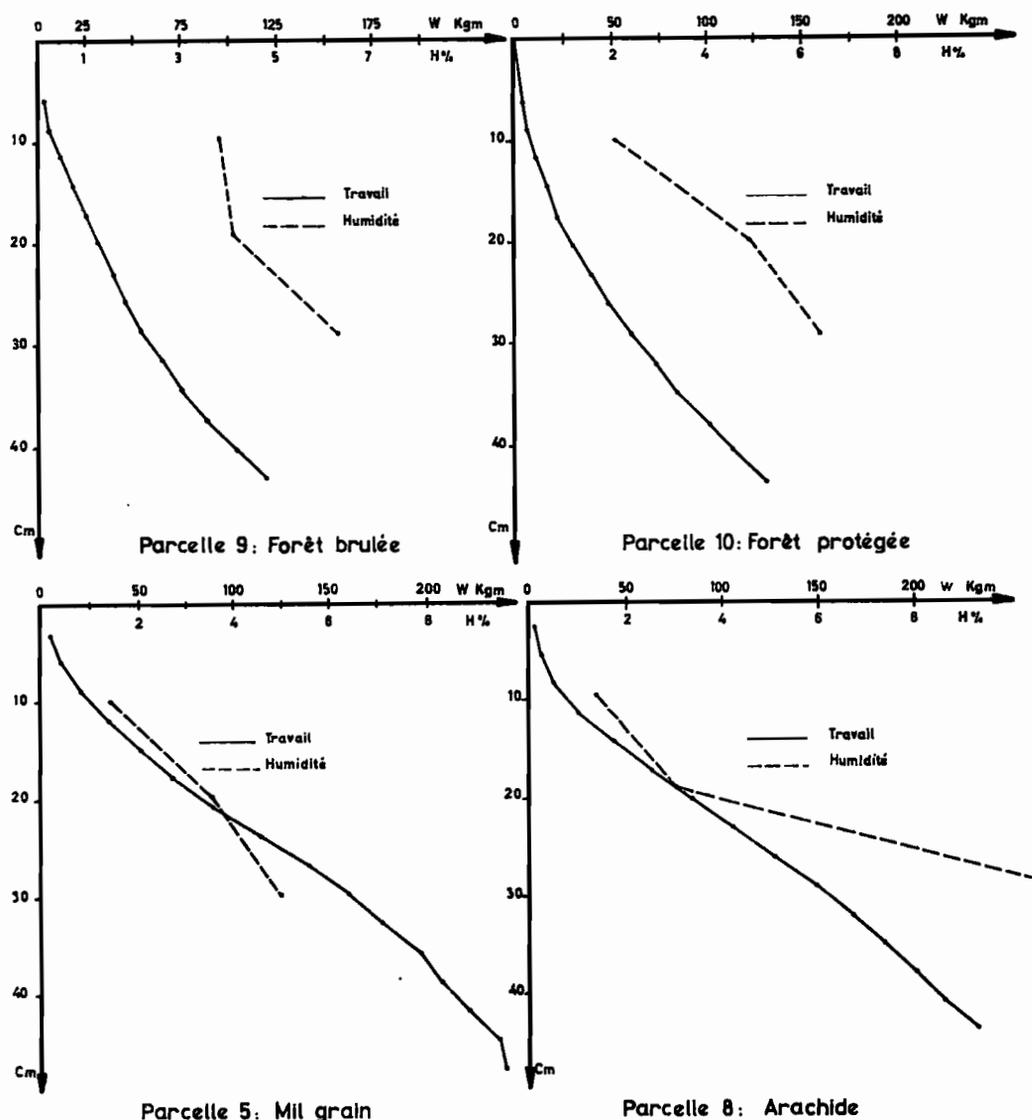
Dès la fin de la saison des pluies, le dessèchement provoque un développement remarquable de la cohésion, jusqu'à faire du sol un véritable « béton ». Les **mesures pénétrométriques** permettent de rendre compte de ce phénomène. Elles ont été effectuées sous les différentes formations végétales concernées : forêt, culture, jachère herbacée.

En saison des pluies, lorsque les profils hydriques sont voisins de la capacité de rétention, les forces de résistance à la pénétration sont assez faibles partout. En sol « dior » de Bambey, elles sont de l'ordre de 50 kg à 70 kg dans l'horizon 0 à 20 cm et de 60 kg à 120 kg dans l'horizon 20 à 40 cm. Il n'y a pas, à cet égard, de différences notables entre les formations végétales. Peu de mesures ont d'ailleurs été effectuées. Plus significatives paraissent être les mesures réalisées au cours de la saison sèche.

Graphique III - 5

Profils hydriques et pénétrométriques comparés sous forêt et sous cultures à Séfa

D'après Charreau et Picon (1966)



A Séfa, CHARREAU et PICON (16) ont comparé en milieu de saison sèche (février) les sols sous forêt et sous culture. Les profils hydriques, jusqu'à 50 cm de profondeur, étaient alors très comparables dans les deux cas. Les courbes de profils hydriques et pénétrométriques obtenues figurent sur le graphique III-5.

Comme on le voit, la cohésion est beaucoup plus développée sous culture que sous forêt. Les forces moyennes de pénétration jusqu'à 20 cm et 40 cm de profondeur et les coefficients de cohésion correspondants sont les suivants :

TABLEAU III-6
COMPARAISON DES FORCES DE PÉNÉTRATION ET DES COEFFICIENTS DE COHÉSION A SÉFA
(en saison sèche, sous différentes formations végétales)

Végétation		Forêt protégée	Forêt brûlée	Arachide	Mil
Horizon	Cohésion				
0-20	Force (kg)	150	161	430	442
	Coefficient de cohésion (%)	34	36	97	100
0-40	Force (kg)	442	514	1.010	1.035
	Coefficient de cohésion (%)	43	49	98	100

NICOU et THIROUIN (71) ont procédé, à Séfa, en 1966, à des mesures pénétrométriques comparées en saison sèche sur jachère herbacée et derrière culture d'arachide, dans des conditions d'humidité édaphiques très voisines (essais « Régénération du profil » : moyenne de six traitements pour la culture).

Les résultats furent les suivants :

TABLEAU III-7
COMPARAISON DES FORCES ET COEFFICIENTS DE COHÉSION EN SAISON SÈCHE A SÉFA
(sous jachère et sous cultures d'arachide)

Horizons	Force et coefficient de cohésion	1966		1967	
		Jachère	Arachide	Jachère	Arachide
0-20 cm	Force (kg)	233	306	452	466
	Coefficient de cohésion (%)	76	100	97	100
0-40 cm	Force (kg)	442	489	650	581
	Coefficient de cohésion (%)	90	100	112	100

Les valeurs sont ici très voisines : il n'y a guère de différence d'ameublissement entre jachère et culture, sauf peut-être une légère amélioration en faveur de la jachère sur les vingt premiers centimètres.

Cette analogie entre jachère et culture, en ce qui concerne la cohésion du sol, a été confirmée par POULAIN (82) en janvier 1967 sur les sols « dior » de Bambey. Les chiffres obtenus ont été les suivants :

TABLEAU III-8
COMPARAISON DES FORCES ET COEFFICIENTS DE COHÉSION EN SAISON SÈCHE A BAMBÉY
(sous différentes formations végétales)

Horizons	Force et coefficient de cohésion	Jachère longue	Arachide	Mil
0-20 cm	Force (kg)	312	275	310
	Coefficient de cohésion (%)	101	89	100
0-40 cm	Force (kg)	330	215	242
	Coefficient de cohésion (%)	136	89	100

Il s'agissait ici d'une jachère à *Andropogon gayanus* âgée d'une dizaine d'années. L'arachide était cultivée depuis dix ans, le mil étant cultivé sur défriche de jachère. Dans aucun cas, il n'y a eu de travail profond du sol. Les cohésions sont voisines et très élevées dans l'horizon 0 à 20 cm. En profondeur, elles deviennent plus faibles pour les cultures. Il est possible que, dans ce cas, une différence d'humidité ait pu jouer, la jachère ayant probablement évaporé pendant une période plus longue et asséché le sol sur une plus grande profondeur. Les chiffres d'humidité manquent malheureusement.

De cet ensemble de données on peut donc retenir qu'au cours de la saison sèche la cohésion est plus développée sous culture et sous jachère herbacée que sous forêt mais que, par contre, aucune différence significative n'apparaît, à ce point de vue, entre jachère et culture.

Des mesures de **densité apparente** ont été effectuées à Séfa par COINTEPAS (24) pour comparer les sols sous forêt et sous culture. Les résultats sont les suivants :

TABLEAU III-9
COMPARAISON DES VALEURS DE DENSITÉ APPARENTE SOUS FORÊT ET SOUS CULTURE A SÉFA

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

La densité réelle est égale à 2,62 partout.

On observe une augmentation très forte de la densité apparente en passant de la forêt à la culture, ce qui entraîne, corrélativement, une baisse notable de la porosité. Celle-ci passe de la valeur de 45 % en moyenne dans l'horizon 0 à 20 cm sous forêt à 37 % sous culture. Ces mesures confirment les observations faites sur les profils culturaux.

Il ne semble pas, par contre, y avoir de différences sensibles dans les densités apparentes sous jachère et sous culture.

NICOU et THIROUIN (71) ont bien mis en évidence l'influence de la végétation sur l'évolution de la densité apparente au cours de la saison des pluies. Dans l'essai « Mode de préparation × date de semis », implanté à Nioro-du-Rip, trois modalités de labour étaient comparées à un témoin non labouré sur culture de sorgho. Pour chaque traitement de labour, il y avait deux dates de semis, séparées par un mois d'intervalle (19 juin et 19 juillet). Deux séries de prélèvements de densité apparente ont été effectuées, l'une le 22 juin, soit juste après la première date de semis et après 48 mm de pluie, l'autre le 31 juillet après 316 mm de pluie cumulée. Les mesures de densité apparente ont donné les résultats suivants pour l'horizon 5 à 15 cm :

TABLEAU III-10
INFLUENCE DU COUVERT VÉGÉTAL (DATE DE SEMIS) SUR L'ÉVOLUTION DE LA DENSITÉ APPARENTE
EN DÉBUT DE SAISON DES PLUIES A NIORO-DU-RIP

Date de prélèvement	Pluviométrie (mm)	Témoin deuxième date de semis	Labour de fin de cycle		Labour en sec		Labour en humide	
			Première date de semis	Deuxième date de semis	Première date de semis	Deuxième date de semis	Première date de semis	Deuxième date de semis
22 juin	48	1,50	1,42		1,47		1,30	
31 juillet	316	1,53	1,48	1,51	1,49	1,52	1,44	1,48

On retrouve ici l'effet de tassement du sol par les pluies se traduisant par une augmentation de la densité apparente. Cet effet se manifeste sur tous les traitements entre le 22 juin et le 31 juillet. Mais ce qui est particulièrement intéressant à noter, sur cet exemple, c'est l'influence de la date de semis et donc de la végétation du sorgho sur l'évolution de la densité apparente : celle-ci est systématiquement plus faible, lors du deuxième prélèvement, sur les traitements correspondant à la date de semis la plus précoce.

Un essai et des mesures identiques ont été réalisés à Sinthiou-Malème sur maïs ; les résultats sont les mêmes, mais les écarts entre les densités correspondant aux dates de semis sont peut-être un peu moins accentués.

Concernant la **stabilité structurale**, on a fait état précédemment des mesures effectuées à Séfa par CHAUVEL (21), utilisant la méthode de HÉNIN (43) et permettant de comparer les comportements des terres sous forêt et sous culture. Nous rappellerons ici les résultats obtenus pour l'horizon superficiel (0 à 10 cm) :

TABLEAU III-11
COMPARAISON DE LA STABILITÉ STRUCTURALE SOUS FORÊT ET SOUS CULTURE A SÉFA

Nature des sols	Couverture végétale	Taux d'agrégats vrais (%)			A + L maximum (%)	I S	K cm/h
		Alcool	Eau	Benzène			
Sols rouges	Forêt	13,8	12,4	5,6	5,6	0,42	3,90
	Culture	5,5	2,6	1,8	10,9	1,32	1,18
Sols beiges	Forêt	8,2	3,6	3,6	6,1	0,79	2,21
	Culture	5,5	2,9	0,9	8,4	1,56	1,15

De nombreuses autres mesures ont été effectuées par FAUCK *et alii* (31) et viennent confirmer entièrement ces résultats : on observe une péjoration assez nette de la stabilité structurale en passant de la forêt à la culture.

La comparaison entre jachère et culture n'a pas été faite à Séfa, mais à Bambeï, sur sol « dior » très sableux, où POULAIN (81) a étudié, dans le même essai, le comportement du sol sous jachère longue à *Andropogon gayanus*, sous culture continue et sous rotation triennale : jachère-arachide-mil, après quatre ans de mise en culture. La méthode utilisée par cet auteur était inspirée de celle de HÉNIN (43) mais légèrement modifiée pour l'adapter à la nature particulièrement sableuse des sols. Ces modifications et la signification des tests utilisés ont été mentionnées dans les méthodes d'étude du profil cultural.

Les résultats furent les suivants :

TABLEAU III-12

COMPARAISON DE LA STABILITÉ STRUCTURALE SOUS JACHÈRE ET SOUS CULTURE A BAMBEY

Caractéristiques structurales	Jachère	Rotation triennale	Arachide continue
Taux d'agrégation moyen (%)	16,3	14,1	21,8
Stabilité à la dispersion (%)	76,5	74,8	59,9
Coefficient de filtration (K cm/h)	1,43	1,68	1,23

Pour aucune des trois caractéristiques, il n'y a de différences significatives entre jachère et rotation triennale. Par contre, l'arachide continue est inférieure, de façon hautement significative ($P = 0,01$) à la jachère et à la rotation pour le taux d'agrégation et la stabilité à la dispersion. Pour le coefficient de filtration, il n'existe de différence significative ($P = 0,001$) qu'entre arachide continue et rotation. Les cultures successives et répétées d'arachide sur le même sol, sans intervention de travail profond, conduisent donc à une diminution de stabilité structurale. Par contre, l'action de la jachère ne paraît pas différer, à ce point de vue, de celle des rotations culturales habituelles.

INFLUENCE DE LA NATURE DU COUVERT VÉGÉTAL SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉROSION

Les manifestations de l'érosion peuvent être regardées comme le terme ultime de la dégradation du profil cultural. On peut se demander si la nature du couvert végétal a une influence sur cette dégradation.

Ainsi qu'il a été vu, la cause essentielle de dégradation réside dans l'« effet splash » des gouttes de pluie tombant sur le sol. Cet effet est particulièrement élevé sous les tropiques du fait des intensités très fortes atteintes par les pluies et des très grandes énergies cinétiques qu'elles peuvent ainsi développer. Les dangers d'érosion existent donc surtout en début de saison lorsque la végétation est insuffisamment développée pour offrir une protection suffisante au sol et absorber l'énergie cinétique des pluies. C'est au cours de cette période, principalement, que les plantes se différencient dans leur action de protection vis-à-vis du sol. Il serait à cet égard d'un grand intérêt de disposer, pour chaque culture, de courbes de développement du couvert végétal en fonction du temps. Ces études viennent de commencer ; elles sont encore insuffisamment avancées pour qu'on puisse en exploiter les résultats.

Cependant, les mesures d'érosion effectuées à la Station de Séfa de 1954 à 1963, regroupées par ROOSE (86), et celles réalisées par CHARREAU *et alii* (15 à 19) de 1964 à 1968 permettent de comparer l'influence de diverses couvertures végétales : forêt, jachère herbacée, culture, sur le développement de l'érosion. Des études précitées, ont été extraites les quelques données figurant dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III-13

INFLUENCE DE LA NATURE DU COUVERT VÉGÉTAL SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉROSION A SÉFA (1954-1968)

Nature du couvert végétal	Nombre de répétitions	Pluie moyenne (mm)	Erosion (t/ha)			Rendement moyen (kg/ha)
			Moyenne	Minimum	Maximum	
Forêt protégée	11	1.293	0,10	0,02	0,22	—
Forêt brûlée	13	1.289	0,27	0,02	0,82	—
Jachère herbacée	7	1.203	4,88	1,46	10,14	—
Arachide	32	1.329	7,70	2,28	20,81	2.066
Cotonnier	3	1.151	7,75	0,47	18,52	500
Sorgho engrais vert	13	1.246	7,90	1,19	22,71	—
Riz pluvial	17	946	5,52	0,24	18,39	(973)
Sorgho grain	2	1.113	8,35	3,29	12,40	1.130
Mais	17	1.405	7,63	1,83	26,68	3.113
Mil grain	4	1.328	7,77	4,99	12,57	2.000
Cultures dévastées ou sol nu	11	1.154	21,28	6,48	54,48	0

L'interprétation de ces données doit être assortie des mêmes réserves que pour celles du tableau III-5 concernant le ruissellement : nombre de répétitions variable pour chaque traitement, années différentes, techniques culturales diverses. Ces réserves étant faites, il n'en ressort pas moins une influence importante de la couverture végétale sur le développement de l'érosion.

Si l'on regroupe les formations végétales en quatre grandes catégories : forêt, jachères herbacées, culture, sol nu (ou cultures dévastées), les moyennes pondérées d'érosion calculées pour chacune de ces catégories sont les suivantes :

Couverture végétale.	Erosion (t/ha)
Forêt	0,18
Jachère	4,88
Cultures	7,31
Sol nu	21,28

Le premier fait qui s'impose est que la forêt, brûlée ou non, protège beaucoup plus efficacement le sol que n'importe quelle autre formation végétale (jachère herbacée ou culture annuelle). Sous jachère, l'érosion est en moyenne près de trente fois plus importante que sous forêt. Ceci peut s'expliquer par le fait que les jachères étudiées à Séfa venaient immédiatement après culture ; dans ces conditions, il faut un certain laps de temps pour que l'herbe puisse couvrir entièrement le terrain, période pendant laquelle les pluies peuvent dégrader le sol. Les pertes de terre par érosion sous jachère herbacée annuelle sont du même ordre de grandeur que celles observées sous culture, tout en leur étant légèrement inférieures. A partir de la deuxième année, la couverture du sol par la jachère herbacée est beaucoup plus précoce et plus efficace, surtout lorsqu'elle n'a pas été brûlée en fin de saison sèche. Il est donc certain qu'à partir de ce moment la protection du sol est beaucoup mieux assurée. Cependant, même en deuxième année d'implantation, les pertes ne sont pas négligeables.

En ce qui concerne les cultures, on peut remarquer que les chiffres obtenus sont assez voisins et qu'il y a d'importantes zones de recouvrement entre les gammes des valeurs obtenues pour chaque culture. Il ressort de cette expérimentation qu'il n'y a pas, à proprement parler, de cultures plus dégradantes que d'autres et que les différences qu'on peut observer à cet égard sont largement imputables aux techniques culturales qui sont associées aux diverses cultures (travaux de préparation du sol, dates de semis, densités de semis, façons d'entretien, etc.). C'est ainsi que pour une même plante : le sorgho, l'érosion se manifesterait différemment, suivant qu'elle sera traitée en culture céréalière ou en engrais vert. En début de saison, l'engrais vert étant semé à densité beaucoup plus forte couvrira plus rapidement le sol que la céréale : l'érosion sera plus élevée sous la culture de sorgho grain. Deux mois après le semis, sauf accidents végétatifs particuliers, on peut considérer que, dans les deux cas, la végétation couvrira parfaitement le sol et assurera une protection complète contre l'érosion. Le labour d'enfouissement de l'engrais vert laissera à nouveau le sol nu ; si cet enfouissement est effectué trop tôt avant l'arrêt complet des pluies, il pourra y avoir une reprise notable de l'érosion.

Notons, pour terminer, l'importance que peuvent prendre les tonnages de terre érodée lorsque, pour une raison quelconque (mauvaise faculté germinative ou attaque parasitaire, par exemple), la culture présente un faible développement végétatif et laisse le sol insuffisamment protégé contre les pluies. L'érosion peut alors enlever plus de 50 t de terre à l'hectare, soit plus de 100 fois la quantité de terre emportée sous forêt brûlée.

CONCLUSION SUR L'INFLUENCE DE DIFFÉRENTS TYPES DE VÉGÉTATION SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

De ce qui précède, il ressort que, pour toutes les propriétés physiques des sols, qu'il s'agisse de caractéristiques ou de régime hydriques, de régime thermique, de structure ou de manifestation d'érosion, il y a une opposition tranchée entre l'action de la végétation forestière, d'une part, et celle de la végétation herbacée naturelle (jachère) ou cultivée, d'autre part. La déforestation s'accompagne inévitablement d'une péjoration de l'ensemble des propriétés physiques des sols, d'un bouleversement de leurs régimes hydriques et thermiques et d'une nette aggravation de l'érosion. Il s'agit, cependant, d'un préalable indispensable à la mise en valeur agricole et il faut donc regarder cette opération comme un mal nécessaire. Il était permis de penser qu'à défaut de végétation forestière, la végétation herbacée des jachères aurait pu jouer, dans une certaine mesure, le même rôle bénéfique sur les propriétés physiques des sols et sur leur comportement vis-à-vis des agents climatiques. Après analyse détaillée, il apparaît que, pour la zone étudiée, il n'en est rien et que l'action des jachères herbacées se distingue très peu, à cet égard, de celle des plantes cultivées, surtout céréalières.

Une autre conclusion importante est que, si le rôle propre de la végétation herbacée est assez limité en ce qui concerne la création d'une structure sur sol vierge de tout travail profond, il est, par contre, primordial dans la conservation et l'amélioration d'un profil cultural créé par le travail du sol.

Il y a une véritable interaction entre les deux phénomènes : l'amélioration de la macrostructure, consécutive au travail du sol, favorise le développement racinaire et végétatif de la plante mais, réciproquement, celle-ci préserve et améliore l'effet du travail du sol.

D) INFLUENCES RECIPROQUES DES PLANTES ENTRE ELLES. INCIDENCES SUR LA PRODUCTION VEGETALE

Ayant tenté d'analyser l'action de la végétation sur les propriétés physiques du sol, on essaiera maintenant de dégager quelles peuvent être, par l'intermédiaire des actions qu'elles exercent sur le sol, les influences réciproques des plantes se succédant ou s'associant sur le même terrain et les conséquences qui en découlent pour la production agricole.

Voulant continuer à caractériser autant que possible l'action des seuls facteurs biologiques, on exclura de cette étude les systèmes culturaux où l'intervention humaine modifie fortement les propriétés physiques du sol pour ne considérer ici que les **systèmes où aucun travail profond du sol n'est réalisé**, ce qui est encore le cas général dans la zone étudiée.

Il est évident, cependant, que l'action de la végétation ne se limite pas aux seuls propriétés physiques du sol. Avant d'étudier les successions et associations culturales, il conviendra d'abord d'examiner rapidement les influences exercées par la végétation sur les autres propriétés du sol et sur les cultures.

1) INFLUENCES EXERCEES PAR LA VEGETATION SUR L'ENSEMBLE DES PROPRIETES DU SOL ET SUR LES CULTURES

Les actions réciproques entre sol et plantes, d'une part, cultures de la rotation entre elles, d'autre part, sont fort complexes et il peut paraître ambitieux de vouloir isoler et caractériser tous les facteurs entrant en jeu. Toutefois, après HÉNIN (42), il est possible de proposer un regroupement de ces facteurs en quatre grandes catégories, suivant l'influence qu'ils exercent sur :

- les propriétés physiques des sols,
- les propriétés chimiques des sols et le bilan minéral,
- les caractéristiques biochimiques et le bilan humique,
- l'état sanitaire des cultures.

Le premier point a été précédemment étudié en détail ; il n'y aura donc pas lieu d'y revenir. Les trois autres points seront passés en revue et on s'efforcera, dans chaque cas, de préciser quelles peuvent être, dans l'exemple sénégalais, les modalités et l'intensité d'action des diverses cultures entrant en rotation.

a) FACTEURS INFLUANT SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS ET LE BILAN MINERAL

Toute plante, cultivée ou non, prélève dans le sol une certaine quantité d'éléments minéraux et les stocke dans ses tissus. Pour les plantes cultivées, il y a, à la récolte, exportation d'une partie des éléments minéraux mobilisés dans la plante. Dans le cas des cultures pratiquées au Sénégal, il faut noter que les exportations réelles, bien que difficiles à chiffrer, représentent une part très importante des mobilisations minérales, les résidus de récolte étant généralement assez faibles. Les légumineuses, arachide et niébé, sont en effet entièrement exportées, les tiges et les feuilles étant utilisées comme fourrage pour le bétail ; seuls restent sur le terrain les produits de la défoliation et les racines. Quant aux céréales, leurs pailles sont en grande partie utilisées pour la confection de clayonnage. La pratique de la culture continue conduit donc, en l'absence de fertilisants minéraux ou organo-minéraux, à un appauvrissement rapide du sol. La jachère ralentit ce processus sans toutefois le renverser.

Dans les pays tropicaux secs, en effet, les jachères de courte durée sont de type herbacé et non forestier. C'est seulement après cinq ou six années que l'on passe, sur les terrains qui n'ont pas été entièrement dessouchés, d'une jachère de type herbacé à une jachère de type buissonnant à *Guiera senegalensis* dans le nord et à une jachère de type arbustif, à base de combretacées, dans le sud. Or, du point de vue de la reconstitution des réserves chimiques du sol, il existe une différence essentielle entre les deux types de jachère : herbacé et arbustif. La jachère herbacée exploite par son système racinaire concentré dans les vingt centimètres superficiels les mêmes couches de sol que les plantes cultivées ; au contraire, la jachère forestière ou arbustive, grâce à son enracinement profond, est susceptible de prélever les éléments minéraux à plus d'un ou deux mètres de la surface ; elle mobilise ensuite ces éléments dans ses parties aériennes et, chaque année, une partie de ceux-ci fait retour au sol sous forme de brindilles, feuilles et fruits. Dans ce cas, on peut parler d'un véritable enrichissement des couches superficielles du sol aux dépens des couches profondes. Ce processus peut s'observer aisément sur les terrains de culture traditionnelle où sont conservés habituellement un certain nombre d'arbres appréciés

pour leurs fruits ou leurs bois. C'est ainsi qu'à Bambeï a pu être constaté par CHARREAU et VIDAL (20) d'abord, par JUNG (56, 57) ensuite, un remarquable enrichissement du sol en éléments minéraux sous couvert des *Acacia albida*. Tous les éléments voient leurs niveaux augmenter à proximité du tronc, mais les taux d'accroissement sont variables pour chacun d'eux ; les coefficients multiplicateurs s'étagent entre 1,3 et 2,3 pour les propriétés physico-chimiques, 1 et 4,9 pour les caractéristiques microbiologiques et biochimiques. Il s'agit là d'un enrichissement très local intéressant le voisinage immédiat de l'arbre.

Dans les régions équatoriales et tropicales humides, ce processus gagne considérablement en extension et en intensité : en extension, car le couvert feuillu des jachères forestières équatoriales étant continu, l'enrichissement concerne toute la surface du sol ; en intensité, car le retour au sol annuel des débris végétaux est nettement plus important dans les zones équatoriales et tropicales humides que dans les zones tropicales sèches. C'est pourquoi des auteurs comme NYE et GREENLAND (72) et LAUDELOUT (59) ont souligné l'importance des jachères forestières de longue durée, dans les zones équatoriales, pour la reconstitution du potentiel chimique des horizons supérieurs du sol.

En zone tropicale sèche, par contre, cette action sur les propriétés chimiques du sol peut difficilement être invoquée pour rendre compte de la nécessité d'intercaler des jachères herbacées de courte durée dans la rotation. Ces jachères ne peuvent que maintenir la fertilité chimique des couches superficielles en restituant au sol les éléments minéraux prélevés dans ces mêmes couches ; encore faut-il que ces éléments soient intégralement restitués, ce qui n'est pas le cas pour l'azote et le soufre dont une grande partie est perdue au moment des brûlis. On peut toutefois admettre, avec HÉNIN (42) que les plantes de jachères peuvent, dans certains cas, jouer le rôle de l'industrie chimique et mettre sous forme assimilable, à la disposition des cultures, des éléments qui, dans le sol, se trouvent sous une forme peu accessible. Ce rôle ne semble d'ailleurs pas spécifique des plantes de la jachère herbacée et pourrait être joué par toute culture laissant sur le terrain d'importants résidus végétaux destinés à être brûlés.

De toute manière, le recours de plus en plus généralisé aux engrais chimiques tend à restreindre l'importance à accorder à cet aspect particulier de l'influence des rotations culturales et des jachères sur le sol.

b) FACTEURS INFLUANT SUR LES CARACTÉRISTIQUES BIOCHIMIQUES ET LE BILAN HUMIQUE

Ce problème du bilan humique sera traité en détail dans un autre chapitre. Nous ne mentionnerons ici que les quelques conclusions pratiques qui s'appliquent au cas des systèmes culturaux sans travail profond du sol et, donc, sans labour d'enfouissement.

Le niveau humique du sol, pour des conditions climatiques données, est fixé essentiellement par l'importance des apports végétaux. Il est relativement élevé sous forêt où les restitutions organiques sont importantes : d'après DOMMERCUES (29), le poids de litière annuelle dans les forêts claires de Casamance serait de l'ordre de 5 t/ha, poids auquel il faut ajouter le poids des racines formées dans l'année et que GREENLAND et NYE (40) estiment à la moitié de la production de litière. Dans cette région, la « production primaire nette » de matière sèche serait donc de l'ordre de 7 t/ha à 8 t/ha sous forêt.

Sous culture et sous jachère herbacée, les seules restitutions organiques au sol sont celles du système racinaire, les parties aériennes étant, chaque année, brûlées ou exportées en totalité. D'après les estimations qui ont été faites plus haut (tableau III-2), les tonnages moyens seraient de l'ordre de 1 t/ha à 2 t/ha, soit nettement moins que sous forêt. Il faut donc s'attendre à voir baisser le stock humique du sol lorsque l'on passe de la forêt à la culture. C'est effectivement ce que l'on observe dans tous les cas : le rythme de diminution est rapide dans les deux ou trois premières années qui suivent la déforestation, beaucoup plus lent ensuite. En se reportant au tableau III-2, on notera que les poids de racines des jachères herbacées sont du même ordre de grandeur que ceux des cultures céréalières ; ils leur seraient même, en moyenne, plutôt inférieurs. Il n'y a donc pas de raison, à priori, pour que les niveaux humiques sous jachère ou sous culture soient très différents. Les mesures qui ont été faites au Sénégal et dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest ne montrent pas, en effet, d'influence particulière de la jachère herbacée de courte durée sur le taux de matière organique du sol.

Cette influence ne devient sensible que lorsque la durée de la jachère s'accroît et qu'elle passe du type herbacé au type arbustif, les restitutions organiques au sol devenant alors plus importantes.

c) FACTEURS D'ORDRE SANITAIRE

Il est bien connu que la répétition d'une même culture au même emplacement, d'une année sur l'autre, est de nature à favoriser le développement des parasites et des maladies propres à cette culture, ainsi que celui de certaines plantes adventices. Cette observation pourrait justifier, au moins partiellement, la règle de l'alternance des cultures, sans toutefois expliquer, sauf cas exceptionnels, la nécessité de la mise en repos du sol pendant une ou plusieurs années.

Au Sénégal, il y a peu de faits d'observation précis venant confirmer ces indications de portée générale, concernant maladies et parasites.

Un exemple typique est celui de la prolifération des nématodes dans le sol à la suite de cultures maraîchères successives. Mais ces cultures n'entrent pas dans le cadre de notre étude. Pour les cultures de mil, il est facile d'évoquer le cas du *Striga* envahissant certains champs après plusieurs années de culture au point d'interdire pendant une période parfois très longue le retour de cette culture sur ces emplacements.

En ce qui concerne le sorgho, on a récemment observé que lorsque cette culture revenait trop fréquemment sur le même terrain (sableux ou sablo-argileux) il y avait concurremment baisse de rendement et développement de nématodes et de *Fusarium*. Toutefois, le lien de causalité entre les deux phénomènes n'a pas été établi et d'autres hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cet effet dépressif.

Dans la généralité des cas, en zone tropicale sèche, il ne semble pas, cependant, que ces arguments d'ordre sanitaire soient suffisants pour justifier, à eux seuls, la règle de l'alternance des cultures et, moins encore, celle de l'intercalation, dans la rotation, de soles de repos.

2) LES SUCCESSIONS CULTURALES

On examinera d'abord les successions culturelles traditionnelles puis les rotations proposées par les agronomes.

a) LES SUCCESSIONS CULTURALES TRADITIONNELLES

Les successions culturelles traditionnelles ont subi, au Sénégal, de profondes modifications depuis la fin du siècle dernier, période qui a vu le début de la commercialisation de l'arachide. De progressifs qu'ils étaient au départ, ces changements ont acquis maintenant une importance telle que toutes les ethnies et toutes les régions du Sénégal en sont affectées et sont entrées, peu ou prou, dans le système d'économie monétaire.

Cependant, toutes les transitions existent, sur le terrain, entre les formes d'agriculture spéculative, faisant une place presque exclusive à l'arachide sans aucune intervention du bétail, et celles qui sont encore très proches des systèmes traditionnels, accordant la prééminence aux cultures vivrières et assurant, par leur troupeau, une fumure régulière à une partie de leurs champs. Outre les dispositions particulières à chaque ethnie, l'ancienneté plus ou moins grande des terroirs et la pression démographique, éminemment variable au Sénégal (de 5 à plus de 80 habitants ruraux au kilomètre carré, suivant les arrondissements) ont puissamment contribué à diversifier les systèmes culturels. Il est donc difficile d'en donner une idée moyenne. On peut cependant proposer un schéma général et retenir quelques idées essentielles, du point de vue qui nous occupe.

La culture itinérante, au sens strict du terme, c'est-à-dire impliquant, à intervalles périodiques, le déplacement à la fois du village et des champs de culture, est assez rare au Sénégal. Par contre, l'agriculture semi-itinérante, caractérisée par la fixité du village et la rotation dans l'espace des cultures et des friches de longue durée est un cas général dans les zones à faible pression démographique.

Le village est très généralement entouré d'une auréole de terrains de culture, régulièrement fumés par le troupeau et les résidus ménagers et consacrés surtout à la culture des céréales à court cycle (mil hâtif, maïs) destinée à la soudure. L'extension de cette zone est fonction de l'importance du troupeau ; elle est donc éminemment variable. A l'extérieur de cette auréole, la succession culturelle la plus habituellement pratiquée est l'alternance céréale-arachide ; en fin de rotation, la fertilité des sols baissant, l'arachide tend à prédominer nettement sur la céréale. Les terrains sont ensuite laissés en friche.

La durée de cette friche est essentiellement fonction de la pression démographique. Si celle-ci est faible, les terrains seront abandonnés pendant plusieurs années et nécessiteront un véritable défrichement lors de la nouvelle mise en culture : on peut alors parler d'agriculture semi-fixée. Si au contraire la pression démographique est forte, la proportion de jachères diminuera jusqu'à moins du tiers ou du quart des terres cultivables.

Les jachères longues disparaîtront pratiquement au bénéfice des jachères de courte durée (un ou deux ans). L'agriculture sera ainsi obligatoirement fixée. C'est ce qu'on observe dans la zone centre du Sénégal (région de Bambey). Dans ces conditions, les superficies en céréales ne pourront continuer à équilibrer les superficies en arachide que si des techniques conservatoires de la fertilité du terrain sont rigoureusement appliquées. C'est ce qui est pratiqué en pays Sérér et qui a été décrit par PORTÈRES (80) et PÉLISSIER (75) : la présence simultanée de peuplements arborés denses d'*Acacia albida* dans les champs de culture et de troupeaux importants a permis de maintenir, jusqu'à une époque récente, la rotation

triennale : jachère fumée-mil-arachide. Dans le cas contraire, le mil cède la place progressivement à l'arachide ; les champs de culture pure de mil se réduisent jusqu'à disparaître parfois, le mil n'étant plus semé qu'à très faible densité en association avec l'arachide ou sur des terrains qui lui sont favorables (sols plus lourds).

Les exemples d'agriculture intensive sans intercalation de période de « repos » du sol ne sont donc pas rares en agriculture traditionnelle : terrains régulièrement fumés autour des villages et consacrés presque exclusivement à la culture ininterrompue de céréales, plaques de sols argileux où le sorgho succède au sorgho, bas-fonds inondés continûment exploités pour la riziculture ; la monoculture de l'arachide ne peut être ajoutée à la liste de ces exemples car, motivée par des soucis financiers exclusifs de toutes préoccupations de conservation de la fertilité du sol, elle entraîne, comme nous le verrons plus loin, une rupture d'équilibre du système plante/sol ; ceci ne semble pas être le cas des exemples précités.

Cependant, ces cas de culture continue ne constituent que des exceptions notables à la règle de l'alternance des cultures avec l'intercalation de « périodes de repos » du sol, de plus ou moins longue durée. Tant que la pression démographique n'est pas très forte, cette règle est généralement respectée au Sénégal, comme d'ailleurs dans la majorité des zones tropicales sèches.

b) LES SUCCESSIONS CULTURALES PROPOSEES PAR LES AGRONOMES

Les études menées par les agronomes dans ce domaine intéressent principalement deux points :

l'influence de la jachère herbacée, intercalée dans la rotation, sur le rendement des cultures suivantes ;

l'alternance des cultures entre elles et le problème de la monoculture.

INFLUENCE DE LA JACHÈRE SUR LA PRODUCTION VÉGÉTALE

A propos de la jachère, on peut noter d'abord une contradiction apparente entre deux ordres de faits. D'une part, l'intercalation dans la rotation culturale de jachères de plus ou moins longue durée est une règle généralement adoptée en milieu traditionnel, comme elle l'était encore en Europe il y a moins d'un siècle. D'autre part, l'analyse des effets de la végétation sur le sol qui a été tentée précédemment ne fait pas ressortir, sur les propriétés des sols, le rôle privilégié de la jachère herbacée par rapport aux autres plantes cultivées, surtout céréalières.

Avant d'examiner les données expérimentales concernant l'influence de la jachère sur les rendements des cultures, il sera bon de rappeler ici les principales conclusions tirées de l'analyse des effets de la jachère sur le sol.

RÉSUMÉ DES EFFETS DE LA JACHÈRE SUR LE SOL

Concernant les propriétés physiques du sol, on peut noter, à l'avantage des jachères, une protection plus efficace en début de saison des pluies, surtout à partir de la deuxième année d'installation ; en saison sèche, lorsque la jachère n'est pas brûlée, la protection est généralement mieux assurée mais, sauf pour les régions et les sols où l'érosion éolienne est à craindre, le bénéfice réel pour le sol de cette protection est difficile à apprécier et semble, de toute façon, peu important. En l'absence de travail du sol, le rôle de l'enracinement sur la structure du sol est faible et comparable, dans ces conditions, à celui des cultures céréalières.

Sur le bilan humique, la jachère herbacée n'a pas non plus d'incidence plus importante que les cultures puisque les restitutions organiques annuelles sont du même ordre et se limitent uniquement aux systèmes racinaires. Le problème devient différent pour les jachères de longue durée lorsque se développe une végétation de graminées vivaces et d'arbustes, car alors les restitutions organiques deviennent plus importantes.

La pratique de la jachère se traduit, sur le plan des propriétés chimiques des sols, par un ralentissement du processus d'appauvrissement et un maintien temporaire de la fertilité. Il y a diminution et, dans certains cas, annulation non seulement des exportations, mais aussi des pertes par lessivage (par rapport à un sol nu ou une culture peu couvrante). On ne peut cependant parler d'une véritable amélioration de cette fertilité puisque, comme pour les plantes cultivées, les racines des jachères herbacées n'exploitent que les horizons superficiels du sol : il s'agit ici d'un cycle fermé et non d'un enrichissement des horizons superficiels aux dépens des horizons profonds, comme c'est le cas dans les jachères forestières.

On peut admettre que le brûlis de la jachère restitue au sol les éléments qui y ont été prélevés, mais sous une forme soluble, plus assimilable pour les cultures suivantes. Par contre, le brûlis entraîne une perte quasi totale de l'azote et du soufre et une perte partielle du phosphore.

On conçoit que ce rôle de la jachère sur les propriétés chimiques des sols puisse revêtir une certaine importance dans les systèmes de culture traditionnels ne faisant pas appel à l'engrais. Par contre, ce rôle devrait s'estomper jusqu'à disparaître, dans les systèmes de culture intensifs avec recours généralisé aux fertilisants minéraux.

Concernant l'état sanitaire des cultures, il semble que ce soit surtout la répétition d'une culture sur le même terrain qui favorise la prolifération des parasites et des pathogènes. L'interruption temporaire de cette culture peut se révéler nécessaire : elle peut être réalisée par l'intercalation d'une jachère, mais tout aussi bien, semble-t-il, par une autre culture.

Au total, il apparaît que si le rôle des jachères de longue durée, comportant des plantes arbustives à enracinement profond, peut être en effet important pour le sol, il n'en va pas de même, dans la zone écologique considérée, pour les jachères herbacées de courte durée (moins de six ans).

On peut penser que l'état de fait actuel impliquant, en milieu traditionnel, le recours à des jachères assez courtes, résulte d'une altération d'un système plus ancien, à jachères longues, l'évolution s'étant faite progressivement sous l'influence de la pression démographique.

De l'observation de l'état actuel, beaucoup d'agronomes ont conclu qu'il représentait un état d'équilibre auquel il était préférable de ne pas toucher. Ils ont donc admis implicitement la nécessité d'inclure des jachères, même courtes, dans la rotation.

Il importe maintenant de confronter ces différentes considérations aux résultats expérimentaux.

DONNÉES EXPÉRIMENTALES CONCERNANT L'INFLUENCE DE LA JACHÈRE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES DE LA ROTATION

Ces données sont essentiellement fournies par une série d'essais de longue durée implantés au Sénégal par l'IRHO à partir de 1952. Les résultats complets figurent dans les rapports établis annuellement par cet organisme. Deux études de synthèse ont été publiées sur ce sujet : la première en 1960 par GILLIER (37), la seconde en 1968 par DELBOSC (27). C'est à ces différentes sources qu'ont été puisées la plupart des informations qui vont suivre.

On examinera, successivement, l'incidence sur les rendements agricoles des facteurs suivants :

- durée de la jachère,
- durée de la période culturale,
- traitements de la jachère.

On tentera, enfin, d'en tirer une conclusion d'ensemble sur le rôle de la jachère dans les systèmes culturaux sans travail du sol.

Durée de la jachère.

Ce facteur a été étudié par l'IRHO dans les essais intitulés « Longueur optimum de jachère » implantés en 1952 dans trois stations du Sénégal : Louga, Tivaouane, Darou. L'essai de Tivaouane a été supprimé en 1965. La station de Louga est située dans le nord du pays, sur sable dunaire et sous une pluviométrie moyenne de 450 mm. Darou se trouve dans le Sine-Saloum, sur des sols dérivés des grès argileux du Continental Terminal et reçoit près de 900 mm de pluie par an. Les situations des deux stations sont donc très différentes.

Il y a deux essais implantés à Darou, l'un sur sol ferrallitique faiblement désaturé ou « sol rouge », l'autre sur sol ferrugineux tropical lessivé à caractères d'hydromorphie ou « sol hydromorphe ».

Le but de ces essais est tout d'abord de déterminer la longueur minimum de jachère compatible avec une bonne reconstitution de la fertilité du sol, ensuite de rechercher le meilleur traitement de la jachère et, enfin, d'étudier l'action des engrais sur les différentes cultures. Trois durées de jachère sont en comparaison : 2, 3 et 6 ans. Les jachères sont suivies d'une succession : arachide-céréale-arachide.

Une première synthèse des résultats a été, rappelons-le, présentée par GILLIER en 1960 (37). Cet auteur note que l'évolution floristique des jachères en fonction de leur durée est très complexe et influe sur la production de matière sèche. Celle-ci n'est pas en effet toujours régulièrement croissante en fonction du temps. Certaines strates se développent une année et disparaissent l'année suivante, pour être remplacées par d'autres, moins productives. On observe ainsi assez régulièrement à Darou des poids de matières sèches plus faibles en troisième année qu'en deuxième année. Ceci est à rapprocher des observations faites à Bambey par MERLIER (64).

Dans les régions sèches, comme à Louga et Tivaouane, la quantité de matière sèche croît régulièrement avec le temps.

Les poids de pailles mesurés sur les jachères avant brûlis et mise en culture, en 1959, rendent bien compte de cette différence d'évolution en fonction du temps à Louga et Darou. Ils sont les suivants :

TABLEAU III-14
EVOLUTION DU POIDS DE PAILLES EN FONCTION DE LA DURÉE DE LA JACHÈRE A LOUGA ET A DAROU
(en kg/ha)

Stations	Durées de jachère		
	Jachère de 2 ans	Jachère de 3 ans	Jachère de 6 ans
Louga	445	2.190	2.650
Darou	3.466	3.020	4.720

Sur le plan de la nutrition de l'arachide, GILLIER note que les relations entre longueur de jachère et teneurs en éléments minéraux des feuilles ne sont pas très nettes pour les éléments N et P. Par contre, dans toutes les situations, l'élément K augmente nettement avec la longueur de jachère. Concernant les rendements de l'arachide, il est observé, pour les premières années de l'expérimentation, une nette influence favorable de la longueur de jachère à Louga et Tivaouane, qu'il y ait ou non apport d'engrais sur la rotation. Cette influence est beaucoup moins sensible à Darou.

Cette expérimentation s'étant poursuivie sans interruption à Louga et Darou jusqu'en 1969, il est maintenant possible d'avoir une vue d'ensemble sur les résultats obtenus. L'essai de Tivaouane, par contre, a été supprimé en 1965. Le rapport 1968 de l'IRHO/Sénégal (48) fournit une analyse d'ensemble des résultats obtenus à Louga pendant la période 1960-1968 et à Darou entre 1962 et 1968. De ce rapport sont extraits les quelques chiffres figurant dans le tableau III-15 et montrant l'influence de la longueur de la jachère sur les rendements de l'arachide et du sorgho. Les rendements du mil à Louga, d'un niveau très faible, ne figurent pas dans le tableau.

TABLEAU III-15
INFLUENCE DE LA DURÉE DE LA JACHÈRE SUR LES RENDEMENTS
DE L'ARACHIDE ET DU SORGHO A LOUGA ET A DAROU
(en kg/ha)

Cultures	Localisation et sol	Période de comparaison	Durée de la jachère		
			2 ans	3 ans	6 ans
Première arachide (gousses)	Louga	1960-1968	837	960	965
	Darou - sol rouge	1962-1968	1.902	1.985	1.935
	Darou - sol hydromorphe	1962-1968	2.090	2.160	2.255
Sorgho (grains)	Darou - sol rouge	1962-1968	640	752	710
	Darou - sol hydromorphe	1962-1968	1.020	1.035	1.215
Deuxième arachide (gousses)	Louga	1962-1968	637	636	850
	Darou - sol rouge	1962-1968	1.560	1.428	1.602
	Darou - sol hydromorphe	1962-1968	1.890	1.860	1.995

Les chiffres du tableau représentent une moyenne de sept à neuf années de résultats. Pour Louga, ils concernent l'ensemble des quatre traitements de la jachère et des deux traitements avec ou sans engrais. A Darou, il s'agit également de la moyenne des traitements de la jachère ; seules les modalités avec brûlis ont été retenues, à l'exclusion des autres modalités comportant enfouissement ou exportation des pailles, soit deux traitements brûlis pour le premier essai (sol rouge) et un pour le second (sol hydromorphe).

Comme on peut le constater, l'influence de la durée de la jachère sur les rendements est très faible, surtout à Darou. Elle n'est jamais statistiquement significative, sauf à Louga sur la deuxième arachide, où la jachère de six ans se montre supérieure aux jachères de deux et trois ans. Si l'on compare les traitements avec et sans engrais, on constate que les différences dues à la durée de jachère sont habituellement plus accusées sur les témoins sans engrais. On note également, pour la deuxième arachide de la rotation, venant après mil ou sorgho, un niveau de rendement plus faible que pour la première, succédant à la jachère.

Les analyses de diagnostic foliaire effectuées sur arachide mettent en évidence à Louga un effet très net de la longueur de jachère sur la teneur en potassium des feuilles ; celle-ci augmente de façon significative en même temps que croît la durée de la jachère. L'apport d'engrais NPS, à l'exclusion de l'élément potasse, fait baisser, de façon significative, la teneur en potasse des feuilles. A Darou (sol rouge), on note une baisse significative des teneurs en P avec la longueur de jachère, baisse corrélative d'une élévation des teneurs en K.

A Patar, près de Bambey, l'IRHO (50) a mis en place en 1962 un essai destiné à étudier les modalités de correction de la carence en potasse de cette zone en combinant les facteurs suivants :

apport de potasse : 4 doses, dont une nulle,
mise en jachère plus ou moins longue : 1, 2, 3 ans,
brûlis ou exportation des pailles.

Les jachères sont suivies d'une seule culture d'arachide. En 1968, une analyse d'ensemble a été faite sur les résultats obtenus entre 1964 et 1968. Les moyennes de rendements de l'arachide en fonction de la durée de la jachère sont les suivantes :

TABLEAU III-16
INFLUENCE DE LA DURÉE ET DU TRAITEMENT DE LA JACHÈRE
SUR LES RENDEMENTS EN GOUSSES DE L'ARACHIDE A PATAR
(en kg/ha)

Durée de la jachère Traitement	Jachère de 1 an	Jachère de 2 ans	Jachère de 3 ans
	Avec brûlis	1.740	1.970
Sans brûlis	1.650	1910	2.070

L'influence de la durée de la jachère est statistiquement significative ; l'effet du brûlis est assez léger et non significatif. Les rendements croissent régulièrement en fonction de l'apport de potasse. En effectuant les comparaisons au niveau le plus élevé de potassium (90 kg/ha de KCl) et en présence de brûlis, de façon à minimiser l'action du facteur potasse, on constate que l'action de la durée de la jachère est encore sensible. Les rendements moyens sur cinq ans sont en effet les suivants :

TABLEAU III-17
INFLUENCE DE LA DURÉE DE LA JACHÈRE SUR LES RENDEMENTS
EN GOUSSES DE L'ARACHIDE A PATAR, AVEC BRÛLIS ET FORTE DOSE DE POTASSE
(en kg/ha)

Durée de la jachère Traitement	Jachère de 1 an	Jachère de 2 ans	Jachère de 3 ans
	Avec brûlis et apport de 90 kg/ha de KCl	2.005	2.165

La durée de jachère n'influe pas de façon significative sur la teneur en potasse des feuilles, alors que l'apport d'engrais potassique a, dans ce domaine, une influence nette.

D'après ces divers résultats, on peut constater que, dans les limites de un à six ans, l'augmentation de la durée de jachère produit, suivant les situations, des effets variables sur la production agricole : ces effets sont sensibles à Louga et surtout à Patar où les sols sont très sableux et pauvres ; pour les sols plus argileux et chimiquement mieux pourvus, comme à Darou, ces effets sont pratiquement négligeables. De toute façon, même dans le cas d'une réponse appréciable comme à Patar, la plus-value de rendement obtenue, de l'ordre de 300 kg/ha à 400 kg/ha sur arachide, n'est pas suffisante pour justifier, économiquement, la perte d'une ou de deux années de culture dans tous les cas où la superficie exploitée par le paysan est limitée, ce qui est la règle dans beaucoup de régions surpeuplées de la zone.

Jusqu'à présent, il a été fait état de rotations avec périodes de jachère de plus ou moins longue durée, durée jamais inférieure cependant à une année. On peut se demander quelle serait l'incidence sur la production agricole si on ramenait cette durée de jachère à zéro, c'est-à-dire si l'on passait au système de culture continue, avec engrais, mais toujours sans travail du sol. Pour cela, il faudrait pouvoir comparer, dans le même essai, les rendements des cultures dans des rotations culturales continues et dans des rotations avec jachères. Or, à notre connaissance, ce genre d'expérimentation n'existe pas en Afrique de l'Ouest francophone.

Il est cependant possible de se faire une opinion sur cette question en examinant l'évolution des rendements durant des périodes culturales plus ou moins longues et en comparant cette évolution à celle d'une succession de rotations culturales avec jachère. Cette comparaison, ne pouvant se faire qu'en faisant intervenir plusieurs essais différents, n'est pas absolument rigoureuse et les conclusions n'en peuvent être tirées qu'avec prudence

Durée de la période culturale.

Dans un essai mis en place à Darou, en 1956, et intitulé « Jachère-engrais vert », l'IRHO étudie l'évolution des rendements d'une culture alternée sorgho-arachide, poursuivie pendant deux, quatre ou huit ans et à laquelle succède ensuite une période de jachère ou d'engrais vert plus ou moins longue.

En 1967, une analyse d'ensemble des résultats a été effectuée (52) fournissant les rendements en fonction du nombre de cultures successives ; les rendements sont calculés sur la période 1963-1967 pour l'arachide, 1962-1967 pour le sorgho. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III-18
INFLUENCE DU NOMBRE DE CULTURES SUCCESSIVES SUR LES RENDEMENTS
DE L'ARACHIDE ET DU SORGHO A DAROU

Arachide (gousses)			Sorgho (grains)		
Année de culture	Sans fumure minérale (kg/ha)	Avec fumure minérale (kg/ha)	Année de culture	Sans fumure minérale (kg/ha)	Avec fumure minérale (kg/ha)
A 2	1.992	2.522	S 1	624	879
A 4	1.785	2.501	S 3	541	899
A 6	1.735	2.367	S 5	429	770
A 8	1.715	2.324	S 7	357	791

Il y a, dans tous les cas, une chute de rendements entraînée par la répétition des cultures, mais cette chute n'est importante que dans le cas des parcelles non fumées. Il faut souligner que les fumures minérales utilisées dans cet essai sont assez faibles puisqu'elles consistent en un apport de 120 kg/ha d'une formule 6-20-10 sur arachide et de 100 kg/ha d'une formule 14-7-7 sur le sorgho. Ces faibles apports minéraux paraissent donc suffire, sur ce type de sol, à maintenir la fertilité initiale pendant au moins huit ans sans que l'intercalation d'une jachère semble indispensable, le cycle cultural le plus long étant le plus économique. Il convient cependant de noter que les rendements du sorgho dans cet essai se situent à un niveau médiocre, même en première année de culture, ce qui restreint la portée des conclusions à tirer de cet essai.

D'autres essais établis par l'IRHO, à Darou, permettent de suivre l'évolution des rendements d'une succession culturale arachide-sorgho sur une période plus longue, allant de dix à quinze ans.

Il s'agit de deux groupes d'essais, l'un établi sur sol ferrallitique faiblement désaturé ou « sol rouge », l'autre sur sol ferrugineux tropical lessivé à caractères d'hydromorphie ou « sol beige ».

Dans le premier groupe figure un essai factoriel $N \times P \times K \times Ca \times Mg$ à deux niveaux de chaque élément : présence ou absence ; l'essai comporte six séries groupées deux à deux, chaque groupe étant décalé de deux ans ; les premières séries ont débuté en 1953. Il y a eu, depuis, une succession ininterrompue arachide-céréale. La céréale a été le mil jusqu'en 1963, le sorgho ensuite.

La période d'étude, pour le point de vue qui nous occupe, est d'une douzaine d'années, compte tenu du fait que quatre séries ont été profondément modifiées en 1964.

Dans cet essai, les doses d'engrais utilisées jusqu'en 1964 ont été les mêmes pour arachide et céréale, à savoir : 10 unités de N, 30 de P_2O_5 , 25 de K_2O , 500 de CaO et 3,5 de MgO. L'application de la fumure se faisait au début une fois tous les trois ans, tantôt sur arachide, tantôt sur céréale suivant les séries, car on étudiait les effets résiduels de première et deuxième année. A partir de 1964, la fumure a été apportée tous les ans ; par ailleurs, sur sorgho, les traitements avec magnésie ont été remplacés par une dose supplémentaire d'azote correspondant à 15 unités.

On notera que, si les doses d'engrais utilisées paraissent couvrir convenablement les besoins de l'arachide, elles sont notoirement insuffisantes pour le sorgho, surtout en ce qui concerne l'azote : la plus forte dose d'azote utilisée est de 20 unités alors que les besoins du sorgho sont environ le triple de ce chiffre. Par ailleurs, pendant les douze premières années de l'expérimentation, ces faibles doses d'engrais ne revenaient qu'une fois tous les trois ans sur le même sol.

L'évolution des rendements en culture continue, dans cet essai, peut être mise en parallèle avec celle qui est observée dans l'essai voisin intitulé « Longueur optimum de jachère sur sol rouge », sur la rotation quinquennale avec deux ans de jachère. Les doses d'engrais utilisées dans ce dernier essai correspondent à l'application de 120 kg/ha d'une formule 6-20-10 sur arachide et 100 kg/ha d'une formule 14-7-7 sur sorgho.

Une publication synthétique de l'IRHO (47) fournit, sous forme de graphique, une indication générale sur l'évolution comparée de ces rendements en fonction du nombre d'années après la mise en culture. De ces données on peut tirer, concernant l'arachide, les ordres de grandeur suivants :

TABLEAU III-19
EVOLUTION COMPARÉE DES RENDEMENTS EN GOUSSES D'ARACHIDE A DAROU
DANS UNE ROTATION CONTINUE ET DANS UNE ROTATION AVEC JACHÈRE
(en kg/ha)

Rotations Nombre d'années après mise en culture	Sans engrais		Avec engrais	
	Rotation continue.	Rotation avec jachère	Rotation continue	Rotation avec jachère
1- 2	2.150	2.150	2.600	2.600
4- 5	1.500	1.900	2.050	2.550
7- 8	1.300	1.650	1.950	2.400
10-11	1.200	1.550	1.950	2.250

Onze ans après la mise en culture, les rendements paraissent à peu près stabilisés en culture continue et continuer à baisser légèrement pour la rotation avec jachère.

Comme on le voit, il y a dans tous les cas, sur ces essais, une baisse sensible des rendements en fonction du temps de mise en culture. Cette baisse est très marquée pour les cultures sans engrais. Avec engrais, la baisse subsiste, mais elle est moins sensible. Dans les deux cas, l'intercalation de jachère dans la rotation limite la chute de rendements. Toutefois, au bout de dix à onze ans de mise en culture, la différence entre les deux rotations n'est pas considérable puisqu'elle est de l'ordre de 300 kg/ha, en présence d'engrais.

Pour la céréale (mil puis sorgho), à partir des mêmes données, on peut dresser le tableau suivant :

TABLEAU III-20
EVOLUTION COMPARÉE DES RENDEMENTS EN CÉRÉALES A DAROU
DANS UNE ROTATION CONTINUE ET DANS UNE ROTATION AVEC JACHÈRE
(en kg/ha)

Rotations Nombre d'années après mise en culture	Sans engrais		Avec engrais	
	Rotation continue	Rotation avec jachère	Rotation continue	Rotation avec jachère
1- 2	730	530	950	850
4- 5	460	440	660	760
7- 8	250	420	480	725
10-11	150	460	390	750

Le niveau initial de fertilité est légèrement plus élevé dans l'essai en rotation continue. La baisse de rendements dans cet essai est ici beaucoup plus marquée que pour l'arachide et les différences relatives entre les deux rotations beaucoup plus accusées puisqu'elles vont, au bout de dix à onze ans de culture, du simple au double ou au triple. L'intercalation de la jachère dans la rotation permet de maintenir les rendements à peu près au niveau initial. Cependant, ces résultats nous paraissent avoir une portée assez limitée. On notera en effet que, dans le meilleur cas, celui de la rotation quinquennale avec engrais, les rendements se maintiennent à un niveau moyen de 750 kg/ha. Or, on obtient couramment en bonne culture, dans ces conditions de sols et de climat, plus de 2 t/ha de grains de sorgho.

Le bas niveau des rendements dans l'essai doit pouvoir s'expliquer essentiellement, ainsi qu'il a été vu plus haut, par la nette insuffisance d'apport d'engrais minéraux, surtout azotés. On peut penser que la rotation continue, en augmentant les exportations, accroît encore la gravité des carences minérales : il n'est donc pas étonnant, dans ces conditions, d'observer une baisse rapide des rendements. On ne saurait cependant en tirer des conclusions en ce qui concerne le rôle de la jachère sur la production du sorgho, en dehors de son incidence évidente sur le bilan minéral. La question serait à reprendre avec une fertilisation minérale correcte.

A ce propos, il est curieux de constater après 1964, date de modification du protocole, l'absence de réponse du sorgho aux engrais azotés, aussi bien sur les séries continues (193 à 256) que sur les séries avec jachère nouvellement introduites (129 à 192) : on observe seulement des réponses significatives aux engrais phospho-potassiques. On peut penser que d'autres facteurs limitants viennent alors entraver la

nutrition azotée de la plante ; il est difficile de dire s'il s'agit de facteurs physiques (dégradation du sol à la suite de mauvaises cultures) ou chimiques. On note, par contre, sur les séries comportant un labour d'enfouissement de fumier avant semis du sorgho (séries 1 à 64) que non seulement les rendements augmentent jusqu'à égaler ou dépasser le niveau initial, mais encore qu'il y a chaque année (sauf en 1965) des réponses significatives à l'azote, ce qui permet de conclure que ce labour d'enfouissement de fumier a fait disparaître les facteurs limitants pour la nutrition azotée.

Un autre essai en culture continue a été implanté sur sol rouge en 1967 et a été poursuivi jusqu'en 1966. Il s'agit de l'essai « Proportions variables de phosphal » étudiant l'effet, sur arachide et sur sorgho, de mélanges phosphatés annuels à proportions variables de phosphal et de bicalcique. Cet essai ne comportant qu'une seule série, il est difficile d'en tirer des conclusions sûres en ce qui concerne l'évolution des rendements en fonction du temps, vu l'importance des fluctuations annuelles. On note cependant que, pour l'arachide, la baisse est très peu accusée ; on passe d'un niveau de 1.800 kg/ha au départ à 1.600 kg/ha au bout de dix ans ; avec engrais, les ordres de grandeur sont respectivement de 2.500 kg/ha à 2.400 kg/ha. Pour le sorgho, les niveaux de rendements sont très faibles, même avec engrais (8 unités d'azote) ; sans engrais, en partant de 350 kg/ha, on aboutit à 150 kg/ha ; avec engrais les chiffres correspondants sont de 650 kg/ha et 300 kg/ha. Là encore, ces résultats pour les traitements avec engrais paraissent sans signification réelle étant donné la fertilisation insuffisante.

Le deuxième groupe d'essais sur sol beige comprend :

- l'essai « Phosphal à haute dose », en culture continue : arachide-sorgho, de 1953 à 1968, soit pendant seize ans ;
- l'essai « Longueur optimum de jachère I bis » comportant une rotation quinquennale avec deux ans de jachère, implanté en 1953, modifié en 1957 ;
- l'essai « Sorgho-engrais vert » comportant également une rotation quadriennale, implanté en 1954, modifié en 1964.

Les apports d'engrais sur ces essais sont faibles et comparables à ceux des essais précédents.

La comparaison de l'évolution des rendements est assez délicate, car l'essai en culture continue ne comporte qu'une seule série. De l'examen des résultats (46), il ressort cependant qu'il n'y a pratiquement aucune baisse de rendements pour l'arachide au bout de dix ans de culture continue : les rendements se maintiennent autour de 1.800 kg/ha sans engrais et 2.000 kg/ha avec engrais. Dans les rotations avec jachère, les rendements sont plus élevés mais la baisse est sensible.

Pour le sorgho, les rendements de départ sont plus élevés que sur sol rouge : environ 1.000 kg/ha sans engrais et 1.500 kg/ha avec engrais. En culture continue, on se trouve au bout de dix ans au niveau de 200 kg/ha sans engrais et 400 kg/ha avec engrais.

Dans les rotations avec jachère, les chiffres correspondants sont de 700 kg/ha à 1.000 kg/ha. L'évolution des rendements, pour le sorgho, est donc très semblable ici à ce qu'elle était sur sol rouge ; les mêmes observations peuvent être faites concernant l'insuffisance des apports d'engrais sur sorgho et le rôle de la jachère dans le bilan minéral du sol.

En résumé, les expérimentations menées à Darou, dans des conditions pédoclimatiques assez favorables pour la zone, font ressortir que :

- la culture continue sans engrais et sans travail du sol amène des baisses de rendements rapides et importantes : les rendements se stabilisent à un niveau médiocre pour l'arachide ; pour la céréale, ils deviennent rapidement dérisoires ; l'intercalation de jachère dans la rotation ralentit ce processus sans toutefois le renverser ;

- en présence d'engrais, les rotations avec jachères courtes permettent de maintenir les rendements de l'arachide au niveau initial pendant une longue période ; en rotation biennale continue, une légère baisse peut se produire au bout de quelques années mais les rendements se maintiennent à un niveau correct, proche de celui de la rotation quinquennale : l'avantage économique reste dans tous les cas à la rotation intensive.

L'insuffisance des apports d'engrais minéraux ne permet pas, à partir des résultats expérimentaux mentionnés plus haut, de tirer de conclusions sur l'évolution des rendements en fonction du temps pour le sorgho et sur le rôle spécifique de la jachère dans cette évolution (en dehors de son incidence sur le bilan minéral).

Traitements de la jachère.

Outre le facteur « durée », d'autres éléments peuvent modifier le rôle joué par la jachère dans le système agricole. Sans faire intervenir l'enfouissement, puisqu'il implique un travail du sol important, divers traitements concernant l'époque et la périodicité des brûlis, le fauchage, le « mulching » et le compostage peuvent être appliqués à la jachère et leurs effets testés sur les cultures suivantes. C'est ce qui a été réalisé par l'IRHO dans les essais « Longueur optimum de jachère » implantés à Louga, Tivaouane et Darou en 1952 et 1953.

Sur ces essais sont appliqués, sur les jachères de 2, 3 ou 6 ans, quatre traitements différents :

- A : jachère laissée telle quelle et brûlée peu avant la mise en culture ;
- B : jachère fauchée chaque année à l'époque de la floraison des graminées : produits de la fauche laissés sur place (mulch) ;
- C : jachère compostée à la mise en culture ; épandage du compost sur la céréale de deuxième année ;
- D : jachère brûlée chaque année en fin de saison sèche.

Le traitement C a été modifié à Darou, en 1964, et remplacé par un enfouissement de la jachère. Ne seront donc pris en considération, pour ce traitement, que les résultats antérieurs à 1964.

Ceux-ci ont fait l'objet, en 1960, d'une première synthèse par GILLIER (37).

Cet auteur fournit quelques indications sur l'évolution des jachères sous l'influence des traitements. Ceux-ci influencent nettement, dans toutes les stations, la composition floristique ainsi que le degré de couverture du sol et la production de pailles. Ces différences sont d'autant plus marquées que les conditions pédoclimatiques sont plus sèches. C'est ainsi que des mesures de poids de paille sur les parcelles entrant en culture en 1959 ont donné à Louga et Darou les résultats suivants :

TABLEAU III-21
INFLUENCE DES TRAITEMENTS DE LA JACHÈRE SUR LES POIDS DE PAILLE A LOUGA ET A DAROU
(en kg/ha)

Type de jachère	Louga	Darou
A	3.445	4.430
B	340	3.040

D'une manière générale, la jachère laissée telle quelle et brûlée l'année de la mise en culture (traitement A) fournit la meilleure couverture du sol et le poids de paille le plus important.

Les traitements de jachère ne paraissent pas influencer beaucoup sur la nutrition minérale de l'arachide, d'après ce qu'en révèlent les analyses de diagnostic foliaire. La meilleure nutrition s'observe après jachère laissée telle quelle. On note, à Darou, une forte chute des teneurs en potasse après compostage (traitement C). Sur les rendements en arachide, l'influence des traitements se manifeste de la façon suivante :

TABLEAU III-22
RENDEMENTS EN GOUSSES DE L'ARACHIDE VENANT APRÈS DIFFÉRENTS TYPES DE JACHÈRES
(période 1954-1959)

Type de jachère	Darou (sol rouge)		Tivaouane		Louga	
	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
A	2.055	100	968	100	723	100
B	1.945	94,5	886	91,5	619	85,5
C	1.953	95	911	94	605	83,5
D	1.997	97	930	96	585	81

La jachère laissée telle quelle et brûlée la dernière année avant la mise en culture (traitement A) s'avère dans tous les cas le meilleur traitement. Cette supériorité s'affirme surtout à Louga, car dans les deux autres stations les différences de rendement sont très peu accusées.

L'expérimentation s'est poursuivie jusqu'en 1969 à Louga et Darou, l'essai de Tivaouane ayant été supprimé en 1965. Une analyse d'ensemble des essais a été présentée dans le rapport 1968 de l'IRHO/Sénégal (48). Elle concerne la période 1960-1968 à Louga et 1962-1968 à Darou. L'influence du traitement de la jachère sur les rendements est la suivante :

TABLEAU III-23
INFLUENCE DU TRAITEMENT DE LA JACHÈRE SUR LES RENDEMENTS
EN GOUSSES DE L'ARACHIDE ET EN GRAIN DU SORGHO
(en kg/ha)

Cultures	Localisation	Période	Traitement sans engrais				Traitement avec engrais			
			A	B	C	D	A	B	C	D
Première Arachide	Louga	1960-1968	845	805	810	815	1.035	1.025	1.010	1.020
		1962-1968	1.475	1.480	—	1.520	2.355	2.350	—	2.405
Sorgho	Darou	1962-1968	515	430	—	470	925	870	—	865
Deuxième Arachide	Louga	1960-1968	630	595	615	615	850	795	745	815
		1962-1968	1.245	1.245	—	1.235	1.800	1.855	—	1.845

Dans ce tableau ne figurent pas, pour Darou, les rendements correspondant au traitement « C », car celui-ci a été modifié en 1964 : le compostage a été remplacé par l'enfouissement de la jachère. Les rendements du mil à Louga, d'un niveau très faible, n'ont pas été compris dans l'analyse d'ensemble.

Il se confirme que, pour Louga, le meilleur traitement reste la jachère laissée telle quelle et brûlée l'année de la mise en culture, mais les différences entre les traitements sont faibles et très atténuées par rapport à la première période d'expérimentation (au maximum 4 % en valeur relative, contre 19 % précédemment). A Darou, ce traitement est également en tête pour le sorgho, mais là encore les différences sont peu accusées. A Louga, pas plus qu'à Darou, elles ne sont significatives. Il ne paraît pas y avoir d'interactions entre nature du traitement et durée de la jachère (non mentionné dans l'analyse d'ensemble).

Concernant la nutrition minérale de l'arachide, on n'a observé aucune influence particulière des traitements.

Il semble donc que la façon dont est traitée la jachère entraîne des modifications sensibles dans la composition floristique et le couvert végétal mais peu de répercussions, dans l'ensemble, sur les rendements des cultures suivantes.

CONCLUSION SUR LE RÔLE DE LA JACHÈRE DANS LES SYSTÈMES AGRICOLES SANS TRAVAIL DU SOL

Les résultats agronomiques qui viennent d'être mentionnés confirment, d'une manière générale, les prévisions qui pouvaient être faites après l'examen des actions de la jachère herbacée de courte durée sur le sol ; cet examen avait, en effet, montré que ces actions étaient assez faibles.

La jachère herbacée présente un certain intérêt pour les zones les plus déshéritées du point de vue sol ou climat ; elle permet de maintenir, dans ces conditions, un niveau de production moyen ; son action ne semble pas s'expliquer, dans ce cas, par sa seule incidence sur le bilan minéral : ceci ressort, notamment, des résultats de l'essai de Patar. Il s'y ajoute globalement une action sur les propriétés physiques du sol résultant soit de la protection par le couvert végétal, soit de l'amélioration de la structure par les racines, ou des deux à la fois ; seule une étude détaillée des terrains d'essai permettrait de déceler l'importance respective de ces différents facteurs. Quoi qu'il en soit, leur résultante d'action sur les rendements des cultures suivantes est assez nette. Dans la mesure où la pression démographique le permet, elle justifie le maintien, en agriculture traditionnelle, dans ces zones, de jachères courtes intercalées dans la rotation.

En régions plus favorisées du point de vue sol et climat, le rôle de ces jachères herbacées incluses dans la rotation ne paraît, par contre, pas démontré. Des expérimentations menées à Darou, il ressort que leur influence sur les rendements de l'arachide, en présence d'une fertilisation minérale légère, est peu sensible. Concernant les rendements en céréales, il est impossible de conclure étant donné la nette insuffisance des apports de fertilisants minéraux dans les expérimentations. Les cultures de céréales sont médiocres et couvrent mal le sol. Il est certain que l'interruption de la rotation par la jachère limite cette dégradation et il est possible que celle-ci améliore, dans une certaine mesure, les propriétés physiques du sol et, par voie de conséquence, les rendements des céréales. Ceci reste cependant à prouver.

De toute manière, les rendements obtenus pour les céréales, dans ces systèmes, se situant à un niveau très médiocre, et les soles de jachères représentant des soles peu productives dont le maintien deviendra de plus en plus difficile avec l'accroissement de la pression démographique, il conviendra de

voir si des systèmes cultureux plus intensifs, faisant appel au travail profond du sol et à une fertilisation minérale et organique accrue, ne peuvent être mis au point et remplacer avantageusement les anciens systèmes avec jachères.

ALTERNANCE DES CULTURES ET MONOCULTURE

En agriculture traditionnelle, au Sénégal, les plantes cultivées en plein champ sur sols exondés sont peu nombreuses et se limitent pratiquement à l'arachide comme culture de rapport, et aux céréales traditionnelles, mil et sorghos, comme cultures vivrières. Le niébé est également assez répandu dans le nord du pays, mais rarement cultivé en culture pure : il l'est surtout en association avec le mil.

Un effort est fait depuis quelques années pour diversifier les cultures : le développement des cultures de cotonnier, de riz pluvial et de maïs dans le sud du pays est fortement encouragé. L'expérience prouve que pour avoir de bonnes chances de réussite, ces nouvelles cultures doivent être implantées sur sol ayant préalablement subi des façons profondes de préparation. Pour cette raison, les problèmes concernant leur succession dans le temps sur le même champ, étudiés dans les essais « Précédents cultureux », seront examinés plus loin. Seules seront prises en considération ici les combinaisons possibles, dans le temps, entre arachide, niébé et céréales dans les systèmes traditionnels, c'est-à-dire en l'absence de travail profond du sol. A notre connaissance, cette question n'a été étudiée que dans un seul essai, réalisé par NABOS (64), au Niger. Encore cet essai ne comporte-t-il qu'une seule année de résultats, ce qui limite singulièrement sa portée. Les résultats en seront cependant mentionnés, à titre indicatif.

L'essai était implanté en 1963 à la station de Tarna, sur sol dunaire, sur de grandes parcelles où ont été cultivés : jachère, arachide, mil, niébé et sorgho. En 1964, les grandes parcelles ont été subdivisées en parcelles plus petites de : sorgho, arachide, mil, niébé. Il n'y a pas eu d'utilisation d'engrais minéraux. Les résultats de rendements ont été les suivants :

TABLEAU III-24
INFLUENCE DU PRÉCÉDENT CULTURAL SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES AU NIGER
(en kg/ha)

Culture	Arachide	Mil	Niébé * (vigueur végétative)	Sorgho
Jachère	1.224	626	Moyenne	375
Arachide	909	1.051	Faible	344
Mil	1.326	754	Moyenne	313
Niébé	1.272	872	Médiocre	173
Sorgho	1.167	627	Médiocre	84
ppds 0,05	NS	NS	—	174

* Les plants de niébé n'ont pas fructifié par suite d'attaque de thrips; seule, la vigueur végétative a pu être appréciée.

En l'absence d'engrais, les rendements se situent à un niveau très médiocre, surtout pour le sorgho. On peut noter cependant :

l'effet dépressif de la succession d'une même culture, surtout marqué pour le sorgho ;
l'intérêt de placer, après jachère, une légumineuse, arachide ou niébé, le mil ou le sorgho venant ensuite.

Ces impressions paraissent assez largement confirmées par l'observation des pratiques agricoles courantes.

En fait, au Sénégal, le problème des successions se pose d'une manière encore plus simplifiée, compte tenu d'une part, que le niébé est rarement cultivé en culture pure et que son aire d'extension est assez réduite, et, d'autre part, que le mil et le sorgho ne sont pas habituellement cultivés sur les mêmes terrains, les terres les plus sableuses étant réservées au mil et les plus argileuses au sorgho. Il ne reste donc plus que deux plantes pouvant se succéder dans le temps sur le même terrain : l'arachide et une céréale. Il est évident que, dans ces conditions, les combinaisons possibles sont fort peu nombreuses.

Celle qui paraît s'imposer en premier est l'alternance arachide-céréale. Elle représente, en effet, un certain équilibre entre cultures vivrières et cultures de rapport, et, par ailleurs, évite les successions linéaires avec une seule plante, successions qui aboutissent, en général, à des résultats agronomiquement moins intéressants.

Cette succession faisant alterner arachide et céréale a été adoptée dans la plupart des expérimentations agronomiques, quand d'autres plantes n'entraient pas en jeu. Suivant le climat et le sol, la céréale choisie pour la succession sera le mil ou le sorgho, avec distinctions possibles entre variétés hâtives ou tardives. En milieu traditionnel, il semble également que cette règle de l'alternance ait été assez bien respectée pendant un certain temps dans beaucoup de régions (75). Mais progressivement, sous l'influence des contraintes de l'économie monétaire, elle a subi des distorsions de plus en plus importantes aboutissant à l'état de fait actuel, assez anarchique, caractérisé par une très nette prédominance de l'arachide. Des enquêtes récentes (78) effectuées dans un terroir représentatif du Sine-Saloum font état d'une proportion de un hectare de céréale pour trois hectares d'arachide. Sur beaucoup de terrains, on observe donc une succession linéaire continue arachide sur arachide.

Cette succession a été étudiée par POULAIN (83) à Bambey, en comparaison avec une rotation triennale : jachère-arachide-mil, modifiée, par la suite, en quadriennale.

On trouvera dans le tableau III-25 l'évolution comparée des rendements de l'arachide dans ces deux rotations, en présence ou en absence d'engrais minéral.

Les rendements de l'arachide continue sont ceux de la bande 5 de l'essai « Epuisement et rotation » (83) ; jusqu'en 1960, ils ont concerné la superficie totale de la bande (3.800 m²) ; à partir de 1961, ils ont été calculés sur les parcelles de l'essai « 2⁵ S×P×K×Labour » (82).

L'arachide en rotation a été, jusqu'en 1962, celle d'une rotation triennale jachère-arachide-mil (bandes 2, 4 et 6 de l'essai « Epuisement et rotation »). A partir de 1964, la rotation a été modifiée en quadriennale : engrais vert-arachide-mil-arachide ; on a pris alors les rendements de la deuxième arachide. Les rendements établis sur grandes superficies jusqu'en 1965 (3.800 m²) ont été calculés, à partir de 1965, sur les parcelles de l'essai « 2⁴ N×P×K×Mode de fumure » (84).

Dans tous les cas, la formule d'engrais utilisée sur arachide a été une formule 6-20-10 à la dose de 150 kg/ha.

L'examen du tableau III-25 montre que dès la troisième année de culture apparaît une différence de 300 kg à 400 kg en faveur de l'arachide en rotation. Cette différence ne paraît pas s'accroître par la suite ; sans apport d'engrais, les rendements de l'arachide continue semblent se stabiliser autour de 700 kg/ha et ceux de l'arachide en rotation autour de 1.000 kg/ha. L'apport d'engrais minéral provoque une augmentation substantielle de rendements dans les deux cas, mais la différence entre les deux arachides subsiste cependant (sauf en 1969).

A Séfa, les cultures répétées d'arachide sur le même sol, pratiquées vers les années 1950 avec travail du sol très superficiel aux disques et sans engrais, se sont révélées catastrophiques tant pour les rendements que pour le sol. On assistait, en particulier, à une dégradation de la structure en surface se traduisant par une baisse importante de la perméabilité et la stagnation de l'eau en flaques dans les champs (12).

De ces quelques indications, il ressort qu'il est nettement préférable de cultiver l'arachide en rotation plutôt qu'en succession linéaire continue. Dans les régions à faible pluviométrie, cependant, et sur sol très sableux, comme c'est le cas à Bambey, l'apport de faibles doses d'engrais à dominance potassique permet de maintenir les rendements de l'arachide continue à un niveau honorable, alors que, dans les mêmes conditions, les productions céréalières sont très faibles.

TABLEAU III-25
ÉVOLUTION COMPARÉE DES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE EN CULTURE CONTINUE
ET EN ROTATION À BAMBEY (GOUSSES)
(en kg/ha)

Années		1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
Engrais	Culture														
Sans	Continue	731	783	757	1.048	824	1.089	950	756	966	738	216	705	706	705
	Rotation	771	931	1.037	1.335	1.022	—	1.482	906	1.019	1.074	585	1.048	1.060	802
Avec	Continue	—	—	—	—	—	1.318	1.528	972	1.055	914	307	836	1.190	1.647
	Rotation	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	526	1.245	1.646	1.639

On conçoit alors qu'il soit tentant et économiquement intéressant pour le paysan de recourir à cette formule. On verra, par ailleurs, que le travail profond du sol permet de franchir un nouvel échelon et d'atteindre, en combinaison avec l'engrais minéral, un niveau de rendement comparable à celui de l'arachide en rotation.

Si, dans certaines régions, la succession linéaire sans travail du sol est possible, bien que non recommandée pour l'arachide, il ne paraît pas en aller de même pour les céréales : mils et sorghos, si l'on se fie, du moins, à l'observation des pratiques agricoles traditionnelles. Il n'existe malheureusement pas, en effet, à notre connaissance d'expérimentation de longue durée, traitant de cette question. En milieu paysan traditionnel, les cultures répétées de mil ou de sorgho en terrains sableux ou sablo-argileux aboutissent le plus souvent à une chute rapide des rendements. Cette évolution semble pouvoir s'expliquer, dans beaucoup de cas, par une fumure minérale insuffisante. Les mils à court cycle, constituant la céréale de « soudure » de la zone sahélo-soudanienne, sont en effet cultivés, année après année, sur les mêmes terrains proches des villages et régulièrement enrichis par la fumure organique. Cette monoculture est, par contre, impossible sur les champs extérieurs au village recevant une fumure minérale nulle ou insuffisante. Pour le mil, une autre cause de chute de rendements est l'envahissement progressif des champs de culture par le *Striga*. Quant au sorgho, si sa monoculture est possible, pendant une longue période, sur les vertisols ou sols apparentés, argileux et bien pourvus chimiquement, elle ne semble pas l'être en terrains plus sableux et plus pauvres. Dès la seconde année de culture se produit en effet une baisse sensible, ainsi qu'on a pu le noter dans une expérimentation mentionnée plus haut. Ce phénomène semble assez général et s'observe également en présence de fumure minérale forte et après façon profonde de préparation du sol. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour tenter de l'expliquer : facteurs limitants chimiques, sécrétions racinaires toxiques, développement de parasites (*Fusarium* et nématodes, en particulier). Le problème est à l'étude et non résolu pour l'instant.

De tout ce qui précède, il ressort que l'alternance arachide-céréale paraît être, à tous les points de vue, la meilleure combinaison possible et que, sauf cas particulier, les successions linéaires d'une seule plante doivent être proscrites, dans toute la mesure du possible.

3) LES ASSOCIATIONS DE PLANTES

Après avoir passé en revue les combinaisons possibles des différentes plantes dans le temps, il importe maintenant d'étudier leurs combinaisons dans l'espace, sur le même champ : c'est le problème des associations.

On envisagera deux sortes d'associations :

- l'association entre arbres et cultures,
- l'association entre cultures.

a) L'ASSOCIATION ARBRES/CULTURE

Les champs de culture, dans la zone étudiée, sont rarement entièrement déboisés, mais le plus souvent piquetés d'arbres, conservés par les paysans en raison de l'intérêt qu'ils présentent pour eux, soit par leurs bois, soit par leurs fruits. Le paysage présente un aspect plus ou moins bocagé. Lorsque leur densité de peuplement est suffisante, ces arbres, en augmentant la « rugosité » de l'air, diminuent la vitesse du vent et l'ETP et créent ainsi un microclimat favorable aux cultures. Cette influence a été mesurée au Sénégal par SCHOCH (88) et DANCETTE (25).

Par ailleurs, les racines des arbres ayant une grande extension verticale et latérale explorent un volume de terre important ; les éléments minéraux prélevés sur une superficie importante se trouvent ensuite concentrés, par le jeu des restitutions organiques, dans l'horizon superficiel de la zone située au voisinage immédiat de l'arbre. Il y a donc enrichissement progressif de cette zone aux dépens des horizons superficiels, mais aussi des horizons profonds, de la zone environnante. Dans le cas général, les arbres sont couverts de feuilles en hivernage et toute culture impossible à leur voisinage en raison de l'ombrage ainsi créé. Les cultures ne peuvent bénéficier de la fertilité du sol au voisinage de l'arbre que lorsque celui-ci est abattu. C'est ainsi que les champs de culture récemment déboisés ou défrichés après jachère arbustive présentent souvent un aspect assez homogène, les cultures étant nettement plus belles à l'emplacement des anciens arbres ou arbustes ; ceci peut s'observer, en particulier, au Sénégal, dans la région de Thiéneba où les sols sont particulièrement sableux et pauvres : les emplacements des anciens buissons de *Guiera senegalensis* ou *Piliostigma reticulatum* se repèrent facilement par l'aspect plus luxuriant de la végétation du mil ou de l'arachide, contrastant avec la médiocrité environnante.

Parmi les essences forestières présentes dans les champs de culture de la zone étudiée, l'une d'entre elles présente, au point de vue agronomique, un intérêt tout particulier : il s'agit de *Acacia albida*. Cet intérêt agronomique a été, de longue date, reconnu par les paysans ; mais, suivant les ethnies et les traditions, il est plus ou moins ressenti par eux et la place qu'ils accordent à cet arbre dans leur système agraire peut être très importante ou, au contraire, tout à fait secondaire. Les « terroirs parcs » à *Acacia albida* constituent au Sénégal l'originalité du pays Sérér, mais ils se retrouvent en d'autres zones d'Afrique de l'Ouest et, notamment, dans le Seno, au Mali.

L'*Acacia albida*, légumineuse arborescente, présente la particularité d'avoir, en Afrique de l'Ouest, un cycle phénologique inverse de celui des autres essences forestières : la période végétative active se situe en pleine saison sèche (novembre à juin), alors qu'en saison des pluies l'arbre est entièrement défeuillé et entre en période de vie ralentie. Cette particularité entraîne, sur le plan agronomique, deux conséquences importantes :

en saison des pluies, l'arbre ne gêne pas le développement des cultures par son ombrage ;
l'arbre prélève la totalité de ses éléments nutritifs en profondeur.

Concernant ce deuxième point, on peut noter en effet que pendant la saison sèche, période où l'arbre est en pleine végétation, les horizons superficiels sont complètement desséchés. L'arbre est donc obligé d'aller chercher l'humidité et les éléments minéraux nécessaires à sa nutrition en profondeur et souvent à une très grande profondeur. Les quelques observations du système racinaire d'*Acacia albida* qui ont été faites montrent d'ailleurs, généralement, l'absence de racines latérales à moins d'un mètre ou deux de la surface ; par contre, les racines d'*Acacia albida* peuvent descendre jusqu'à la nappe phréatique et atteindre une profondeur de 15 m à 20 m (observation faite à Bamby). A la différence des autres essences forestières qui, par leurs racines latérales, prélèvent une bonne partie des éléments minéraux nécessaires à leur substance dans les horizons superficiels ou peu profonds, l'*Acacia albida* assure sa nutrition exclusivement à partir des horizons profonds du sol, normalement inaccessibles aux racines d'une végétation herbacée. Par le jeu des chutes de débris organiques (feuilles, fleurs, fruits, brindilles) se produisant chaque année en fin de saison sèche et de leur décomposition intervenant en début de saison des pluies, il y a enrichissement progressif des horizons superficiels du sol aux dépens des horizons profonds. Les éléments minéraux faisant annuellement retour au sol représentent donc ici, pour la couche arable, un gain net ; dans le cas d'une jachère herbacée, il s'agit, au contraire, d'une simple restitution et dans celui des autres essences forestières le gain n'est que partiel, une fraction des éléments provenant de la couche superficielle.

JUNG (57) a mesuré les chutes de débris organiques se produisant annuellement sous un *Acacia* moyen dont la frondaison couvre une superficie de 231 m² (moyenne de six répétitions) et a procédé à l'analyse de ces débris organiques.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III-25 bis
QUANTITÉ D'ÉLÉMENTS FAISANT ANNUELLEMENT RETOUR AU SOL SOUS *Acacia albida*

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Par arbre (kg)	Feuilles	97,3	2,06	0,06	0,47	3,21	0,95
	Bois + écorce	45,5	0,58	0,02	0,14	3,26	0,39
	Fruits	124,7	1,66	0,12	1,48	0,73	0,25
	Total	267,5	4,30	0,20	2,09	7,20	1,59
Par hectare (kg)	Maximum	11.583	186,5	8,9	91,3	311,0	69,5
	Moyenne	5.350	69,4	3,8	38,8	111,6	31,3
	Minimum	1.428	26,4	0,8	6,1	64,7	13,4

Pour l'estimation du bilan à l'hectare, trois hypothèses ont été envisagées :

hypothèse maximum : peuplement dense d'*Acacia albida* avec couvert continu du feuillage (44 arbres/ha pour l'exemple étudié) ; retour au sol de tous les produits organiques, y compris les gousses ;

hypothèse moyenne : peuplement de 20 arbres/ha, développant un couvert de 4.600 m² ; ingestion des gousses par le bétail avec restitution de 50 % de l'azote et 90 % des éléments minéraux ;

hypothèse minimum : peuplement de 10 arbres/ha, développant un couvert de 2.300 m² ; exportation totale des gousses.

Les apports minéraux et organiques sont donc élevés ; on note, en particulier, l'importance des fournitures d'azote, importance qui s'explique par les teneurs élevées en cet élément non seulement dans les feuilles (2,1 %), mais aussi dans les fruits et le bois (1,3 %). Une partie de cet azote pourrait provenir de la fixation symbiotique, JUNG ayant montré la réalité de cette fixation sur de jeunes plantules d'*Acacia*.

Il n'est pas étonnant que ces apports annuels se traduisent par un enrichissement notable du sol au voisinage de l'arbre. DUGAIN (30) au Niger, CHARREAU et VIDAL (20), JUNG (56, 57), DANCETTE et POULAIN (25) au Sénégal ont constaté sur sol sableux une amélioration globale de la fertilité sous le couvert des *Acacia albida*. L'amélioration porte sur les constituants organiques (carbone, azote, humus) et minéraux (Ca, Mg, K₂O, P₂O₅) ; les taux d'augmentation pour les éléments vont de 20 % à plus de 100 % ; les processus biologiques dans le sol sont également très activés. Au Soudan, RADWANSKI et WICKENS (85) ne constatent, sur sols plus argileux (15 % à 20 % d'argile en surface), qu'une augmentation du taux d'humidité, du phosphore et des constituants organiques, mais cette dernière est alors considérable (taux d'azote total multiplié par six).

Les analyses foliaires effectuées par un certain nombre d'auteurs (20, 25, 51) sur les plantes poussant au voisinage de l'arbre montrent que la nutrition minérale, et particulièrement azotée, de ces plantes est très sensiblement améliorée par rapport à celle des plantes poussant sur sol-témoin. Ceci pourrait suffire, dans beaucoup de cas, à expliquer les augmentations de rendements observées, notamment sur céréales.

Ces augmentations de rendements ont été mesurées, au Sénégal, pour les cultures de mil et d'arachide, en présence ou absence d'engrais minéral ; les résultats ont été rassemblés dans le tableau suivant :

TABLEAU III-26
INFLUENCE DE L'*Acacia albida*
SUR LES RENDEMENTS EN MIL ET ARACHIDE AU SÉNÉGAL

Culture	Localisation - Année Source	Eléments fertilisants (kg/ha)				Grains ou Gousses				Pailles				
		P ₂ O ₅	K ₂ O	S	N	Témoin (kg/ha)	Sous acacia		Diff. signif. à P.	Témoin (kg/ha)	Sous acacia		Diff. signif. à P.	
							(kg/ha)	Indice			(kg/ha)	Indice		
Mil	Bambey, 1959 CHARREAU ET VIDAL (20)	0	0	0	0	660	1.668	252	0.01	—	—	—	—	
	Silane, 1967 DANCETTE ET POULAIN (25)	0	0	0	0	457	934	204	0.001	5.480	10.940	200	0.001	
		80	60	15	60	1.340	1.388	103	N.S.	15.870	18.140	114	0.1	
Arachide	Silane, 1966 DANCETTE ET POULAIN (25)	80	60	15	120	1.541	—	—	—	19.740	—	—	—	
		0	0	0	0	810	1.108	137	0.01	860	1.266	147	0.001	
		80	60	30	0	954	1.136	119	0.1	1.091	1.386	127	0.01	
	Patar n° 1, 1966 IRHO (51)	80	60	30	10	1.062	—	—	—	1.134	—	—	—	
		0	0	0	0	1.373	1.300	95	—	1.155	1.221	106	—	
		16	48	7	0	1.490	1.417	95	—	1.221	2.276	186	—	
		Patar n° 2, 1966 IRHO (51)	0	0	0	0	1.131	1.537	135	—	874	1.080	124	—
			32	96	14	0	1.355	1.649	122	—	807	964	119	—
		Marnane n° 1, 1966 IRHO (51)	0	0	0	0	1.067	1.532	144	—	924	1.283	139	—
			24	12	10	0	1.181	1.548	131	—	1.065	1.402	132	—
Marnane n° 2, 1966 IRHO (51)	0	0	0	0	1.592	1.541	97	—	1.205	1.061	88	—		
	48	24	19	0	1.354	1.482	109	—	1.232	1.205	98	—		

Toutes les mesures ont été effectuées sur parcelles d'essai, sauf à Bambey en 1959 où elles ont été faites sur poquets isolés. Les essais de Silane comportaient des parcelles de dimensions normalisées avec douze répétitions ; à Patar et Marnane, les parcelles étaient plus petites et les répétitions moins nombreuses, ce qui explique l'absence d'interprétation statistique. On voit que, dans l'ensemble, l'influence de l'*Acacia* se traduit par de nettes augmentations de rendements ; celles-ci vont jusqu'à 152 % pour le mil et 44 % pour l'arachide. L'apport d'engrais atténue, en général, les différences, ce qui tendrait à confirmer l'influence prépondérante de la nutrition minérale dans l'action amélioratrice de l'*Acacia albida*. L'effet sur le développement végétatif (pailles) est encore plus sensible.

Outre l'action de l'arbre sur le sol, SCHOCH (88), DANCETTE et POULAIN (25) ont étudié son influence sur la microclimatologie des cultures. Un peuplement suffisamment dense d'*Acacia albida* (20 à 25 arbres/ha) peut réduire l'évapotranspiration potentielle dans la proportion de 50 % pendant la saison sèche, par rapport aux champs ouverts ; pendant la saison des pluies, la différence est moins sensible et n'est que de 10 % environ. Par ailleurs, l'arbre, interceptant les pluies tombant en oblique, modifie le régime hydrique des sols à son voisinage.

En dehors de son influence sur le microclimat, le sol et les cultures, l'*Acacia albida* joue, dans le système agraire, un autre rôle très important : celui de pâturage aérien.

Les fruits de l'*Acacia albida* constituent en effet une ressource fourragère très intéressante. BOUDET et RIVIÈRE (9) ont estimé à 0,77 unité fourragère par kilo de produit brut (à 10 % d'humidité) leur valeur fourragère, ce qui représente une valeur élevée. La teneur en protéines est particulièrement intéressante (11,9 %) et correspond à 70 g de matière azotée digestible par kilo de produit brut, chiffre

également très élevé. La maturation des fruits d'*Acacia albida* a lieu en fin de saison sèche (février à mai), c'est-à-dire pendant une période particulièrement critique pour l'alimentation des troupeaux. Les gousses sèches présentent, en outre, l'avantage de se conserver facilement.

La production moyenne de gousses par arbre adulte a été chiffrée au Sénégal par JUNG (57) à 125 kg (pour un arbre dont le feuillage couvre une superficie de 230 m²) et au Soudan par WICKENS (97) à 135 kg. Avec un peuplement de 20 arbres à l'hectare, ce qui est courant en pays Sérér, on arrive ainsi à une production de $20 \times 125 \times 0,77 = 1.930$ unités fourragères à l'hectare. Cette valeur soutient aisément la comparaison avec les autres ressources fourragères locales, ainsi qu'on peut s'en rendre compte d'après le tableau ci-dessous établi selon les données du Service de l'Élevage (28) :

TABLEAU III-27
VALEUR FOURRAGÈRE DES GOUSSES DE L'*Acacia albida*
COMPARÉE A D'AUTRES RESSOURCES FOURRAGÈRES USUELLES

Produits fourragers	Par kg de produit brut		Production à l'hectare		
	Unités fourragères	MAD (g)	Produit brut (kg)	Unités fourragères	MAD (kg)
Gousses d' <i>Acacia albida</i>	0,77	70	2.500	1.930	175
Foin de prairie	0,35	30	3.000	1.050	90
Pailles défriche herbacée	0,20	10	4.000	800	40
Pailles de riz	0,40	0	3.000	1.200	0
Fanes sèches d'arachide	0,40	60	3.000	1.200	180

On voit qu'un peuplement suffisamment dense d'*Acacia albida* est susceptible de fournir, uniquement par ses gousses, davantage d'unités fourragères et de matières azotées digestibles à l'hectare que n'importe quelle autre production fourragère locale, y compris les fanes d'arachide.

En reprenant les chiffres du tableau III-27 et en estimant les besoins alimentaires annuels d'un bœuf de travail à 1.500 UF, on constate que le pâturage arborescent à *Acacia albida* peut nourrir 1,3 bœuf à l'hectare, sans pour autant gêner la production agricole. En termes de production de viande et de lait on peut estimer, avec BOUDET et RIVIÈRE (9), qu'en fournissant une ration journalière de 7 kg de gousses à un bovin adulte (250 kg) on assure son entretien et on obtient en supplément une production laitière quotidienne de 5 litres ou un gain quotidien de 700 g de poids vif. Dans ces conditions, un *Acacia* moyen (125 kg de gousses) peut assurer la production de 90 litres de lait ou de 12,5 kg de viande (poids vif).

C'est grâce à des peuplements denses d'*Acacia albida* dans les champs de culture que les paysans Sérér ont pu, sur des superficies restreintes, entretenir des troupeaux importants.

PÉLISSIER (75) a attiré, à juste titre, l'attention sur l'intérêt et l'ingéniosité de cette formule d'association *Acacia albida*/cultures dans les systèmes d'agriculture traditionnels : elle permet aux paysans, avec les moyens limités dont ils disposent, de tirer parti au mieux des faibles ressources d'un milieu ingrat.

Avec l'augmentation récente et très forte de la pression démographique, on peut cependant constater, dans certains terroirs surpeuplés, que l'efficacité de cette solution a des limites et qu'elle ne peut suffire, à elle seule, à maintenir le milieu en équilibre : en raison de la surexploitation de l'arbre et du sol, les effets bénéfiques sur le sol sont plus difficiles à observer et les rendements ne dépassent pas un niveau très médiocre. Malgré sa difficulté d'application dans un milieu aussi densément peuplé (plus de 80 habitants au kilomètre carré), seule une intensification radicale du système agricole pourrait améliorer de façon substantielle la production.

Dans ces systèmes intensifs, faisant intervenir travail du sol et fertilisants minéraux à haute dose, l'intérêt de l'association diminue sans pour autant disparaître. Malgré l'inconvénient que représente, pour la culture mécanisée, la présence d'arbres au milieu des champs, il serait illogique de se priver des avantages gratuits procurés par l'*Acacia albida*, tant pour le sol et les cultures que pour le bétail. Une solution peut consister à effectuer des plantations d'*Acacia albida* en lignes perpendiculaires aux vents dominants, de façon à constituer des brise-vent naturels et à ne pas gêner le travail des instruments aratoires.

On peut également envisager d'aménager une certaine portion du domaine de l'exploitation agricole en pâturage permanent : ce pâturage sera complanté en *Acacia albida*, en peuplement dense (20 à 30 arbres à l'hectare). Il y aura ainsi superposition de deux pâturages : un aérien et un herbacé ; la production fourragère du premier sera, de loin, supérieure à celle du second et il y aura en même temps enrichissement progressif de la couche arable du sol.

b) LES ASSOCIATIONS ENTRE CULTURES

Les associations entre cultures, sur le même champ, sont fréquentes au Sénégal et dans la plupart des pays de la zone tropicale sèche Ouest-africaine. Autour des villages, le mil hâtif est très souvent associé au niébé et à d'autres céréales à court cycle (maïs, sorgho hâtif). Dans les champs extérieurs, la présence de plants de mil tardif (sanio) et de sorgho s'observe dans la plupart des champs d'arachide. D'après les enquêtes menées par l'IRHO dans la région de N'Doffane (87), les surfaces en cultures associées représenteraient plus du tiers de la superficie totale, un quart à peine de cette surface étant consacré à la culture pure de céréales. C'est dire qu'une bonne part de la récolte vivrière provient en fait des champs d'arachide en culture associée.

Habituellement, les deux cultures sont imbriquées sur le terrain d'une manière paraissant assez fantaisiste mais tenant compte, en fait, des hétérogénéités du terrain : les plaques de sol plus argileux, les termitières, les petites dépressions, les terrains avoisinant les *Acacia albida* sont en général cultivés en céréales ; ailleurs, les plants de céréales dessinent, dans les champs d'arachide, des lignes plus ou moins régulières ; les alignements sont beaucoup mieux respectés en Casamance que dans le nord du Sénégal. Il est évident que cette disposition plus ou moins anarchique ne favorise pas l'utilisation de matériel de culture attelée et présente beaucoup d'inconvénients pour l'entretien des cultures et leur fertilisation rationnelle. Cependant, diverses études récentes (2, 41) ont mis l'accent sur l'intérêt que présentait, du point de vue de la bioclimatologie, le mélange de végétations étagées sur le même terrain : il y a ainsi une meilleure utilisation des ressources hydriques et réduction de l'ETP. Cette disposition peut également présenter des avantages pour la nutrition minérale des plantes, les différentes couches de sol étant mieux prospectées par les racines.

Il était donc intéressant de vérifier, expérimentalement, si ces cultures associées présentaient, par rapport aux cultures pures, des avantages justifiant leur vulgarisation ou si ceux-ci n'étaient pas suffisants pour contre-balancer les inconvénients réels de cette technique.

Diverses expérimentations ont été conduites au Sénégal et au Niger pour répondre à cette question. Dans toutes ces expérimentations, les semis des diverses cultures ont été effectués en lignes, à écartements réguliers, mais ceux-ci peuvent varier d'une expérimentation à l'autre ainsi que les fumures minérales appliquées. Les conditions de réalisation devront donc être précisées dans chaque cas pour permettre des comparaisons valables.

Dans l'expression des résultats, les auteurs comparent généralement, pour une superficie donnée, les productions obtenues pour les différentes plantes en rotation à ces mêmes productions dans le cas de l'association. Mais, lorsque les rotations diffèrent d'une expérimentation à l'autre, la comparaison est rendue plus délicate. Aussi avons-nous préféré substituer à ce mode d'expression, un autre plus généralisable qui consiste à évaluer la superficie nécessaire pour obtenir, en culture pure, la même production pour les différentes plantes que sur un hectare de culture associée. Ceci est valable quels que soient la rotation et le nombre de plantes entrant en combinaison. Soient R 1, R 2, R 3... les rendements à l'hectare des diverses plantes en culture pure et R' 1, R' 2, R' 3... les productions de ces diverses plantes sur un hectare de cultures associées.

Pour la première plante, il faudra : $R' 1/R 1 = s 1$ ha de culture pure pour avoir la même production que sur un hectare de culture associée ($s 1$ étant inférieur à 1). On aura de même pour les autres plantes les valeurs $s 2, s 3...$ En additionnant ces valeurs, on obtient la superficie S, en hectares, nécessaire pour assurer, en culture pure, la même production que sur un hectare de cultures associées. C'est cette méthode qui a été adoptée pour la présentation des résultats qui vont suivre.

Les expérimentations mentionnées ne font pas intervenir d'associations comportant plus de deux plantes. Il s'agit d'abord des associations mil-arachide, qui ont été les plus étudiées, puis des associations sorgho-arachide, mil-sorgho, mil-niébé.

Des expérimentations sur l'association mil-arachide ont été conduites au Sénégal par NICOU à Bambey (70) et SCHILLING à Darou et Tivaouane (87), et au Niger par NABOS (68) à la Station de Tarna. A Bambey, Tivaouane et Darou, les sols sont des sols peu évolués sur sables dunaires ; à Darou, il s'agit de sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau sablo-argileux du Continental Terminal.

Les conditions de réalisation de ces différents essais sont résumées dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III-28
CONDITIONS DE RÉALISATION COMPARÉES DES ESSAIS DE CULTURE ASSOCIÉE ARACHIDE-MIL
AU SÉNÉGAL ET AU NIGER

Conditions de réalisation et résultats		Localisation	Bambey (Sénégal)	Darou (Sénégal)	Tavaouane (Sénégal)	Tarna (Niger)
Ecartements (cm)	Arachide	Culture pure	60 × 20	60 × 25	60 × 25	50 × 30
		Culture associée ..	60 × 20 1 ligne sautée sur 5	60 × 15 1 ligne sautée sur 6	60 × 15 1 ligne sautée sur 6	50 × 30 2 lignes sautées sur 4
	Mil	Culture pure	100 × 100	100 × 80	100 × 80	100 × 100
		Culture associée ..	100 × 300	360 × 60	360 × 60	200 × 100
Nombre de pieds à l'hectare	Arachide	Culture pure	83.500	111.000	111.000	66.666
		Culture associée ..	66.850	92.500	92.500	33.333
	Mil	Culture pure	10.000	12.500	12.500	10.000
		Culture associée ..	3.333	4.640	4.640	5.000
Fumure minérale Unités fertilisantes à l'hectare	Culture pure	Arachide N	10	7	10	6
		P ₂ O ₅	80	24	0	40
		K ₂ O	60	12	3	12
	Mil	N	60	7	10	20
		P ₂ O ₅	80	24	0	20
		K ₂ O	60	12	3	0
Culture associée	N	60 *	7	10	13	
	P ₂ O ₅	80	24	0	30	
	K ₂ O	60	12	3	6	
Période d'étude			1964-1965	1960-1964	1960-1963	1963-1965

* 50 unités d'azote épandues en side-dressing sur le mil.

Comme on le voit, les conditions de réalisation sont assez diverses d'un point à un autre, tant en ce qui concerne les densités de semis et les écartements pratiqués que les fumures minérales appliquées. Les résultats obtenus sont également assez fluctuants, mais ils varient autant d'une année à l'autre sur un même point d'essai que d'un lieu à un autre. Ils sont rassemblés dans le tableau suivant :

TABLEAU III-29
COMPARAISON DES RENDEMENTS DU MIL ET DE L'ARACHIDE
EN CULTURE PURE ET EN CULTURE ASSOCIÉE

Rendements		Localisation	Bambey (Sénégal)	Tivaouane (Sénégal)	Darou (Sénégal)	Tarna (Niger)				
Période d'étude			1964	1965	1960-63	1960-64	1963	1964	1965	1963-65
Rendements kg/ha et rapport des rendements	Arachide (gousses)	Culture pure	895	901	1.687	2.320	1.769	764	1.282	1.272
		Culture associée	727	349	1.060	1.428	968	316	893	727
		Rapport R'1/R1	0,81	0,39	0,63	0,62	0,55	0,41	0,60++*	0,57++*
	Mil (grains)	Culture pure	1.146	850	265	505	724	915	972	876
		Culture associée	511	319	203	357	311	553	469	445
		Rapport R'2/R2	0,45	0,38	0,77	0,71	0,43	0,60	0,48	0,51
R'1/R1 + R'2/R2 = S hectares			1,26	0,77	1,40	1,33	0,98	1,01	1,17	1,08

* Les rapports R'1/R1 diffèrent de façon hautement significative de 0,50 ou, ce qui revient au même, les productions d'arachide sur un hectare de culture associée sont significativement supérieures aux productions d'un demi-hectare de culture pure.

L'association est nettement bénéfique à Tivaouane et à Darou : elle profite aux deux plantes, mais surtout au mil. Pour obtenir la même production que sur un hectare de culture associée, il faut cultiver 1,40 ha à Tivaouane et 1,33 ha à Darou en cultures pures. A Bambey, les résultats s'inversent d'une année sur l'autre. A Tarna, l'association est assez régulièrement bénéfique pour l'arachide, malgré la chute de densité ; elle est, par contre, indifférente pour le mil ; pour l'ensemble des deux plantes il se manifeste, sur trois ans, une légère supériorité de l'association sur la culture pure.

A Darou, la supériorité du mil en culture associée est attribuée essentiellement à la densité plus faible des semis : sur un essai voisin, les rendements du mil à grands écartements, sans arachide intercalaire, sont supérieurs à ceux du mil à écartement normal ; les exigences en eau, lumière et sels minéraux seraient mieux satisfaites. Il faut noter, toutefois, que cette remarque ne paraît pas généralisable, car les densités de semis adoptées pour le mil résultent précisément d'une série d'essais ayant eu pour but de dégager le meilleur compromis possible entre les deux composantes du rendement à l'hectare : production par plant et nombre de plants à l'hectare.

L'association arachide-sorgho a été étudiée uniquement à Darou par SCHILLING (87). Il y avait une ligne de sorgho pour trois lignes d'arachides ; la densité passait ainsi de 111.000 pieds en culture pure à 83.500 pieds en culture associée. Le sorgho semé à 0,60 m × 1 m en culture pure (16.700 pieds/ha) l'était à 0,60 m × 2,4 m (soit 7.000 pieds/ha) en culture associée. La formule d'engrais appliquée était la 6-20-10 à 120 kg/ha.

Sur une période de cinq ans (1960-1964), l'association se révèle nettement favorable pour l'arachide (rapport R' 1/R 1 = 0,66) mais déficitaire pour le sorgho (rapport R' 2/R 2 = 0,36). Au total, il y a donc équivalence entre culture pure et culture associée, avec un très léger avantage pour cette dernière (S = 0,66 + 0,36 = 1,02).

L'association mil-sorgho a été étudiée, à Tarna, en 1963 et 1964 (68). En culture pure, ces deux céréales étaient cultivées aux mêmes écartements (1 m × 1 m, soit 10.000 pieds/ha) ; en association, on alternait simplement les lignes de céréales. La fumure minérale était la même dans les deux cas (20 N + 20 P₂O₅). En considérant le sorgho comme la première culture et le mil comme la seconde, les résultats peuvent être résumés ainsi :

$$\begin{array}{l}
 1964 : \quad \frac{R' 1}{R 1} = \frac{426}{1.041} = 0,42 ; \quad \frac{R' 2}{R 2} = \frac{432}{625} = 0,69 + ; \quad S = 1,11. \\
 1965 : \quad \frac{R' 1}{R 1} = \frac{268}{659} = 0,41 ; \quad \frac{R' 2}{R 2} = \frac{563}{730} = 0,77 ++ ; \quad S = 1,18.
 \end{array}$$

Les résultats des deux années vont donc dans le même sens : effet de l'association légèrement dépressif pour le sorgho mais nettement bénéficiaire pour le mil (effets significatifs les deux années). Au total, l'association permet d'économiser environ 15 % des surfaces cultivées en céréales.

Enfin, l'association mil-niébé, très répandue en milieu paysan traditionnel, a été testée à Tarna en 1963 et 1964 (68). Mil et niébé ont été semés en culture associée à une densité égale, pour chacun d'eux, à la moitié de la densité normale : soit 5.000 poquets pour le mil et 20.000 pour le niébé, contre 10.000 et 40.000 en culture pure. Les fumures des cultures pures ont été : 20-20-0 pour le mil, 6-40-12 pour le niébé, et en culture associée : 13-30-6, c'est-à-dire une formule intermédiaire. En deuxième année, le niébé a subi de fortes attaques parasitaires qui ont réduit beaucoup les rendements. Les résultats seront mentionnés à titre indicatif, en prenant le niébé comme première plante et le mil comme seconde. On a ainsi :

$$\begin{array}{l}
 1963 : \quad \frac{R' 1}{R 1} + \frac{R' 2}{R 2} = \frac{373}{719} + \frac{313}{658} = 0,50 + 0,48 = 1,00. \\
 1964 : \quad \frac{R' 1}{R 1} + \frac{R' 2}{R 2} = \left(\frac{190}{357} \right) + \frac{722}{1.098} = (0,53) + 0,66 = 1,19.
 \end{array}$$

Il y aurait, là encore, un léger avantage en faveur de l'association.

A côté de l'effet d'association proprement dit, ont été étudiés également les effets de protection contre le vent qui pouvaient résulter de la disposition des cultures en bandes alternantes de différentes largeurs, présentant diverses orientations par rapport aux vents dominants. Dans l'essai « brise-vent » de Bambey, à côté des cultures associées mil-arachide, figuraient des traitements permettant de tester le rôle protecteur du mil (4 m à 5 m de haut) vis-à-vis de l'arachide. Les mesures effectuées montrèrent une réduction sensible de la vitesse du vent et de l'évaporation PICHE sur les parcelles d'arachides protégées par les cultures de mil. Il n'y eut, par contre, aucune influence sur les rendements (70).

En résumé, si les cultures en association sur le même terrain se révèlent souvent légèrement plus productives que les cultures pures, la supériorité de ce système n'est pas telle qu'il faille actuellement envisager sa vulgarisation dans la zone étudiée. Ceci semble nettement prématuré au moment où l'on s'efforce d'inculquer aux paysans les techniques culturales de base propres à chaque culture et adaptées à la culture attelée.

Ce n'est que lorsque ces notions auront été bien assimilées et correctement appliquées que l'on pourra envisager, dans un deuxième stade, le recours aux cultures associées. De nouvelles expérimentations seront alors nécessaires, car il conviendra de mieux adapter les techniques culturales et la fertilisation à chaque plante en association qu'elles ne l'étaient dans les essais précédemment mentionnés. Ceux-ci ont valeur d'essais d'orientation, mais il serait hasardeux d'en tirer des conclusions définitives quant aux possibilités et à l'intérêt des cultures en association.

E) CONCLUSION

Parmi les facteurs biologiques susceptibles de jouer un rôle dans l'amélioration du profil cultural et de la production agricole, seule l'action de la végétation a fait l'objet d'une étude assez développée. Ceci ne signifie pas que les autres facteurs biologiques : faune et flore du sol, soient considérés comme négligeables mais simplement qu'ils sont encore assez mal connus, et qu'en particulier on manque de données précises permettant de mesurer leur influence sur la production végétale.

De ce qui précède, il ressort avant tout que le rôle de la végétation dans l'amélioration du profil cultural des sols, en zone tropicale sèche, est assez limité. Ce rôle n'est réellement important que dans le cas d'une végétation forestière. Or, habituellement, la déforestation totale est un préalable indispensable à la mise en culture : on assiste alors à une détérioration très rapide des propriétés physico-chimiques des sols et l'influence du précédent forestier sur les rendements diminue également très vite avec le temps. Un cas particulier d'association arbres/cultures, celui des terroirs à *Acacia albida*, a été cependant étudié ; on a pu noter, sur cet exemple, tout l'intérêt de cette association, tant pour le sol que pour les cultures.

En ce qui concerne une végétation de type herbacé : jachère ou culture, il ne semble pas qu'on puisse attendre, de sa seule action, une amélioration sensible des propriétés du sol et des rendements agricoles. Elle peut, par contre, jouer un rôle dans la conservation de l'état initial du sol et du maintien de la productivité.

Dans l'analyse comparée des effets sur le sol de la jachère herbacée et des plantes cultivées, il n'est pas apparu de différence marquée en nature ou en intensité, entre les deux types de végétation, surtout lorsque la plante cultivée était une céréale.

A l'avantage de la jachère, on peut noter :

- une protection du sol mieux assurée, surtout en saison sèche et en début de saison des pluies ;
- une action du système racinaire sur la structure jouant, au contraire de la culture, sur toute la surface du terrain, mais n'intéressant qu'une très faible épaisseur de sol, l'action étant elle-même très peu poussée ;
- une incidence importante sur le bilan minéral phospho-potassique, grâce à la diminution des exportations.

Du point de vue du bilan organique, l'action de la jachère paraît être à peu près identique à celle de la culture.

L'action de protection du sol et l'incidence sur le bilan minéral sont suffisantes pour expliquer que la jachère puisse jouer un rôle important de maintien de la fertilité dans des systèmes à caractère extensif ou dans des régions très défavorisées du point de vue sol ou climat. Dans ces conditions, en effet, les risques de dégradation du sol sont élevés et s'accroissent d'une année sur l'autre. On conçoit qu'il soit alors nécessaire de recourir à des successions culturales courtes entrecoupées de jachères longues. Les expérimentations implantées sur sols très sableux dans les zones à faible pluviométrie montrent, en effet, une certaine supériorité des rotations avec jachère sur les rotations culturales continues. Cette supériorité se manifeste également, dans des conditions pédoclimatiques plus favorables, lorsqu'il n'y a pas apport régulier d'engrais minéraux en quantité suffisante.

Par contre, dans ces mêmes régions, en présence d'une fertilisation minérale correcte, l'action spécifique de la jachère herbacée sur le sol paraît très peu se distinguer de celle d'une culture, mis à part le fait que les risques de dégradation en début de cycle sont plus élevés dans ce dernier cas. Il ne faut

pas s'attendre, dans ces conditions, à ce que l'insertion dans la rotation de jachères courtes entraîne des changements notables dans les rendements agricoles, par rapport à une rotation culturale continue. C'est effectivement cette conclusion qui ressort de nombreux résultats expérimentaux, tout au moins en ce qui concerne les rendements de l'arachide. Pour les céréales, il est en effet impossible, actuellement, de fournir une réponse, car dans aucune expérimentation de ce type les besoins en éléments minéraux de la céréale n'ont été jusqu'à présent convenablement satisfaits par les apports d'engrais. On peut, cependant, penser que si la fertilisation minérale avait été suffisante les conclusions auraient été les mêmes que pour l'arachide.

En bonnes conditions de climat et de sol et en présence d'une fertilisation minérale suffisante, la nécessité d'inclure une jachère ou une « période de repos » dans la rotation ne nous paraît donc pas évidente. Cependant, en sens inverse, la démonstration expérimentale de la possibilité de cultiver le sol sans interruption avec le seul secours de la fertilisation minérale et sans faire appel au travail du sol n'a pas encore été pleinement faite. Il est donc prudent, dans ces conditions, que le vulgarisateur continue à recommander l'intercalation de jachères ou de soles de repos dans la rotation, dans la mesure, toutefois, où la pression démographique autorise le recours à de telles pratiques. Il est certain que, dans beaucoup de régions, cela deviendra rapidement de plus en plus difficile. Il importe que la recherche dégage de nouvelles solutions et fournisse une réponse à la question posée.

Concernant les seules cultures, il ne semble pas qu'il faille s'attendre, dans les systèmes sans travail du sol, à de grandes modifications sur les rendements, en combinant entre elles, dans l'espace et le temps, les diverses plantes cultivées. Celles-ci étant très peu nombreuses, la gamme des successions culturales possibles est assez restreinte. L'expérimentation a cependant montré la supériorité des rotations faisant intervenir plusieurs plantes sur les successions linéaires continues. L'alternance légumineuse-céréale paraît être une des solutions les plus recommandables et les plus généralisables.

Les associations de plantes sur le même terrain donnent souvent de meilleurs résultats que les cultures pures mais les différences sont peu accentuées ; par ailleurs, les difficultés dans l'application correcte de cette technique sont assez grandes pour que sa vulgarisation paraisse nettement prématurée actuellement.

En résumé, si les facteurs biologiques peuvent jouer un rôle important dans la conservation du profil cultural et le maintien de la fertilité, ils ne paraissent pas, à eux seuls, capables d'améliorer nettement les propriétés physiques du sol et de créer un profil cultural satisfaisant, permettant ainsi de franchir une nouvelle étape vers une productivité agricole accrue. Il convient donc de rechercher si cet objectif ne peut pas être atteint par une intervention humaine plus poussée faisant jouer les facteurs mécaniques (travail du sol) employés seuls ou en association avec les facteurs biologiques (enfouissement de matière végétale). Ce sont ces questions qui feront l'objet du prochain chapitre.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBERT (G.), DUBOIS (J.), MAIGNIEN (R.), 1946. Les sols à arachide du Sénégal. ORSTOM, rapport miméo.
- (2) BALDY (C.), 1964. Cultures associées et productivité de l'eau. INRA, « L'eau et la production végétale », 303-48.
- (3) BARLEY (K.P.), GREACEN (E.L.), 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. *Adv. in Agron.*, 19, 1-43.
- (4) BERGER (J.), 1962. Maize Production and the manuring of Maize. Centre d'étude de l'azote, Genève.
- (5) BERGER (M.), BERTRAND (R.), 1967. Expérimentation relative à *Dolichos lablab* (Antaka) en culture cotonnière intensive dans le périmètre irrigué du Bas-Mangoky. Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive, 118, 1472-89.
- (6) 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. sur la Cons. et l'Amé. de la Fert. des Sols, Khartoum (8-12 nov. 1965), OAU/STRC. Comm. n° 37, 173-81.
- (7) —, 1966. Compte rendu de l'essai « Dynamique de l'azote ». IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. annuel miméo.

- (8) BOUCHARD (L.), 1969. Résumé des résultats acquis à l'IRAT-Madagascar concernant le travail du sol et le rôle de la matière organique.
IRAT-Madagascar. Comm. à la Conf. IRAT de Bouaké ; doc. mult. 5 p.
- (9) BOUDET (G.), RIVIÈRE (R.), 1967. Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux.
IEMVT, doc. mult., 78 p.
- (10) BOURRIER (J.), 1954. Mesures des caractéristiques hydrodynamiques des sols à la Station expérimentale d'hydraulique agricole (Vergière).
Bulletin HS 21, mult. 14 p.
- (11) BUI HUU TRI, 1968. Dynamique de la granulation du sol sous prairie.
Ann. Agron., 19 (4), 415-39.
- (12) CHARREAU (C.), 1953. Note sur quelques études faites sur les sols de la CGOT en août 1953.
Inspec. Gén. de l'Agric. en AOF, Dakar ; doc. dactyl. 10 p.
- (13) —, 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
L'Agron. Trop., XXIV, 9, 836-42.
- (14) —, FAUCK (R.). Problèmes agropédologiques posés par la culture continue en zone tropicale sèche ; l'exemple de Séfa en Moyenne-Casamance (Sénégal).
A paraître dans *L'Agronomie Tropicale*.
- (15) —, GUILLOT (C.), 1967. Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1967.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. miméo. 63 p.
- (16) —, PICON (B.), 1966. Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1966.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. miméo, 90 p.
- (17) —, PIERI (C.), 1965. Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1965.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. miméo, 88 p.
- (18) —, SÉGUY (L.), 1968. Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1968.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. miméo, 60 p.
- (19) —, TOBIAS (C.), 1964. Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1964.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. miméo, 44 p.
- (20) —, VIDAL (P.), 1965. Influence de l'*Acacia albida* DEL. sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal.
L'Agron. Trop., XX, 6-7, 600-25.
- (21) CHAUVEL (A.), 1966. Etudes physiques des sols de Séfa.
ORSTOM, Centre de Dakar ; rapp. mult., 36 p.
- (22) —, TOBIAS (C.). Quelques données sur les caractéristiques physiques et le pédoclimat des sols de Séfa.
ORSTOM. A paraître.
- (23) CHOPART (J.-L.), NICOU (R.). Etude morphologique de l'enracinement du sorgho 63-18 en deux conditions de fertilité.
A paraître dans *L'Agron. Trop.*
- (24) COINTEPAS (J.-P.), 1958. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station expérimentale de Séfa.
ORSTOM, rapp. miméo, 110 p.
- (25) DANCETTE (C.), POULAIN (J.-F.), 1968. Influence de l'*Acacia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures.
Sols africains, XIII, 3, 197-239.
- (26) DEFFONTAINES (J.-P.), 1965. Observations sur le profil cultural du sol en conditions diverses.
IRAT, rapp. mult., 26 p.
- (27) DELBOSC (G.), 1968. Etudes sur la régénération de la fertilité du sol dans la zone arachidière du Sénégal.
Oléagineux, XXIII, 1, 27-33.
- (28) DIRECTION DE L'ÉLEVAGE ET DES INDUSTRIES ANIMALES, 1968. Valorisation du cheptel bovin du Sénégal par une alimentation rationnelle. Enquêtes et essais d'alimentation.
Sénégal, Min. du Dév. rural, Dakar ; doc. mult.

- (29) DOMMERGUES (Y.), 1963. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales.
Bois et forêts des Tropiques, 87, 9-25.
- (30) DUGAIN (F.), 1960. Rapport de Mission au Niger.
ORSTOM, Dakar, miméo.
- (31) FAUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (C.), 1969. Bilans de l'évolution des sols à Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue.
L'Agron. Trop., XXIV, 3, 263-301.
- (32) —, SÉGUY (L.), TOBIAS (C.), 1969. Notice sur la carte des sols de la région de Séfa (Casamance).
ORSTOM-IRAT, doc. mult., 51 p.
- (33) FAURE (J.), 1953. Les sols de la région de Louga. Vue d'ensemble sur les types de sols et leur mise en valeur agronomique.
Annales du CRA Bambey, 1953, 141-68.
- (34) GAUDEFROY-DEMOMBYNES (P.), 1955. Observations sur la couverture du sol.
Annales du CRA Bambey, 1955, 25-33.
- (35) GAUTREAU (J.), 1963. Compte rendu des essais « Systèmes radiculaires ».
IRHO-Sénégal, Section de Bambey, rapp. annuel, dactylo., 16-23.
- (36) GEISLER (G.), 1968. Über den Einfluss von Unterbodenverdichtungen auf den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und das Wurzelwachstum.
Landwirtschaftliche Forschung, 22, Sonderheft, 61-8.
- (37) GILLIER (P.), 1960. La reconstitution et le maintien de la fertilité des sols du Sénégal et le problème des jachères.
Oléagineux, XV, 8-9, 637-43 et XV, 10, 699-704.
- (38) GLIEMEROTH (G.), KAHNT (G.), SIDIRAS (N.), 1968. Einwirkungen von Unterboden verdichtungen auf Wurzelwachstum und Nährstoffhaushalt.
Landwirtschaftliche Forschung, 22, Sonderheft, 70-7.
- (39) GRABLE (A.R.), 1966. Soil aeration and plant growth.
Adv. in Agron., 18, 57-106.
- (40) GREENLAND (D.T.), NYE (P.H.), 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows.
The Journal of Soil Science, 10, 2, 284-99.
- (41) GUYOT (G.), 1964. Les brise-vent. Modification des microclimats et amélioration de la production agricole.
INRA, « L'Eau et la Production végétale », 243-302.
- (42) HÉNIN (S.), 1960. Quelques considérations sur les rotations.
Oléagineux, XV, 1, 9-12.
- (43) —, FEODOROFF (A.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1960. Le profil cultural. Principes de physique du sol.
Soc. d'Edit. des Ingénieurs agricoles, Paris.
- (44) HIDDING (A.P.), BERG (C. Van den), 1960. The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers.
Trans. 7th Int. Cong. Soil Sc., 1, 369-73.
- (45) HUDSON (N.W.), JACKSON (D.C.), 1959. Results achieved in the measurement of erosion and run-off in Southern Rhodesia.
CCTA, III^e Conf. Interafr. des Sols, Dalaba, 575-83.
- (46) IRHO, 1968. Culture continue à Darou.
IRHO, fiche n° 7, doc. mult. 4 p.
- (47) IRHO, 1968. Synthèse des résultats.
IRHO, fiche n° 10, doc. mult., 2 p.
- (48) IRHO/Sénégal, 1960-1968. Comptes rendus des essais « Longueur optimum de jachère » à Louga, Tivaouane et Darou.
IRHO/Sénégal, rapp. Ann. miméo.
- (49) IRHO/Sénégal, 1961-1968. Comptes rendus de l'essai « Couverture-jachère-engrais vert » à Darou.
IRHO/Sénégal, Section de Darou, rapp. annuels miméo.
- (50) IRHO/Sénégal, 1962-1968. Compte rendu de l'essai « Jachère-brûlis-potasse » de Patar.
IRHO/Sénégal, rapp. annuels miméo, Station de Bambey.

- (51) IRHO/Sénégal, 1966. Compte rendu des essais sous Kads.
IRHO/Sénégal, rapp. annuel miméo, Station de Bambey, 19-29.
- (52) IRHO/Sénégal, 1967. Compte rendu de l'essai « Jachère-engrais vert » de Darou.
IRHO/Sénégal, rapp. annuel miméo, Station de Darou, 30-9.
- (53) JACQUINOT (L.), 1967. Etude de la nutrition azotée du mil.
IRAT/Sénégal, Div. de Physiol., rapp. ann. d'act. miméo.
- (54) JENNY (H.), 1941. Factors of soil formation.
Mc Graw Hill, New York.
- (55) —, 1950. Causes of the high nitrogen and matter organic content of certain tropical forest soils.
Soil Science, 69, 63-9.
- (56) JUNG (G.), 1966. Etude de l'influence de l'*Acacia albida* DEL. sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières.
ORSTOM, Centre de Dakar, rapp. miméo, 49 p.
- (57) —, 1967. Influence de l'*Acacia albida* DEL. sur la biologie des sols « dior ».
ORSTOM, Centre de Dakar, rapp. miméo, 63 p.
- (58) LAGÈRE (R.), 1966. Le cotonnier.
Col. tech. Agr. et Prod. trop., G.-P. Maisonneuve et Larose, Paris.
- (59) LAUDELOUT (H.), 1962. Dynamique des sols tropicaux et les différents systèmes de jachère.
FAO, rapp. mult., 125 p., Rome.
- (60) LEA (J.D.), 1961. Studies on the Depth and Rate of Root Penetration of Some Annual Tropical Crops.
Trop. Agric. Trin., 38, 2, 93-105.
- (61) MAERTENS (C.), 1964. La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement.
Ann. Agr., 15 (5), 539-54.
- (62) MEREDITH (H.L.), PATRICK (W.H.), 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana.
Agr. Journ. (53), 163-7.
- (63) MERLIER (H.), 1966-1967. Compte rendu d'étude de systèmes racinaires.
IRAT/Sénégal, Div. d'Agrobot., rapp. annuels mult.
- (64) —, 1967. Evolution d'une jachère naturelle bisannuelle intervenant dans une rotation quinquennale type. Sa comparaison avec une jachère continue naturelle.
Coll. sur la Fert. des Sols Trop., Tananarive, 147, 1803-12.
- (65) MONNIER (G.), KONAN (L.), 1968. Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale.
Ann. Agron., 19 (5), 541-51.
- (66) MOREL (R.), QUANTIN (P.), 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique centrale.
L'Agr. Trop., XIX, 2, 105-36.
- (67) MUNTZ (A.), FAURE (L.), LAINE (E.), 1905. Etude sur la perméabilité des terres, faite en vue de l'irrigation.
Annales Dir. Hydraulique, 33-45.
- (68) NABOS (J.), 1963-1965. Comptes rendus des essais sur les associations culturales.
IRAT-Niger, rapp. annuels miméo.
- (69) —, 1964. Compte rendu des essais « Précédents cultureux » à Tarna.
IRAT-Niger, rapp. annuel miméo.
- (70) NICOU (R.), 1964-1965. Comptes rendus des essais « Brise-vent » à Bambey.
IRAT-Sénégal, Div. des Tech. Cult., rapp. annuels miméo.
- (71) —, THIROUIN (H.), 1968. Mesures sur la porosité et l'enracinement. Premiers résultats.
IRAT-Sénégal, doc. mult., 52 p.
- (72) NYE (R.H.), GREENLAND (D.J.), 1960. The soil under shifting cultivation.
Tech. Comm. n° 51, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden.
- (73) ORGLIAS (A.), 1951. Recherches préliminaires sur le système racinaire de l'arachide.
Oléagineux, VI, 10, 571-5.

- (74) PELERENTS (C.), 1958. Etude du système racinaire du riz de terre ferme en conditions naturelles.
Bull. Agric. du Congo Belge, XLIX, 5, 1269-89.
- (75) PÉLISSIER (P.), 1967. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance.
Imp. Fabrègues, Saint-Yriex (Haute-Vienne).
- (76) PHILIPS (R.E.), DON KIRKHAM, 1962. Soil compaction in the field and corn growth.
Agr. Journ. (59), 29-34.
- (77) PIERI (C.), 1967. Etude de l'érosion et du ruissellement à Séfa au cours de l'année 1965.
Coll. sur la Fert. des Sols Trop., Tananarive, 108, 1302-15.
- (78) POCHTIER (G.), 1969. Point des activités sur les unités expérimentales de Thyssé-Kayemor/Sonkorong et Koumbidia au 30 septembre 1969.
IRAT-Sénégal, SARV, doc. mult., 20 p.
- (79) PORCHET (M.), LAFÉRÈRE (H.), 1935. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols en place.
Dir. Eaux et Génie Rural, Minist. Agric., Annales, fasc. 64.
- (80) PORTÈRES (R.), 1952. Aménagement de l'économie agricole et rurale du Sénégal.
Gouvern. Gén. de l'AOF, rapp. miméo, tome I.
- (81) POULAIN (J.-F.), 1961. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (sols « dior »). Les principaux facteurs de leur fertilité.
ORSTOM, rapp. de stage, dactyl.
- (82) —. 1961-1969. Comptes rendus des essais « 2^e S×P×K×Labours » à Bambey.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. annuels miméo.
- (83) —, 1962-1968. Comptes rendus des essais « Epuisement et rotation » à Bambey.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. annuels miméo.
- (84) —, 1962-1969. Comptes rendus des essais « 2^e N×P×K×Mode de fumure » à Bambey.
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. annuels miméo.
- (85) RADWANSKI (S.A.), WICKENS (G.E.), 1967. The ecology of *Acacia albida* on mantle soils in Salingei, Jebel Mara, Sudan.
Journ. Appl. Ecol., 4, 569-79.
- (85 bis) ROBERTY (G.), 1963. Carte de la végétation de l'Afrique tropicale occidentale à l'échelle 1/1.000.000.
Feuille ND 28, Dakar.
ORSTOM, Service cartographique.
- (86) ROOSE (E.), 1967. Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.
L'Agron. Trop., XXII, 2, 123-52.
- (87) SCHILLING (R.), 1965. L'arachide en culture associée avec les céréales.
Oléagineux, XX, 11, 673-6.
- (88) SCHOCH (P.G.), 1968. Influence sur l'évapotranspiration potentielle d'une strate arborée au Sénégal et conséquences agronomiques.
UNESCO. Actes du Colloque de Reading sur les méthodes agroclimatologiques, 313-9.
- (89) SCHUURMANN (J.J.), GOEDEWAGEN (M.A.J.), 1956. Growth and root development of spring wheat on various loam profiles underloam by sand in relation to the fertilization of the subsoil.
IV^e Cong. Int. Sc. Sol. Rap. D., 325-34.
- (90) SÉGUY (L.), NICOU (R.), HADDAD (G.), 1970. Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou absence de travail du sol.
IRAT-Sénégal, doc. mult., 20 p.

- (91) TAYLOR (H.M.), GARDNER (M.R.), 1963. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil.
Soil Sc., 96, 153-6.
- (92) —, RATTLIFF (L.F.), 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content.
Soil Sc., 108, 2, 113-9.
- (93) TOBIAS (C.), 1968. Mesure au laboratoire de la perméabilité d'échantillons de sols non remaniés.
Cahiers ORSTOM, série Pédol., VI, 2, 251-7.
- (94) TROCHAIN (J.), 1940. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal.
Mém. de l'IFAN, n° 2, Lib. Larose, Paris.
- (95) VIDAL (P.), 1963. Croissance et nutrition minérale des mils *Pennisetum* cultivés au Sénégal.
Thèse, Fac. des Sc. Dakar.
L'Agr. Trop., XVIII, 6-7, 591-668.
- (96) VIEHMEYER (F.J.), HENDRICKSON (A.H.), 1948. Soil density and root penetration.
Soil Sc., 65, 487-95.
- (97) WICKENS (G.E.), 1969. A study of *Acacia albida* DEL. (Mimosoidae).
Kew Bulletin, XXIII, 2, 181-202.

CHAPITRE IV

LES EFFETS DE L'INTERVENTION HUMAINE SUR LE PROFIL CULTURAL ET LES RENDEMENTS AGRICOLES : LE TRAVAIL DU SOL AVEC OU SANS ENFOUISSEMENT DE MATIERE VEGETALE

A) INTRODUCTION

D'après ce qui a été vu, les facteurs naturels : climats, sols et végétation de type herbacé ne peuvent suffire, par eux-mêmes, à créer une structure favorable au développement du système racinaire et à la croissance végétative des plantes cultivées dans les sols à dominante sableuse de la zone tropicale sèche Ouest-africaine. On peut alors penser à recourir à ces moyens d'intervention plus puissants que constituent les facteurs mécaniques, associés ou non aux facteurs biologiques. En pays tempérés, où ils sont utilisés depuis longtemps, les agronomes s'accordent en effet à leur reconnaître un rôle essentiel dans la création et la conservation d'un profil cultural satisfaisant.

Malgré les bouleversements récents introduits par le développement des herbicides, qui ont quelque peu réduit son rôle, le travail du sol conserve une place de choix parmi les facteurs de productivité agricole et peu d'agriculteurs mettent sérieusement en doute son utilité, voire sa nécessité.

Or, dans les systèmes de culture traditionnelle de la zone tropicale sèche Ouest-africaine, il se trouve que le travail profond du sol est à peu près inconnu.

Cette affirmation demanderait bien sûr à être nuancée en fonction des variétés de climats, de sols et d'ethnies. Mais, d'une manière générale, on peut considérer qu'au Sénégal, par exemple, la préparation du sol avant le semis va rarement plus loin qu'un simple grattage superficiel à la houe « iler » ou « daba » (suivant les régions) sur 4 cm à 5 cm d'épaisseur de sol.

Partant de cet état de fait, un certain nombre d'agronomes en ont conclu que, dans ces pays, le travail du sol ne représentait pas une nécessité absolue, que son efficacité était contestable et que son introduction en milieu traditionnel entraînerait, pour la collectivité paysanne, des charges supplémentaires en équipement et une perte de temps inutiles.

Par ailleurs, les mises en garde ne manquent pas, dans la littérature agronomique, contre les dangers que font courir aux sols tropicaux, réputés éminemment fragiles, les traitements brutaux inspirés des techniques culturales des pays tempérés. Le labour à la charrue, entre autres, a été et reste encore l'objet d'une forte suspicion. Il est certain que de telles craintes ne sont pas sans fondement et qu'un travail du sol défectueux ou réalisé à une période défavorable peut entraîner des conséquences désastreuses pour le sol, étant donné l'agressivité des facteurs climatiques.

Mais, en sens inverse, il est possible d'opposer à ces arguments de nombreux résultats expérimentaux, démontrant, parfois de façon spectaculaire, l'intérêt du travail du sol, en général, et du labour, en particulier.

Une mise au point s'impose donc pour tenter de départager des opinions apparemment contradictoires, et essayer d'appréhender au mieux l'incidence du travail du sol sur le sol lui-même et les cultures.

Pour ce faire, on s'efforcera d'analyser les modifications des propriétés physiques du sol résultant de l'intervention des facteurs mécaniques et d'expliquer, par ces modifications, celles qui sont observées dans le comportement des plantes. Même dans le cas des labours d'enfouissement de matière végétale où les facteurs mécaniques n'interviennent plus seuls, mais sont associés aux facteurs biologiques, interférant ainsi avec les propriétés chimiques et la matière organique des sols, on ne considérera que les propriétés physiques et on tentera de caractériser leurs répercussions sur la croissance des plantes. Les incidences sur le bilan humique des sols et leurs conséquences agricoles seront étudiées ultérieurement.

On examinera d'abord les contraintes diverses pesant sur la réalisation des travaux de préparation du sol, puis l'action sur le sol et les cultures des labours avec ou sans enfouissement de matière végétale, celle des autres travaux de préparation du sol et, enfin, celles des façons d'entretien et des travaux de récolte.

B) CONTRAINTES PESANT SUR LA REALISATION DES TRAVAUX DE PREPARATION DU SOL

Ces contraintes sont de deux sortes : pédoclimatiques et économiques.

1) CONTRAINTES PEDOCLIMATIQUES

La faible durée de la saison des pluies utiles est le principal facteur limitant dans la zone tropicale sèche Ouest-africaine de la production agricole. On a vu que pour l'ensemble de la zone elle variait de 60 jours à 150 jours.

Il est donc essentiel que l'agriculteur profite au maximum de cette période et que les cycles végétatifs coïncident au mieux avec les cycles pluviométriques. Il est primordial, entre autres, que les semis soient effectués aussi précocement que possible. Toutes les expériences de dates de semis qui ont été faites tant au Sénégal que dans les pays de l'Ouest-africain, sur les plantes les plus variées, sont concordantes à ce sujet.

Diverses hypothèses ont été avancées pour tenter d'expliquer cette nécessité des semis précoces.

Les plus courantes sont celles qui font appel aux liaisons entre la plante et divers éléments du climat : alimentation hydrique, pluie et floraison, durée d'ensoleillement, photopériodisme, etc. D'autres font intervenir l'action érosive des pluies de début de saison, action aggravée par un semis retardé, laissant le sol nu. D'autres enfin, et qui paraissent les plus probantes et les plus généralisables, mettent l'accent sur les processus biologiques se déroulant dans le sol en début de saison des pluies. BLONDEL (9) a, en effet, montré que les premières pluies déclenchaient dans le sol un processus de minéralisation de l'azote très rapide et très fugace (« pic » de minéralisation) 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 : le taux d'azote minéral et les sources carbonées nécessaires à l'activité des microorganismes diminuent rapidement ; l'activité biologique globale devient faible et l'équilibre microbien deviendrait moins favorable à la plantule (augmentation relative des saprophytes). C'est sans doute principalement pour ces dernières raisons que, très généralement, la croissance des plantés semés dès les premières pluies est plus rapide que celle des plantes à semis retardé ; dans les cas extrêmes, on peut même observer un blocage presque complet de la croissance peu après la levée, et ceci en présence de fumures minérales convenables.

Quelles que soient les validités respectives de ces divers arguments, qu'il conviendrait d'examiner dans chaque cas particulier, un fait n'en paraît pas moins bien établi : la nécessité des semis précoces. Certaines plantes, comme le sorgho et le maïs, peuvent se montrer plus tolérantes que d'autres maïs, d'une manière générale, la règle souffre peu d'exception et les retards au semis sont pénalisés par des baisses de rendements proportionnelles à la longueur du retard. Cette règle n'est pas ignorée dans les systèmes de culture traditionnels puisque les paysans sénégalais, par exemple, ont coutume de semer le mil en sec, de façon à ce qu'il lève dès la première pluie, n'hésitant pas à courir le risque d'avoir à recommencer le semis une ou plusieurs fois en cas de sécheresse prolongée.

Les travaux de préparation du sol doivent être réalisés de telle manière qu'ils ne retardent pas de façon sensible la date de semis. Or, si l'on veut travailler le sol à un état d'humidité convenable, il faut attendre que les pluies l'aient humecté à une profondeur suffisante.

Dans la plupart des pays de l'Ouest-africain ceci ne pose pas trop de problèmes, car la saison des pluies est précédée d'une période « préparatoire » caractérisée par des pluies faibles et irrégulières, insuffisantes pour que le semis soit effectué dans de bonnes conditions et assuré de réussite, mais tout à fait suffisantes pour permettre d'effectuer les travaux de préparation du sol alors que celui-ci se trouve à un taux d'humidité convenable. Cela n'entraîne donc pas de véritable retard dans la date de semis.

Par contre, au Sénégal, en raison d'un certain retard de progression du « front intertropical »* vers le nord-ouest, cette période préparatoire est extrêmement réduite et la saison des pluies commence brutalement. C'est ainsi qu'à Bambey, par exemple, la durée moyenne de la période préparatoire n'exède pas vingt jours, alors qu'elle est de quarante à Djénné (Mali), de quarante-quatre à Maiduguri (Nigeria) et de cinquante et un à Fort-Lamy (Tchad), localités qui sont comparables par ailleurs à Bambey, tant en ce qui concerne la hauteur moyenne annuelle de pluies (600 mm à 700 mm), que la durée de la saison des pluies utiles (autour de 120 jours) (22).

Concrètement, cela signifie que, dans le nord et le centre du Sénégal, il est assez rare de pouvoir travailler le sol en humide avant la pluie de semis. Celle-ci se caractérise par une hauteur d'eau variant de 20 mm à 40 mm ; 20 mm si elle tombe tardivement en saison et que la probabilité d'être suivie, dans un délai assez court, par d'autres pluies est forte ; 40 mm dans le cas contraire (hivernage précoce). Si l'on profite de cette pluie pour travailler le sol, cela revient pratiquement à prendre le risque de repousser la date de semis d'un délai variable suivant les localités et les années, avec toutes les conséquences de baisse de rendement que cela peut entraîner. A moins de travailler sur de petites surfaces ou de disposer d'un équipement important (hors de portée du paysan moyen), il est en effet impossible de semer aussitôt après avoir labouré ni même le lendemain. Or, passé un délai de deux jours après la pluie, le semis n'est pas recommandé car, l'évaporation étant très forte et la capacité de rétention pour l'eau du sol, faible, l'humidité du sol, dans l'horizon superficiel, sera devenue insuffisante pour assurer une germination et une levée convenables. Il faut alors attendre la prochaine pluie importante qui peut n'intervenir que beaucoup plus tard.

On a cherché à apprécier le risque encouru par le paysan sénégalais lorsqu'il choisit cette solution. Pour ce faire, on a rassemblé quelques données extraites d'un recueil édité par l'Aménagement du Territoire (1) et concernant la pluviométrie de plusieurs stations du Sénégal. Y figure, notamment, la répartition, par fréquence, des délais séparant les deux premières pluies « utiles » de la saison, la deuxième pluie « utile » se définissant comme une pluie (ou un groupe de pluies rapprochées) supérieure à 20 mm.

* Surface des contacts des vents de mousson provenant de l'Atlantique et des vents secs du Nord-est, issus des anticyclones nord-africains.

TABLEAU IV-1
CARACTÉRISTIQUES PLUVIOMÉTRIQUES DE QUELQUES STATIONS DU SÉNÉGAL

Stations	Données pluviométriques	Valeurs moyennes de la saison des pluies			Répartition par fréquence des délais séparant les deux premières pluies importantes de la saison (sur dix cas)					
		Hauteur d'eau (mm)	Date début	Date fin	Durée	Moins de 5 j.	5 à 10 j.	10 à 15 j.	15 à 20 j.	Plus de 20 j.
Louga	481	14-7	28-9	76	0,8	2,6	2,2	2,2	2,2	
Linguère	512	5-7	9-10	97	1,6	3,4	1,8	1,6	1,6	
Diourbel	684	25-6	8-10	104	1,5	1,8	0,6	2,7	3,4	
Kaolack	792	19-6	18-10	121	1,5	2,1	1,2	1,8	3,4	
Kaffrine	762	19-6	11-10	115	0,6	2,3	3,2	2,3	1,6	
Tamba	964	9-6	14-10	127	2,2	4,7	2,2	0,6	0,3	
Kolda	1.290	8-6	21-10	135	0,6	3,4	4,1	1,6	0,6	
Ziguinchor	1.543	13-6	22-10	132	3,0	4,0	1,5	0,6	0,9	

A la lecture de ce tableau, il apparaît que le risque encouru par le paysan est d'autant plus grand que la pluviométrie est plus faible et la saison des pluies plus courte. C'est ainsi que l'agriculteur du Nord et du Centre Sénégal court 3 à 6 fois sur 10 le risque d'avoir à retarder son semis de plus de 15 jours, tandis que pour l'agriculteur du Sénégal oriental ou de la Casamance ce risque est seulement de 1 à 2 fois sur 10.

Le risque est encore aggravé pour le premier agriculteur du fait que la date de la première pluie utile est nettement plus tardive et la saison des pluies plus courte que dans les zones orientales et méridionales. Dans la pratique, il est tout à fait impossible à cet agriculteur d'effectuer ce labour de préparation sans risque de compromettre gravement sa récolte.

Il est assez difficile de vouloir tracer une frontière nette entre les zones où le labour de préparation est possible et celles où il est à proscrire en raison des aléas climatiques. Les chiffres du tableau ne fournissent à ce sujet qu'une indication générale ; il serait nécessaire, pour une meilleure appréciation des risques, de préciser davantage la définition des critères pluviométriques et de compléter l'analyse fréquentielle. Il convient également, pour chaque plante, de peser les avantages d'une préparation du sol et les inconvénients d'un semis retardé. Tel est, entre autres, l'objet d'une série d'essais mis en place au Sénégal et dont les résultats seront exposés plus loin. On se contentera d'admettre pour l'instant que, dans l'exemple sénégalais et d'après les chiffres du tableau, le travail de préparation en humide est possible dans toute la zone orientale et méridionale (stations de Tambacounda, Kolda, Ziguinchor) alors qu'il est déconseillé dans les zones Nord et Centre (stations de Louga, Linguère, Diourbel). Entre les deux s'étend une zone d'incertitude correspondant au Sine-Saloum et pour laquelle la réponse devra être recherchée dans l'examen détaillé des données expérimentales et de l'analyse fréquentielle des pluies.

Devant la sévérité des contraintes pesant sur la réalisation des travaux de préparation du sol en humide dans la région septentrionale de la zone, les agronomes ont été incités à porter leur attention sur les travaux de préparation du sol effectués en fin de saison sèche, avant que le sol ne soit humidifié par les pluies. Le sol se trouve alors dans un état de dessèchement extrême ; l'humidité dans les 20 cm superficiels correspond à des valeurs de pF comprises entre 4,8 et 6,5 ; il faut descendre jusqu'à environ 1 m de profondeur pour trouver une humidité supérieure à la valeur du pF 4,2. En même temps que le sol se dessèche, il devient plus cohérent. On a déjà présenté un tableau comparant les forces de résistance à la pénétration en saison sèche et en saison humide dans divers sols du Sénégal. Nous pensons utile de rappeler ici ces valeurs.

TABLEAU IV-2
FORCES DE RÉSISTANCE A LA PÉNÉTRATION EN SAISON SÈCHE ET EN SAISON HUMIDE

Sols et horizons	Argile + limon (%)	Humidité (%)			Saison sèche F en kg				Saison des pluies F en kg			
		Capacité de rétent.	pF 4,2	Fin de saison sèche	Nombre d'essais	Moyenne	Maximum	Minimum	Nombre d'essais	Moyenne	Maximum	Minimum
Dior 0-20	3-7	5-6	1,5-2,0	0,3-2,0	156	229	240	35	14	64	73	43
Bambey 20-40	5-9	8-9	2,2-2,7	0,8-1,2	156	363	939	42	14	96	107	81
Dek 0-20	8-12	8-9	3,4	0,7-1,5	64	540	1.070	170	6	78	89	66
Bambey 20-40	11-15	10-11	4-5	1,5-2,5	64	591	985	219	6	18	155	100
Beige 0-20	11-20	9-13	3-5	1-3	146	408	1.080	180	0	—	—	—
Séfa 20-40	15-25	12-16	6-9	4-6	146	802	3.458	375	—	—	—	—

Ces chiffres illustrent bien la très grande différence de compacité existant entre les sols à l'état humide et les mêmes sols à l'état sec. En considérant les sols à l'état humide comme sols meubles, les rapports de forces de résistance à la pénétration en saison humide sur les mêmes forces en saison sèche définiront les coefficients d'ameublissement de ces sols en saison sèche. Les valeurs moyennes de ce coefficient sont pour l'horizon 0 à 20 cm de 0,28 pour le sol « dior » et de 0,14 pour le sol « dek » ; pour l'horizon 20 à 40 cm, ces valeurs deviennent : 0,26 pour le sol « dior » et 0,21 pour le « dek ».

Ces différences observées dans les forces de résistance à la pénétration se retrouvent dans les efforts nécessités par la traction des instruments aratoires mesurés, au Sénégal, par LE MOIGNE (53).

C'est ainsi que le labour d'un sol « dior » humidifié au voisinage de la capacité de rétention à 15 cm de profondeur avec une charrue à versoir de 10 pouces travaillant sur 23 cm de large, demande une force de traction de 90 kg à 110 kg, soit un effort spécifique de 30 kg à 36 kg par décimètre carré de surface de sol travaillée ; sur le même sol, avec la même charrue mais en opérant en fin de saison sèche, soit à des taux d'humidité dans le sol inférieurs au point de flétrissement, un labour à 7,5 cm de profondeur sur 23 cm de large demande un effort de traction moyen de 140 kg, avec des pointes à 240 kg. Ces chiffres correspondent à un effort spécifique moyen de 82 kg par décimètre carré de surface de sol travaillée et un effort spécifique maximum de 145 kg/dm². En faisant le rapport des efforts spécifiques en saison humide et en saison sèche, on constate que les valeurs obtenues varient entre 0,21 et 0,44, chiffres qui ne sont pas très éloignés de ceux obtenus en faisant le rapport de forces de résistance à la pénétration en sol « dior » humide et sec (valeur moyenne : 0,28).

En sol « dek » humide (capacité de rétention), un labour à la charrue de 10 pouces sur une largeur de 24 cm à 25 cm et une profondeur de 15 cm à 16 cm demande une force de traction de 220 kg à 250 kg, soit un effort spécifique dépassant 50 kg/dm². Lorsque le même sol « dek » est pris en saison sèche, il est desséché et durci à un point tel qu'il est impossible de labourer, car la charrue ne terre pas.

En dehors même des labours, tous les travaux de préparation du sol effectués en sec nécessitent des efforts de traction très élevés. Des essais ont été faits avec des dents rigides équipées de pointes « Diamant Gouvy ». Ces pointes sont des petits socs de 85 mm de long sur 38 mm de large, présentant un angle d'entrure de 25,5°. Trois de ces dents étaient montées ensemble sur un même bâti. Pour travailler à une profondeur de 6 cm à 8 cm seulement en sol « dek », il a fallu développer une force de traction de 90 kg à 105 kg (soit 30 kg à 35 kg par pièce travaillante). Avec la même force de traction, on descend à 10 cm à 11 cm en sol « dior » et 4 cm à 5 cm seulement en sol « ban » (20 % d'argile environ).

Quel que soit le mode de préparation du sol effectué : labour ou pseudo-labour, le travail du sol en saison sèche pose donc avant tout le problème de la force de traction. C'est ici qu'interviennent pour le paysan de nouvelles contraintes, à caractère économique cette fois.

2) CONTRAINTES ECONOMIQUES

En culture motorisée, le problème des forces de traction ne se pose pas. Même les travaux les plus durs, comme par exemple le sous-solage à 1 m de profondeur en saison sèche, peuvent être aisément réalisés si l'on dispose de l'équipement nécessaire. Malheureusement, les conditions économiques qui prévalent actuellement pour les agriculteurs des zones tropicales sont très défavorables à la motorisation. Le matériel (y compris les pièces de rechange) étant entièrement importé coûte en effet plus cher à l'achat que dans les pays tempérés ; ce matériel travaille dans des conditions beaucoup plus difficiles et est beaucoup plus coûteux à entretenir. Par ailleurs, les agriculteurs de ces pays sont des agriculteurs pauvres : les productivités, qu'elles soient rapportées à la surface ou au nombre de personnes actives, sont incomparablement plus faibles qu'en pays tempérés ; elles pourraient difficilement supporter les frais élevés nécessités par l'achat et l'entretien des tracteurs. De surcroît, l'infrastructure technique (spécialistes qualifiés, réseau de stock de pièces de rechange et d'ateliers de réparation) indispensable à leur fonctionnement fait à peu près totalement défaut actuellement.

Plusieurs expériences tentées dans les années 1950, tant au Sénégal que dans d'autres pays d'Afrique tropicale sèche, ont montré que la motorisation intégrale, pour séduisante qu'elle fût sur le plan technique, ne pouvait, pour les raisons économiques énoncées plus haut, être généralisée au stade actuel et devait être réservée à des cas particuliers.

Certes, il est possible et souhaitable qu'à long terme la situation évolue. Cependant, à court terme et moyen terme, la seule possibilité offerte au paysan pour effectuer les travaux de préparation du sol est le recours à la traction animale (le travail manuel étant naturellement toujours possible mais de portée

limitée). L'IRAT ayant le souci de dégager des solutions techniques qui soient immédiatement applicables en milieu paysan a donc été amené à placer la plupart des études concernant le travail du sol dans la perspective de la culture attelée ; certaines expérimentations ayant un caractère plus théorique ont, au contraire, été réalisées au tracteur.

Comme on aura l'occasion de le préciser plus loin, les forces de tractions susceptibles d'être fournies par les attelages en zones tropicales sèches ne sont pas considérables. Ces forces sont, en effet, grossièrement proportionnelles aux poids des attelages et les animaux de ces régions ont, comparativement aux zones tempérées, des formats assez réduits, même lorsqu'ils sont convenablement nourris toute l'année (ce qui est l'exception).

La plupart des labours et pseudo-labours, même réalisés à des valeurs d'humidité optima du sol, requièrent habituellement des forces de traction qui ne peuvent être fournies que par des attelages bovins. Les attelages équins et asins ne conviennent bien que pour les travaux de semis et d'entretien.

C) LES LABOURS

Après avoir défini les différents types de labour et caractérisé leurs modes d'action sur le sol, on étudiera les effets directs et résiduels des labours sur le sol et les cultures, les diverses modalités de réalisation des labours et les interactions entre labours et engrais minéral.

1) LES DIVERS TYPES DE LABOURS ET LEURS MODES D'ACTION SUR LE SOL

a) DESCRIPTION

On distinguera deux grandes catégories de labours suivant qu'il y a ou non enfouissement de matière végétale : les labours ordinaires et les labours d'enfouissement.

Les labours ordinaires de préparation sont réalisés soit en début, soit en fin de saison des pluies sur un sol qui a été entièrement débarrassé de ses récoltes et sur lequel il ne reste pratiquement aucun résidu végétal.

Les cultures de zone tropicale sèche se prêtent en effet assez mal à l'enfouissement des pailles et résidus de récolte. Le principal obstacle réside dans la longueur du cycle cultural, très généralement supérieur au cycle pluviométrique : la récolte se fait en début de saison sèche (octobre à décembre) et le sol est alors trop desséché et trop cohérent pour qu'un labour puisse être effectué. La date de réalisation de ce labour pourrait être reportée au début de saison des pluies suivante, mais alors la décomposition de la matière végétale enfouie n'aurait pas le temps de se produire avant le semis de la culture suivante, ce qui pourrait faire craindre des accidents végétatifs en cours de culture ; la préparation du lit de semences se révélerait sans doute très difficile sur un terrain soufflé et irrégulier et entraînerait une levée défectueuse. Pour ces raisons, cette solution n'a jamais été mise en pratique jusqu'à présent.

On a, par contre, envisagé de transformer les pailles en compost ou en fumier et de les incorporer au sol au cours d'une saison des pluies ultérieure. La fabrication du compost et du fumier se heurte, en milieu paysan, à un certain nombre de difficultés pratiques, du fait des faibles possibilités de transport et d'arrosage ; ces problèmes ont été bien étudiés dans le cas du fumier, mais peu en ce qui concerne le compost. Il y a très peu d'expérimentations mettant en jeu cette forme de matière organique. Les expérimentations utilisant le fumier sont beaucoup plus nombreuses, mais l'action des labours d'enfouissement de fumier sur le sol et les cultures ne sera pas étudiée dans ce chapitre, et sera réservée à un chapitre ultérieur.

On ne considère en effet, ici, que les effets des labours sur les propriétés physiques des sols et les conséquences en découlant pour la croissance et la production des plantes. Or, dans le cas des labours d'enfouissement de fumier, s'il y a bien une action sur les propriétés physiques du sol au moins aussi marquée que pour les autres formes de labours, les incidences sur les propriétés chimiques et le bilan humique des sols ne peuvent plus, comme dans le cas d'enfouissement de matière végétale produite sur place, être considérées comme secondaires et les effets sur les rendements des cultures ne sauraient être attribués exclusivement ou essentiellement aux modifications des propriétés physiques des sols. Il y a notamment apport de fortes quantités d'azote organique provenant de sources extérieures au champ, ce qui entraîne une nette incidence sur le bilan humique du sol ; pour cette raison, l'étude des labours d'enfouissement de fumier sera réservée à un chapitre ultérieur, traitant de l'évolution de la matière organique des sols et de son influence sur la production agricole.

L'enfouissement direct des pailles est possible pour les céréales dont le cycle végétatif est plus court que le cycle pluviométrique : c'est le cas du maïs (90 jours à 110 jours) et du riz pluvial (105 jours à 115 jours) dans la zone méridionale, des mils hâtifs « souna » (90 jours à 100 jours) dans les zones Nord et Centre du Sénégal ; les sorghos hâtifs pourraient également rentrer dans cette catégorie, mais

ils sont peu répandus au Sénégal. Les céréales traditionnelles : mils et sorghos tardifs, ont par contre un cycle trop long (plus de 150 jours) pour que les pailles puissent être enfouies en fin de saison des pluies. Ces pailles restent sur le terrain pendant toute la saison sèche, souvent couchées sur le sol. Elles sont en partie utilisées pour la fabrication de clayonnages ; elles sont plus ou moins pâturées et piétinées par le bétail et mangées par les termites. En fin de saison sèche, les résidus sont brûlés sur place ou exportés du terrain. Le raccourcissement du cycle des céréales traditionnelles est actuellement l'un des objectifs prioritaires proposé aux sélectionneurs, dans le double but :

d'assurer à la plante une meilleure sécurité pour son alimentation hydrique pendant la période critique allant de la floraison à la maturation du grain ;

de permettre de réaliser dans de bonnes conditions les labours d'enfouissement de pailles.

Ce programme est en cours de réalisation au Sénégal.

Pour le cotonnier, le problème est le même que pour les céréales traditionnelles : la récolte se poursuivant jusqu'en décembre ou janvier, en milieu de saison sèche, il ne peut être question d'enfouir les tiges ; celles-ci sont habituellement brûlées sur place.

Quant aux légumineuses alimentaires : arachide et niébé, leur cycle végétatif est généralement égal ou inférieur à 120 jours. On pourrait donc envisager, au moins dans les zones méridionales à saison des pluies suffisamment étalées, d'enfouir les pailles. Mais celles-ci constituent un précieux aliment pour le bétail et sont toujours exportées en totalité (exception faite des produits de la défoliation qui restent sur le terrain). A condition de débarrasser rapidement le terrain de sa récolte, on peut alors effectuer, si le sol est encore suffisamment humide, un labour ordinaire de « fin de campagne » ou de « fin de cycle ».

Les difficultés rencontrées dans la réalisation des labours ordinaires de préparation et dans les opérations de restitution au sol de résidus de récolte sous forme de pailles, fumier et compost, expliquent que les agronomes œuvrant en zone tropicale sèche se soient intéressés de longue date aux possibilités offertes par la jachère « travaillée » et par l'engrais vert. Il semblait, en effet, particulièrement intéressant de profiter de la période de repos ou « sole de régénération » pour réaliser concurremment deux objectifs :

travailler le sol à une époque choisie par l'agriculteur, sans contraintes serrées de calendrier ;

enrichir le sol en matière organique et améliorer le bilan humique.

Les deux opérations paraissaient même, au départ, indissociables, car il régnait un climat généralisé de défiance vis-à-vis du travail du sol et des dégâts érosifs qu'il était susceptible d'entraîner et que seule, croyait-on, l'incorporation de matière végétale pouvait limiter.

Dès les années 1950, BOUFFIL, PÉLISSIER et TOURTE (11) mettaient en place, à Bambey, des expérimentations comparant divers modes de travail du sol sur la jachère en fin de saison des pluies et obtenaient des plus-values de rendement allant de 19 % à 33 % sur les cultures suivantes d'arachide et de mil ainsi que sur prairie naturelle. Ces résultats encourageants incitèrent les expérimentateurs à tenter peu après le remplacement de la jachère par une culture de mil hâtif susceptible de fournir un plus fort tonnage de matière verte. Là encore, l'opération se solda par une plus-value significative de 16 % sur la récolte d'arachide qui suivit, plus-value obtenue par rapport au précédent cultural témoin constitué d'une jachère brûlée avant la mise en culture (92).

A partir de là, de nombreuses expérimentations faisant intervenir la fumure verte ont été réalisées tant au Sénégal que dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest. Par fumure verte, nous entendons toute incorporation au sol de matière végétale jeune, non lignifiée, dont le taux d'humidité global au moment de l'enfouissement est supérieur à 60 % et généralement compris entre 70 % et 80 %. La jachère enfouie en fin de saison des pluies répond donc à cette définition, aussi bien que les autres cultures d'engrais vert proprement dites.

En raison de la trop faible durée de la saison des pluies, celles-ci ne peuvent être traitées en cultures dérobées, comme c'est le cas en pays tempérés. Il faut donc considérer ici l'engrais vert comme une « sole de régénération » ou « sole de repos du sol » remplaçant la jachère et interrompant la rotation culturale pendant une durée variable ne dépassant pas, habituellement, une année. Dans les expérimentations, on opposera au témoin constitué par la jachère naturelle, brûlée avant mise en culture et ne subissant ensuite aucun travail profond de préparation du sol, les traitements de fumure verte représentée par diverses modalités de jachère ou d'engrais vert, suivies d'un labour d'enfouissement en fin de saison des pluies. Les cultures d'engrais vert les plus couramment pratiquées sont celles de mils et sorghos semés à très forte densité et enfouis en vert, avant épiaison.

b) MODES D'ACTION SUR LE SOL

On distinguera les facteurs qui interviennent avant et après la réalisation du labour.

FACTEURS INTERVENANT AVANT LA RÉALISATION DU LABOUR

L'évolution du sol au cours de la saison culturale qui précède la réalisation du labour peut avoir une certaine incidence sur la qualité de ce dernier. Cette évolution est influencée principalement par :

- la couverture du sol par la végétation,
- l'action du système racinaire sur le sol.

Si l'on oppose, en effet, les deux cas extrêmes que constituent, d'une part, un sol maintenu nu pendant toute la saison des pluies, et, d'autre part, un sol ayant porté une culture céréalière de belle venue, on admettra que la qualité du labour sans enfouissement réalisé en fin de saison des pluies puisse être très différente dans les deux cas. Dans le premier cas, la structure du sol aura été en grande partie détruite pendant l'hivernage ; le labour aura un aspect émietté ; il « fondra » rapidement sous l'action des premières pluies. Dans le deuxième cas, au contraire, le sol aura conservé sa structure ; les racines constitueront une armature qui donnera aux mottes une certaine cohérence et permettront au labour de mieux résister à l'action des pluies. Ces observations ont été faites notamment par POULAIN (79) sur les essais « Structure-Humus » de Boulel et Tiénaba, au Sénégal.

Dans la pratique courante, les oppositions sont moins tranchées mais des différences peuvent néanmoins s'observer. Concernant la couverture du sol par la végétation, elles intéressent surtout les cultures d'engrais vert. Trop souvent, en effet, ces cultures sont négligées ou mal réalisées : semis trop tardifs, mode de semis inadéquat, éclaircissage insuffisant, sarclo-binages absents ou au contraire trop fréquents, absence ou insuffisance de fumure minérale (en particulier azotée) sont autant de raisons qui font que la végétation démarre mal ou reste souffreteuse. La protection du sol est alors mal assurée pendant toute la durée de la saison des pluies : voulant, en principe, « régénérer » le sol, on commence ainsi par le dégrader, ce qui est, pour le moins, paradoxal. Des expériences répétées prouvent, cependant, qu'en respectant certaines règles culturales simples, qui seront détaillées plus loin, il est parfaitement possible de réussir régulièrement des engrais verts à développement végétatif rapide et important. Il faut toutefois pour cela considérer l'engrais vert comme une technique de culture intensive et lui accorder les mêmes soins, au départ, qu'une culture de rapport. La méconnaissance de cette règle peut expliquer, pour une bonne part, les quelques échecs ou demi-réussites rencontrés dans l'application de cette technique.

L'action du système racinaire sur la structure du sol est souvent considérée comme essentielle par beaucoup d'auteurs et peut justifier, à elle seule, l'introduction dans la rotation des plantes améliorantes non directement productives, telles que prairies temporaires et engrais verts. C'est ainsi que, pour s'en tenir aux zones tropicales, BERGER et BERTRAND (2) accordent une importance primordiale au rôle joué par le système racinaire de *Dolichos lablab*, traité comme engrais vert, dans l'amélioration des sols et des rendements en culture irriguée à Madagascar.

Dans les sols à dominante sableuse de zone tropicale sèche, par contre, nous avons vu qu'en l'absence de travail du sol préalable l'action structurante des racines d'une végétation de type herbacé était faible et qu'il y avait peu de différences à cet égard entre les divers types de formations herbacées à base graminéenne : cultures céréalières, jachères ou engrais vert. Ces formations auront toutefois, par leurs racines, une action structurante plus marquée que les cultures de légumineuses : arachide et niébé, et de cotonnier. Il ne faut donc pas s'attendre à ce qu'il y ait une influence spécifique nette de la jachère ou de l'engrais vert à cet égard.

On notera seulement que, pour ces deux formations, l'influence du système racinaire est moins localisée et intéresse une profondeur généralement moins grande que dans le cas d'une culture céréalière.

Lorsqu'il y a eu un travail profond de préparation du sol avant l'installation de la culture céréalière, de la jachère ou de l'engrais vert, l'action racinaire sur le sol est alors, dans tous les cas, très nettement renforcée. Les différences entre les formations paraissent alors s'accroître au bénéfice de la jachère et des cultures à forte densité : mil engrais vert et riz pluvial.

FACTEURS INTERVENANT PENDANT ET APRÈS LA RÉALISATION DU LABOUR

Dans les deux types de labours, l'action prépondérante sera celle des facteurs mécaniques amenant un bouleversement complet de la structure du sol dans l'horizon travaillé. Cependant, pour les labours d'enfouissement, à cette action viendra s'ajouter l'action spécifique de la matière végétale enfouie qui influera sur diverses propriétés du sol : biologiques, chimiques et physiques. Seule l'influence sur les propriétés physiques sera étudiée dans ce chapitre, les autres n'étant prises en considération que dans la mesure où elles interfèrent avec la première.

Il faut signaler que, du point de vue pratique, les labours d'enfouissement sont plus difficiles à exécuter correctement que les labours ordinaires, en raison des quantités parfois importantes de matière végétale qui occasionnent des bourrages et des efforts de traction plus élevés. Ces difficultés sont encore accrues en expérimentation sur parcelles de superficie réduite ; c'est pourquoi dans beaucoup d'expérimentations anciennes, ou bien les labours d'enfouissement ont été mal exécutés, ou bien des procédés d'enfouissement inadéquats ont été utilisés (par exemple : creusement à la bêche d'une ou de plusieurs tranchées dans la longueur de la parcelle et placement de la matière végétale au fond de la tranchée). Ces fautes techniques rendent à peu près inexploitable les résultats de ces essais.

Sans entrer dans le détail des modalités pratiques de réalisation de ces labours, dont l'examen sera fait plus loin, il est bon de souligner ici que les difficultés évoquées plus haut ont en grande partie disparu et qu'il est maintenant possible, en expérimentation comme en grande culture, d'effectuer des labours d'enfouissement dans d'aussi bonnes conditions que les labours ordinaires.

2) LES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LE SOL ET SUR LES CULTURES

Par effets directs, on entend ceux qui interviennent au cours de la saison culturale qui suit la réalisation des labours. On distinguera ces effets des effets résiduels qui se manifesteront au cours des années ultérieures, tant qu'un autre travail du sol n'aura pas été réalisé.

a) LES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LE SOL

Ces effets se manifestent sur les caractéristiques suivantes :

- structure,
- régime hydrique,
- granulométrie,
- susceptibilité à l'érosion,
- matière organique et vie microbienne.

EFFETS SUR LA STRUCTURE.

La notion de structure, prise ici dans son sens le plus large d'arrangement des particules terreuses, est assez difficile à cerner. On peut l'appréhender de plusieurs manières :

- observations morphologiques,
- mesures de porosité,
- mesures d'ameublissement,
- mesures de stabilité structurale.

On examinera également l'évolution, au cours de la saison culturale, de la structure créée par le labour.

OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES

L'aspect du profil cultural après exécution du labour dépend beaucoup des conditions de sa réalisation, et en particulier de l'état d'humidité du sol au moment de son exécution. Cette dernière caractéristique influe notamment sur la taille et la forme des mottes, ainsi que sur la proportion de matériau à structure particulière ou grumeleuse dans lequel elles sont emballées. Il y a, de toute façon, un contraste très marqué avec l'horizon sous-jacent à structure continue, et à cohésion forte dès qu'il est un peu desséché. Le même contraste s'observe avec le sol témoin non travaillé dont seuls les quelques centimètres superficiels présentent un début de structure fragmentaire (grumeleuse ou nuciforme) et une cohésion d'ensemble un peu moins élevée.

Le fond du labour est toujours bien marqué mais on n'observe de semelle de labour, au sens strict du terme, c'est-à-dire un lissage provoqué par le passage du soc, que dans certaines conditions : teneur en argile à ce niveau supérieure à 10 % ou 15 % et d'humidité du sol très proche de la capacité de rétention.

Les labours d'enfouissement diffèrent dans leur aspect des labours sur sol nu, même lorsqu'il y a fauche préalable et que l'enfouissement ne concerne que le plateau de tallage et le système racinaire des graminées ou céréales ; ils sont généralement moins fondus et moins émiettés, mais, s'ils sont médiocrement réalisés, peuvent présenter un aspect plus soufflé et plus irrégulier.

Les examens de profils culturaux effectués au cours de la saison sèche qui suit la réalisation des labours d'enfouissement montrent que la matière végétale reste bien identifiable, mais qu'elle est en partie décomposée et détruite par la mésofaune (surtout termites). Ils révèlent, en outre, que le sol présente, au contact de cette matière végétale, un aspect très caractéristique ; il se développe une structure que DEFFONTAINES (27, 28) a qualifié de structure « mie de pain » ou « pierre ponce » ; il y a formation d'agrégats cohérents ; des zones entières ont un aspect caverneux, avec de nombreuses galeries.

Le développement de cette structure très typique paraît lié à l'activité de la mésofaune, et notamment des termites ; ceux-ci prolifèrent sur la matière végétale enfouie et, par le forage de galeries, complètent l'action du labour en divisant et aérant le sol. Le développement de cette structure et de cette macroporosité semble généralement d'autant plus marqué que la quantité de matière végétale enfouie est plus importante.

Ces observations ont pu être faites, en particulier, sur les essais « Structure-Humus » de Boulel et Tiénaba, conduits par POULAIN et MARA (81), essais qui permettent de comparer le labour sur sol nu et différents labours avec enfouissement : tiges et feuilles seules, racines et plateau de tallage seuls, plante entière, quantités variables de matière verte, jachères et engrais vert.

Lorsqu'il y a très peu de matière végétale incorporée (comme c'est le cas du traitement avec enfouissement du plateau de tallage et du système racinaire seuls), le développement de la structure « mie de pain », bien que plus faible que dans les autres traitements, n'est cependant pas nul, alors que tel est le cas pour le labour sur sol nu.

MESURES DE POROSITÉ

Pour apprécier quantitativement la modification de macrostructure induite par le labour, l'un des meilleurs moyens est de recourir à la mesure de densité apparente. C'est ce qu'ont fait BLONDEL, NICOU et THIROUIN sur de nombreux essais de travail du sol implantés au Sénégal.

Le tableau IV-3 regroupe un certain nombre de mesures de densité apparente effectuées en divers emplacements et sur différents sols du Sénégal, en comparant à un témoin non travaillé un sol labouré*. La méthode utilisée a été celle du cylindre (8 cm de hauteur et 250 ml de volume). Les mesures ont été effectuées dans l'horizon superficiel, soit de 5 cm à 15 cm, soit de 0 cm à 10 cm. Elles ont été faites sur sol humidifié par les premières pluies, de sorte que l'enfoncement ne présentait pas de difficultés même sur sol témoin et que, par ailleurs, l'irrégularité du foisonnement sur labour avait été quelque peu nivelée.

TABLEAU IV-3
VALEURS DE DENSITÉ APPARENTE DANS LES HORIZONS SUPERFICIELS
DE SOLS TÉMOINS ET DE SOLS LABOURÉS AU SÉNÉGAL

	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
	Année	Densité apparente		Comp. stat.	Source	Année	Densité apparente		Comp. stat.	Source
		Témoin	Labours				Témoin	Labours		
Louga Sol sableux dunaire	—	—	—	—	—	1967 1968	1,59 1,61	1,55 1,46	— ××	(69) (69)
Bambey Sol « dior » sableux	1964 1965 1967 1968	1,62 1,64 1,57 1,54	1,50 1,47 1,51 1,54	×× ×× ×× 0	(7) (8) (75) (67)	1968 1969	1,53 1,51	1,42 1,48	×× ×	(69) (69)
Bambey Sol « dek » sablo-argileux	1964	1,61	1,43	××	(7)	1968	1,59	1,42	××	(69)
Sinthiou-Malème Sol FTL sur grès sablo-argileux	1967 1968 1969	1,52 1,53 1,49	1,50 1,49 1,48	— — —	(75) (67) (67)	1968	1,57	1,48	××	(69)
Nioro-du-Rip Sol FTL sur grès sablo-argileux	1967 1968 1969	1,50 1,52 1,54	1,40 1,43 1,42	×× — —	(75) (67) (67)	—	—	—	—	—
Séfa Sol FTL sur grès sablo-argileux	—	—	—	—	—	1969	1,46	1,38	××	(74)

* Il s'agit en fait, la plupart du temps, d'une moyenne correspondant à plusieurs traitements de labours.

Comme on le voit, les labours, qu'il s'agisse de labours ordinaires ou de labours d'enfouissement, entraînent une baisse sensible de la densité apparente. Celle-ci est la plupart du temps statistiquement significative. Cependant, suivant les conditions de réalisation et les modalités de mesure de la densité, les différences entre témoins et sols labourés peuvent être plus ou moins accusées. Il ne paraît pas y avoir de différence systématique, à ce point de vue, entre labours ordinaires et labours d'enfouissement. On notera que les valeurs de densité apparente sur les sols témoins sont très élevées et toujours supérieures, sauf à Séfa, à 1,50. Les valeurs de porosité correspondantes sont de 38 % à 43 %, c'est-à-dire faibles et défavorables, d'après la plupart des auteurs, au développement du système racinaire. Le labour permet de gagner plusieurs points de porosité et de se placer dans une gamme allant de 42 % à 48 % de porosité.

On a vu précédemment l'importance de ce facteur pour le développement racinaire et les liaisons étroites qui existent entre porosité, système racinaire, croissance végétale et rendements des cultures. On peut donc penser que, dans l'action globale du labour sur le sol, cette modification de propriété jouera un rôle essentiel dans les augmentations de rendements observées.

En dehors de la porosité globale, CHARREAU et NICOU (74) ont mesuré les porosités mottières sur deux essais de labours de fin de saison des pluies, l'un sur sol nu à Séfa, l'autre avec enfouissement de matière verte à Bambey. Les prélèvements de mottes ont été effectués au cours de la saison sèche suivante, à deux profondeurs : 0 cm à 20 cm, correspondant à la profondeur du labour, et 20 cm à 40 cm, en dessous du fond du labour.

A Séfa, sur sol nu, il n'est apparu aucune différence significative de porosité mottière entre couche labourée et couche non travaillée. A Bambey, par contre, après enfouissement de matière verte, la porosité mottière était, en moyenne, dans le premier cas de 41,8 % contre 35,2 % dans le second. La différence, soit 6,6 %, était significative à P 0,05.

Ces mesures de porosité mottière sont trop peu nombreuses pour que les résultats obtenus soient généralisables. Elles confirment bien, cependant, les observations faites sur profils cultureux, montrant, après labour d'enfouissement, le développement d'une porosité biologique et d'une structure typique dite « mie de pain », phénomènes qui n'apparaissent pas dans le cas des labours ordinaires.

MESURES D'AMEUBLISSEMENT

Dans un sol non travaillé, il se produit, au cours de la saison sèche, un développement important de la cohésion, corrélatif à l'assèchement du profil par évaporation. Les mesures pénétrométriques faites à intervalles réguliers permettent de rendre compte de ce phénomène, qui a été décrit précédemment.

Lorsque le sol a été labouré en fin de saison des pluies, le développement de cohésion ne se produit pas dans la couche travaillée mais uniquement dans les horizons sous-jacents : les horizons superficiels restent meubles et cet ameublissement se conserve pendant toute la saison sèche. Des relevés de profils pénétrométriques effectués en fin de saison sèche mettent en évidence de très grandes différences de comportement entre sols labourés et sols témoins, et ceci alors que les profils hydriques sont très voisins dans les deux cas. Le graphique IV-1 fournit quelques exemples de ces phénomènes. Les relevés de profils pénétrométriques ont été faits à Bambey et Séfa et comparés à des témoins travaillés, des sols labourés, avec ou sans enfouissement de matière végétale. Dans tous les cas, la résistance à la pénétration est beaucoup plus forte sur le témoin. Les différences sont particulièrement accusées à Séfa, où le sol est plus argileux : à 20 cm de profondeur, le rapport des forces nécessaires à la pénétration peut être de 1 à 30 et même davantage entre témoin et sol labouré.

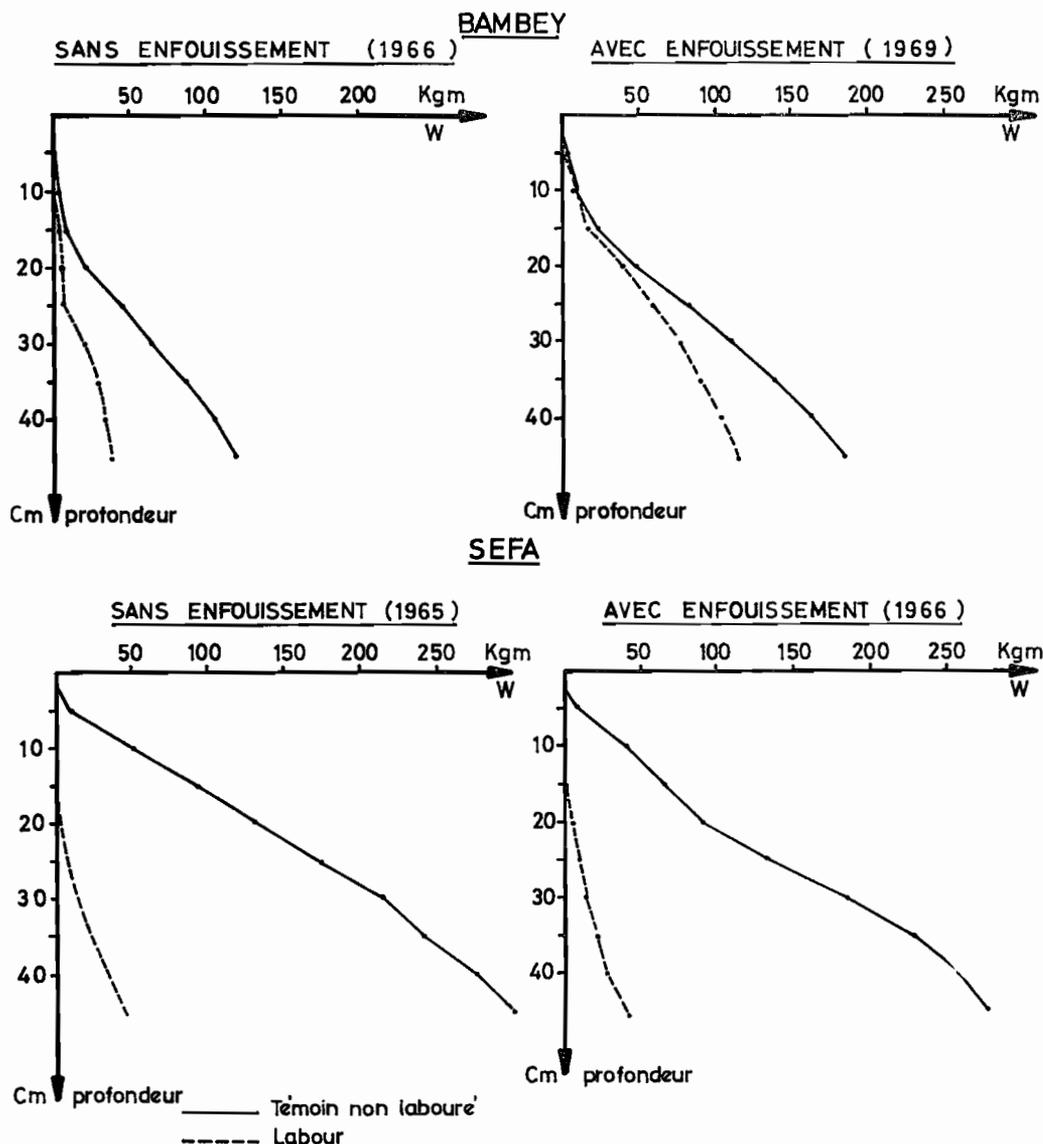
Ces différences s'atténuent considérablement lorsque le sol est humidifié par les premières pluies ; la cohésion du sol témoin diminue rapidement. Peu de mesures de pénétrométrie ont été faites sur sol humide. Cependant, toutes indiquent que le rapport des forces de pénétration entre sol témoin et sol labouré s'abaisse au niveau de 2 et tend même parfois vers 1. On serait tenté d'en déduire qu'à partir de ce moment le sol témoin n'offre guère davantage de résistance à la pénétration des racines que le sol labouré. Ce serait une conclusion erronée car, comme indiqué précédemment, les phénomènes ne se placent pas à la même échelle et les résistances mécaniques à la pénétration rencontrées par un barreau métallique de 2 cm de diamètre et des racines de quelques dixièmes de millimètre de diamètre peuvent difficilement se comparer. A défaut d'utiliser des méthodes plus fines de mesures de pénétrométrie, on peut considérer que les racines elles-mêmes constituent le meilleur pénétromètre. Or, comme

on le verra plus loin, ces racines réagissent très différemment sur sol labouré et sur sol témoin, alors même que les mesures de pénétrométrie à l'aide du barreau métallique n'indiquent que des différences très faibles entre les deux sols. Il faut donc considérer cette mesure comme un simple test global d'ameublissement et de structure, valable surtout lorsque le sol est desséché.

GRAPHIQUE N° IV - 1

Courbes de résistance à la pénétration en
saison sèche sur sols témoins et sur sols labourés

D'après R. NICOU



Les différences de résistance à la pénétration entre sol témoin et sol labouré, atténuées pendant la saison des pluies, réapparaissent au cours de la saison sèche suivante. Ce test peut alors servir à mesurer les effets résiduels du labour, et on verra plus loin tout le parti que l'on peut tirer de son utilisation dans ce domaine.

MESURES DE STABILITÉ STRUCTURALE

Comme indiqué précédemment, les mesures de stabilité structurale sont délicates à utiliser pour des sols à dominante sableuse. Il serait nécessaire de mettre au point une méthodologie adaptée au cas particulier de ces sols, ce qui, à notre connaissance, n'a pas encore été fait. Pour cette raison, les mesures de stabilité structurale ont été peu employées.

Il est peu probable que les labours sur sol nu aient une influence importante sur cette caractéristique du sol ; par contre, les labours d'enfouissement de matière végétale la modifient certainement : il serait intéressant de connaître l'importance et la durée de cette modification ; les études ultérieures devront répondre à ces questions.

Les quelques mesures de stabilité structurale qui ont été faites montrent qu'il y a peu d'agrégats formés mais que ceux-ci sont assez stables.

ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE AU COURS DE LA SAISON DES PLUIES

Si les petits agrégats paraissent assez stables, il n'en est pas de même de la macrostructure ou de l'assemblage global des éléments terreux créé par le labour. Il se produit sous l'effet des pluies un tassement du sol dont on peut suivre le développement dans le temps en effectuant périodiquement des mesures de densité apparente. Certains résultats de ce genre ont déjà été mentionnés ; ils seront repris et complétés ici.

NICOU (72) a comparé, en 1969, en deux situations, l'évolution de la densité apparente sur un sol nu non travaillé et sur un sol nu labouré. L'emploi d'un désherbant chimique total a permis d'éviter de perturber le sol sur les deux parcelles. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous ; chaque résultat est la moyenne de six mesures.

A Nioro-du-Rip, la densité du sol non travaillé est anormalement faible. On ne peut expliquer ce phénomène que par la présence d'une jachère de très longue durée à cet emplacement, jachère peut-être installée sur travail du sol ; l'enracinement des espèces pérennes a conservé et amélioré la porosité.

TABLEAU IV-4

ÉVOLUTION COMPARÉE DE LA DENSITÉ APPARENTE PENDANT LA SAISON DES PLUIES SUR SOL NU LABOURÉ OU NON (horizon 5 à 15 cm)

Localisation	Date	Pluviométrie cumulée (mm)	Densité apparente. Sol nu	
			Témoin sans travail	Après labour
Nioro-du-Rip	11-7	48,5	1,37	1,35
	29-7	259,7	1,41	1,36
	19-8	596,7	1,40	1,37
	9-9	799,0	1,46	1,40
Sinthiou-Malème	25-6	80,6	1,52	1,39
	8-7	132,6	1,51	1,40
	24-7	187,1	1,52	1,45
	8-8	384,3	1,54	1,45

La densité apparente augmente au cours de l'hivernage, mais l'évolution est plus lente sur la parcelle labourée. Après 800 mm de pluie au début du mois de septembre, l'effet du labour est encore très sensible.

A Sinthiou-Malème où le terrain était cultivé depuis longtemps, la densité apparente est élevée sur le témoin et elle varie peu au cours de l'hivernage. Sur parcelle labourée, elle augmente progressivement, mais après 384 mm de pluie au début du mois d'août, l'écart avec le témoin reste important.

Il y a donc bien, dans les deux cas, tassement du sol et augmentation de la densité apparente sur sol labouré sous le seul effet des pluies. Mais le processus est à la fois moins rapide et moins important que d'autres mesures, faites sur sol cultivé, auraient pu le faire supposer.

On a déjà cité, en effet, un exemple très démonstratif d'évolution comparée, sous culture d'arachide, de la densité apparente sur témoin non travaillé et sur sol labouré (en sec).

Sur cet exemple, un mois et demi après le début des pluies, soit 180 mm de pluie cumulée, la densité apparente sur labour, dont la valeur initiale était de 1,47, était parvenue au niveau du témoin, soit 1,64. La densité apparente sur le témoin non travaillé n'avait pas varié pendant cette période.

L'évolution sur sol labouré a été beaucoup plus rapide et plus importante que dans le cas du sol nu précédemment cité. Les mesures ont été faites à Bambey, sur sol particulièrement sableux, ce qui peut expliquer la fragilité de la macrostructure créée par le labour et la rapidité d'évolution de la densité apparente.

De nombreuses autres mesures d'évolution de la densité apparente au cours de l'hivernage ont été faites depuis ; elles intéressent diverses conditions de sols, de cultures, de modalités de labours et de situations géographiques au Sénégal. Les prélèvements ont été faits habituellement en début et en milieu de saison des pluies. Bon nombre de ces résultats ont été rassemblés dans le tableau IV-80 figurant en annexe.

On constate que l'évolution est assez variable suivant les lieux, les sols, les années et les types de labour. Il est difficile, d'après ces seuls résultats, de tirer une loi générale de variation, chaque cas devant être examiné en particulier. On peut cependant noter que :

d'une manière générale, la densité apparente sur le témoin varie peu mais, quand elle varie, c'est assez souvent dans le sens d'une baisse ;

sur les sols labourés, l'augmentation de la densité apparente au cours des deux premiers mois de l'hivernage est, dans l'ensemble, plus marquée que dans le cas des sols nus, sans végétation.

Ces deux faits paraissent pouvoir s'expliquer par une même cause : l'intervention des binages mécaniques. Ceux-ci, réalisés seulement sur les sols cultivés, sont en effet susceptibles de modifier l'évolution de la densité apparente : abaissement momentané et localisé peu après le binage ; augmentation plus importante ensuite.

Dans le cas d'un sol nu labouré et traité aux herbicides, les alternances de pluies et de sécheresse favorisent la formation d'une croûte de battance durcie, protégeant la structure des horizons sous-jacents. Cette croûte est détruite par les binages mécaniques ; le piétinement des hommes et des animaux, à l'occasion des opérations de binage, favorise en outre le tassement du sol.

Pour vérifier cette hypothèse, des expériences ultérieures étudieront, en comparaison, l'évolution de la densité apparente sur un sol nu labouré traité aux herbicides, avec ou sans intervention, au cours de l'hivernage, de binages mécaniques.

EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LE RÉGIME HYDRIQUE DES SOLS

Une des hypothèses les plus fréquemment avancées pour expliquer l'action du labour sur la croissance végétale concerne l'amélioration du régime hydrique des sols et de l'alimentation en eau des cultures par le travail du sol.

Il est, de fait, d'observation courante dans les pays de zone tropicale sèche que les cultures installées sur sol labouré résistent généralement beaucoup mieux à une période de sécheresse que les mêmes cultures sur sol non travaillé. Dans certains cas, cependant, lorsque la période de sécheresse se prolonge par trop, le plus grand développement végétatif des cultures installées sur labours peut, à la longue, en raison de besoins en eau accrus, jouer en leur défaveur. Mais ceci est assez exceptionnel et, en règle générale, l'action du labour est très bénéfique à ce point de vue.

Cette amélioration de l'alimentation hydrique des plantes consécutive au labour fait intervenir trois mécanismes possibles :

réduction de l'évaporation et conservation du stock d'eau du sol,
amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol,
amélioration de l'utilisation, par la plante, des réserves hydriques du sol.

RÉDUCTION DE L'ÉVAPORATION ET CONSERVATION DU STOCK D'EAU DU SOL PENDANT LA SAISON SÈCHE

Ce mécanisme ne joue que dans le cas des labours réalisés en fin de saison des pluies.

Dès 1959, GAUDEFROY-DEMOMBYNES et CHARREAU (43) avaient mis en évidence une réduction de l'évaporation et un maintien du stock d'eau du sol par des travaux du sol réalisés en fin de saison des pluies. Il ne s'agissait pas, en l'occurrence, d'un véritable labour mais d'une incorporation superficielle de paille de jachère, « un mulching », opération réalisée au « rotavator ». Ce mulch artificiel

jouant le rôle d'écran avait réduit l'évaporation plus tôt et dans des proportions plus importantes que le mulch naturel créé par dessèchement poussé des horizons superficiels d'un sol non travaillé. Un mois après l'arrêt des pluies, environ, les profils hydriques se sont trouvés, dans les deux cas, figés dans un état de pseudo-équilibre qui a duré jusqu'à la fin de la saison sèche. Des relevés de profils hydriques effectués à ce moment jusqu'à 1 m de profondeur montrèrent que le gain d'humidité dû au travail du sol variait entre 15 mm et 55 mm suivant la nature texturale du sol, soit entre le quart et la moitié de la réserve d'eau utile du sol sur cette profondeur, ce qui est loin d'être négligeable.

Des observations comparables ont été faites après labours réalisés en fin de saison des pluies, mais les relevés de profils hydriques ont rarement dépassé 40 cm de profondeur, ce qui ne permet pas d'évaluer la conservation du stock d'eau en dessous de cette limite. Les humidités à la base de la couche labourée et en dessous du fond de labour, soit entre 20 cm et 40 cm de profondeur, sont assez souvent supérieures à celles qui sont observées aux mêmes niveaux dans les témoins non travaillés. Les différences sont de l'ordre de 2 à 3 points d'humidité dans les sols « dior » de Bambey et 4 à 5 points dans les sols beiges de Séfa (69,19). Le phénomène a été observé derrière tous les types de labours : avec ou sans enfouissement, mais il est loin d'être général. Il semble, en effet, que plusieurs conditions doivent être remplies pour conserver un stock d'eau appréciable dans le sol pendant la saison sèche :

la date d'exécution du labour ne doit être ni trop précoce, de façon à ce que le mulch ne soit pas détruit par les pluies ultérieures, ni trop tardive, pour que les réserves hydriques du sol soient encore suffisamment importantes ;

la modalité de réalisation doit être telle que le mulch superficiel constitue un écran efficace contre l'évaporation ; ceci est le cas lorsque le labour est bien fermé et la terre assez émiettée en surface.

Ce sont les labours d'enfouissement de pailles (mil hâtif ou maïs) qui paraissent remplir le plus souvent ces conditions.

La question est maintenant de savoir quelle est l'incidence agronomique réelle de cette amélioration de la conservation du stock d'eau dans le sol pendant la saison sèche. On peut supposer que cette réserve supplémentaire pourra être utilisée avec profit par la plantule en cas de période de sécheresse, après le semis. Toutefois, aucune observation précise n'a pu être faite à ce sujet.

Il ne semble pas qu'on puisse accorder, actuellement, une grande importance agronomique à ce processus : il n'interviendrait que de façon secondaire, dans un nombre de cas assez restreint.

AMÉLIORATION DE L'INFILTRATION DE L'EAU DANS LE SOL

Il s'agit là d'un rôle habituellement reconnu au labour. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour le mettre en évidence et en mesurer l'importance ; les plus courantes sont les mesures comparatives effectuées sur témoin non travaillé et sur sol labouré de :

perméabilité *in situ*,
relevés de profils hydriques,
ruissellement.

La première méthode a été utilisée au Sénégal en faisant appel à la procédure de MUNTZ (60). Elle est assez critiquable en elle-même, en raison de son caractère assez conventionnel et n'a pas donné de résultats exploitables.

La seconde a été mise en œuvre à Bambey, surtout pour suivre la progression du front d'humidité en début de saison des pluies sur sols très sableux. Cette progression est beaucoup plus régulière sur les témoins non travaillés où le front est presque horizontal, tandis que, sur sol labouré, il dessine de nombreuses sinuosités. La position du front est souvent légèrement plus profonde dans le cas des sols labourés, mais ceci n'implique pas forcément une infiltration plus importante : cette différence peut, dans bien des cas, s'expliquer par le foisonnement et la diminution de la densité apparente entraînés par le labour. Cette observation a été corroborée par des mesures d'humidité volumiques.

En Haute-Volta, dans un essai de façons culturales mis en place à Saria (34), il est constaté que les parcelles labourées ont un profil hydrique beaucoup plus fluctuant et variable que les parcelles non labourées : elles sont généralement plus humides en profondeur et plus sèches en surface. Les réalisateurs de l'essai en concluent que le labour semble avoir une influence bénéfique sur le drainage.

C'est finalement la troisième méthode, fondée sur la mesure du ruissellement, qui a le mieux mis en évidence l'amélioration de l'infiltration sur les sols labourés. Cette méthode a été utilisée en particulier à Séfa, en 1968, dans une expérience en case d'érosion, réalisée par CHARREAU et SÉCUIY (20).

Dans cette expérience, on comparait le ruissellement sur deux sols nus : l'un non travaillé, l'autre labouré (labour d'enfouissement de pailles de maïs). Les sols étaient traités aux désherbants totaux et n'ont subi aucune intervention au cours de la saison des pluies. Cette expérience a été évoquée plus haut et les courbes de ruissellement sur les deux parcelles ont été présentées (graphique III-3 a) . Pour une pluviométrie de 729 mm en 1968, 578 mm se sont infiltrés sur sol labouré contre 459 mm sur le témoin non travaillé, soit une amélioration globale de l'infiltration de 26 %.

Le labour a également influencé le nombre de ruissellements et leur répartition par classes de hauteur d'eau : 27 ruissellements sur sol non travaillé dont 8 supérieurs à 10 mm, 25 ruissellements sur sol nu labouré dont 2 supérieurs à 10 mm. La linéarité des courbes de ruissellement cumulé en fonction de la pluviométrie cumulée et l'écart entre les deux courbes, qui va en s'accroissant (graphique III-3 a), montrent que l'amélioration de l'infiltration s'est maintenue pendant toute la saison des pluies.

Des examens de profils culturaux réalisés à la fin de la saison des pluies permirent d'ailleurs d'observer que, sous une mince couche superficielle à structure particulière, la macrostructure créée par le labour s'était conservée intacte en profondeur. Il est probable que, sans enfouissement de matière végétale, l'action du labour ne se serait pas maintenue de façon aussi nette.

Cette amélioration de l'infiltration observée à Séfa sur des sols en pente faible (2 %) peut ne pas avoir la même importance dans d'autres situations pédoclimatiques : topographie plane, pluies moins fortes, sol plus perméable. Ces conditions sont à peu près celles de Bambey où il est rare, sur ce relief dunaire aplani, d'observer des ruissellements importants, sinon très localisés. On ne saurait donc faire de cette amélioration de l'infiltration sur le labour une règle générale en zone tropicale sèche ouest-africaine. Cette zone comporte en effet d'importantes superficies à relief peu accentué, et à sols sableux très perméables ; les phénomènes de ruissellement y sont relativement rares ; ils sont faibles et localisés et le problème de l'infiltration de l'eau dans le sol ne s'y pose pas de façon aiguë.

Pour les autres régions de la zone où les phénomènes de ruissellement peuvent prendre une certaine ampleur, il importe d'apprécier l'incidence agronomique d'une amélioration de l'infiltration de l'eau dans les sols. Elle ne se traduit pas forcément, en effet, par des effets bénéfiques pour la plante : ceux-ci n'interviennent que lorsque les réserves hydriques du sol sont insuffisantes et l'alimentation en eau déficitaire. Pour reprendre l'exemple de Séfa, tel n'est pas le cas pendant la majeure partie de l'hivernage, où la pluviométrie est largement supérieure à l'évapotranspiration potentielle et l'humidité du sol toujours voisine de la capacité de rétention. Dans ces conditions, le surplus d'eau qui s'infiltré dans le sol, grâce au labour, n'est pas réellement utile à la plante mais contribue à augmenter le lessivage vertical. Ceci est cependant un moindre mal et doit être préféré à l'augmentation du ruissellement, susceptible, sur pentes longues, d'aggraver dangereusement l'érosion.

Il y a cependant des périodes de sécheresse et de déficit des réserves hydriques du sol. C'est à ce moment qu'une amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol peut être très bénéfique pour la plante. Ces périodes peuvent se situer au milieu de la saison des pluies, mais elles interviennent le plus souvent en début de saison des pluies, lorsque le régime des pluies n'est pas encore bien établi, et en fin de saison, si celle-ci se termine prématurément ou si le cycle végétatif de la plante est trop long par rapport au cycle des pluies.

Pour l'infiltration des premières pluies, les labours de fin de cycle présentent un intérêt particulier par rapport aux labours de préparation en début de saison. A défaut de labour, on peut aussi favoriser cette infiltration en effectuant un pseudo-labour aux dents, en sec : cette technique, recommandée par la CFDT au Mali, permet d'effectuer ensuite, sur sol humide, le labour de préparation à plus grande profondeur.

Cependant, là encore, si l'on se fonde sur les résultats de l'expérimentation en cas d'érosion menée pendant quinze ans à Séfa, il n'y a pas lieu, semble-t-il, de s'exagérer l'importance du ruissellement pour les toutes premières pluies : sauf cas de tornades violentes, de pentes très fortes ou de sols très peu perméables, celles-ci s'infiltrèrent en totalité dans le sol sec. Il faut attendre que le sol soit suffisamment humidifié et sa structure superficielle suffisamment modifiée par les premières pluies, pour que le ruissellement apparaisse. Il suffit habituellement, pour cela, d'une hauteur d'eau de 50 mm à 100 mm de pluies cumulées.

L'amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol par le labour ne paraît donc jouer, dans la pratique agronomique, un rôle aussi général et aussi important qu'on aurait pu initialement le penser, bien que ce rôle puisse être décisif dans certaines conditions particulières.

Reste à examiner le dernier mécanisme pouvant expliquer la meilleure résistance des plantes à la sécheresse après labours, même lorsque les problèmes de ruissellement ne se posent pas.

AMÉLIORATION DE L'UTILISATION, PAR LA PLANTE, DES RÉSERVES HYDRIQUES DU SOL.

On a examiné plus haut l'influence que pouvaient exercer les propriétés physiques des sols et, en particulier, la porosité, sur le développement des systèmes racinaires des végétaux. Or, ainsi que l'ont montré un certain nombre d'auteurs dont MAERTENS (56), la répartition de l'enracinement dans le profil a des répercussions très nettes sur l'utilisation des réserves hydriques du sol, et notamment les couches profondes du sol.

On peut donc s'attendre à ce que le labour, par les modifications de porosité et de structure qu'il entraîne pour le sol, et l'amélioration consécutive de l'enracinement pour la plante, ait un rôle important dans ce domaine. Ceci pourrait suffire à expliquer, en dehors de toutes autres considérations, que lors de périodes de déficit en eau, l'alimentation hydrique des plantes soit mieux assurée sur sol labouré que sur témoin non travaillé.

Divers résultats obtenus au Sénégal viennent à l'appui de cette hypothèse.

En 1968, SÉCUIY (90) mit en place à Séfa plusieurs essais sur différents types de sols dans le but d'étudier comparativement le comportement du riz en présence ou absence de labour de préparation.

Au mois d'août intervint une sécheresse d'une sévérité exceptionnelle pour ce lieu et cette époque de l'année. Des profils hydriques furent relevés à la fin de cette période de sécheresse sur sol beige et sur sol rouge de transition. Sur les graphiques IV-2 A et IV-2 B, on peut comparer les profils hydriques des témoins (grattage) et des sols labourés. Il apparaît que, dans les deux situations, le sol sous labour est nettement plus asséché que sous grattage superficiel (témoin), et ceci jusqu'à plus d'un mètre de profondeur. Les différences de stock d'eau entre les deux traitements se situent, pour cette profondeur, entre 30 mm et 40 mm (tableau IV-5).

TABLEAU IV-5
COMPARAISON DES STOCKS D'EAU DU SOL SOUS LABOUR ET SOUS GRATTAGE A SÉFA, EN 1968
(en mm)

Profondeur (cm)	Sol beige			Sol rouge		
	Labour	Grattage	Différence	Labour	Grattage	Différence
0-30	9,0	15,5	6,5	13,0	17,0	4,0
30-50	21,7	32,0	10,3	31,5	37,0	5,5
50-100	88,5	103,7	15,2	100,3	127,1	26,8
0-100	119,2	151,2	32,0	144,8	181,1	36,3

Dans ces essais, la profondeur du labour était de 30 cm et la majeure partie de la masse racinaire se trouvait dans la couche 0 à 30 cm. Cependant, l'exploitation plus poussée des réserves hydriques ne concerne pas la seule couche labourée : bien au contraire, l'opposition entre grattage et labour tient surtout à la différence d'exploitation, par le riz, des réserves hydriques des horizons profonds du sol où l'on trouve pourtant fort peu de racines. Tout se passe comme si le système racinaire du riz installé sur labour « pompait » plus efficacement l'humidité des couches inférieures.

Cette fourniture d'eau supplémentaire a permis au riz installé sur labour de résister beaucoup mieux à la sécheresse que le riz sur sol non travaillé. Ces résultats ont été confirmés l'année suivante par NICOU, SÉCUIY et HADDAD (73) sur riz pluvial à Séfa.

Un essai avait été mis en place pour étudier comparativement l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial sur sol labouré et sur témoin non travaillé (grattage superficiel). Des relevés de profils hydriques ont été effectués fin juillet alors que le riz se trouvait au stade montaison. On a fait la moyenne des humidités pour trois variétés, la quatrième ayant un comportement un peu particulier. Ces profils moyens ont été figurés sur le graphique IV-2 C. On constate que, comme en 1968, l'exploitation des réserves hydriques est globalement plus poussée sous labour. Mais un fait nouveau intervient : l'assèchement ne se fait pas aux mêmes niveaux. Sur grattage, les racines exploitent préférentiellement les couches superficielles (0 à 40 cm), alors que sur labour, ce sont les couches profondes, et en particulier le niveau 40 à 80 cm, qui sont exploitées.

Des calculs de bilan ont été faits et figurent dans le tableau IV-6.

TABLEAU IV-6

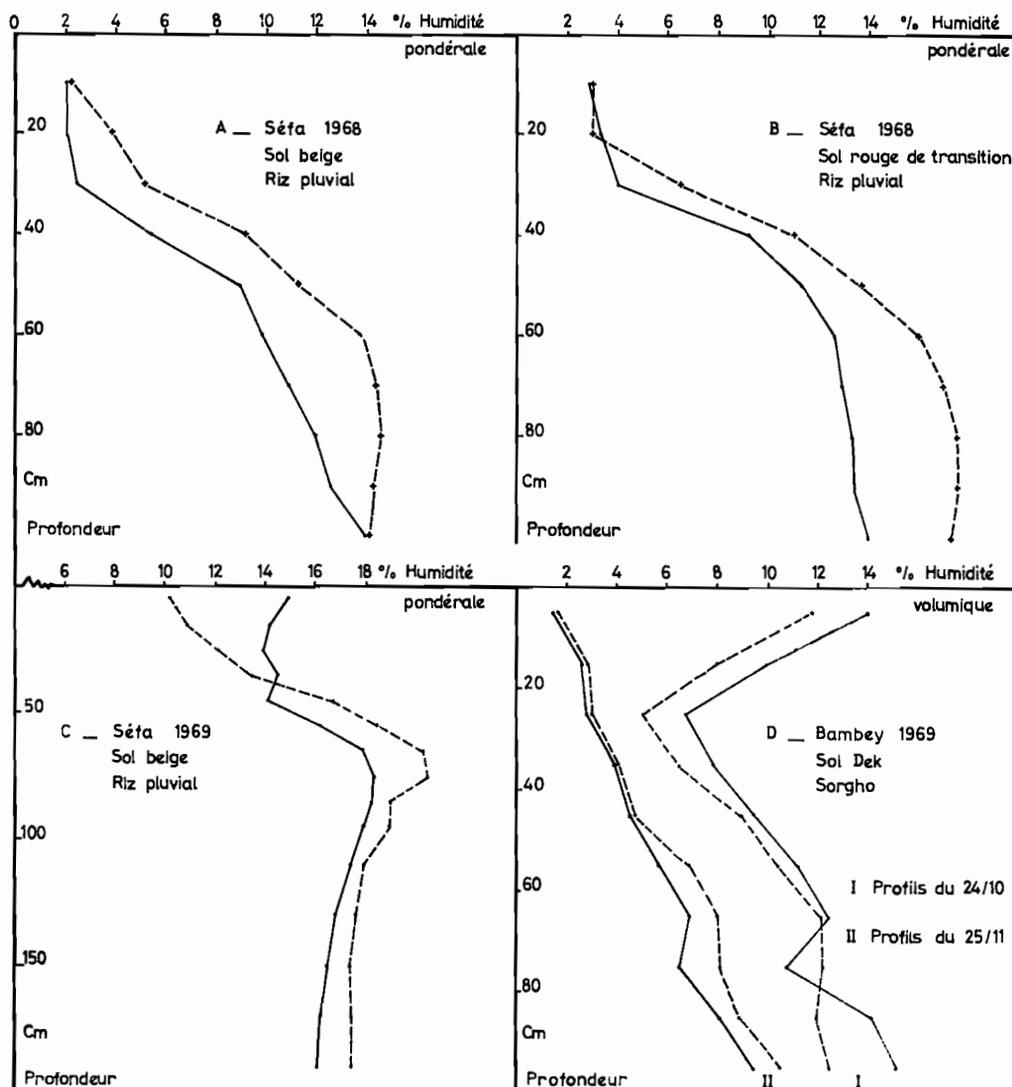
COMPARAISON DES STOCKS D'EAU DU SOL SOUS LABOUR ET SOUS GRATTAGE A SÉFA, EN 1969
(en mm)

Profondeur (cm)	Grattage	Labour	Différence
0-40	69,5	86,5	+ 17,0
40-80	121,3	106,4	- 14,9
80-200	340,6	323,6	- 17,0
0-200	531,4	516,5	- 14,9

Les différences de bilan sont respectivement de 17 mm pour les couches supérieures (0 à 40 cm) et 32 mm pour les couches profondes (40 à 200 cm). Le phénomène ne semble pas dû au hasard car, pour les trois variétés, les courbes de profils hydriques accusent les mêmes différences entre les traitements labour et grattage.

Graph: IV-2 _Comparaison des profils hydriques sous labour (—)
et sous grattage superficiel (----) après périodes de sécheresse

D'après SEGUY (1970): A et B; NICOU, SEGUY, HADDAD (1970): C; CHOPART (1970): D.



Des résultats analogues ont été trouvés par CHOPART (21) à Bambey, sur sorgho. Il s'agissait d'étudier l'enracinement du sorgho en deux conditions de fertilité :

- un témoin non travaillé et non fumé,
- un traitement avec labour de préparation et fumure minérale forte.

On ne peut donc pas dissocier ici l'action du travail du sol et celle de la fumure ; cependant, par analogie avec les résultats des études précédentes, on peut estimer que l'essentiel des différences observées dans l'exploitation des réserves hydriques du sol est imputable au labour.

Des relevés de profils hydriques ont été effectués périodiquement sur cet essai. Il est intéressant de comparer sur le graphique IV-2 D ceux qui ont été faits à la récolte du sorgho (24 octobre) et ceux qui ont été réalisés un mois plus tard (25 novembre). Entre les deux dates, il n'est pas tombé de pluie et les différences de stocks d'eau du sol sont dues uniquement à l'évapotranspiration. Bien que la récolte des grains soit effectuée, les feuilles restent vertes et la plante est physiologiquement encore active. On constate que les humidités qui étaient plus élevées sous labours au moment de la récolte (en raison d'une nature de sol un peu plus argileuse et d'une capacité de rétention un peu plus forte) deviennent, un mois plus tard, plus faibles que sous grattage. Les bilans ont été calculés et fournissent les résultats suivants (tableau IV-7) :

TABLEAU IV-7
EVOLUTION COMPARÉE DES STOCKS D'EAU DU SOL SOUS SORGHO
LABOURÉ OU NON, A BAMBEY, EN 1969
(en mm)

Profondeur (cm)	Labour (+ fumure)			Témoin			Différence d'évapotranspiration entre labour et témoin
	Profil du 24-10	Profil du 25-11	Différence	Profil du 24-10	Profil du 25-11	Différence	
0-50	71,5	22,8	48,7	60,0	23,4	36,6	12,1
50-100	95,4	54,7	40,7	89,0	64,4	24,6	15,8
0-100	166,9	77,5	89,4	149,0	87,8	61,2	27,9

Le sorgho installé sur labour (et ayant reçu une fumure minérale) a donc extrait, en un mois, d'une couche de sol de un mètre d'épaisseur, 28 mm d'eau de plus que le témoin.

Tous ces exemples confirment que le labour peut jouer, indirectement, un rôle important dans l'alimentation hydrique des plantes, par le biais d'un meilleur enracinement et d'une possibilité d'exploitation plus poussée des réserves hydriques des couches profondes du sol.

Ce mécanisme d'intervention sur le régime hydrique nous paraît à la fois plus important et plus général que les deux autres précédemment cités. C'est à lui, dans la majorité des cas, qu'on doit faire appel pour expliquer la meilleure résistance à la sécheresse des plantes installées sur labour.

EFFETS DES LABOURS SUR LA COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE ET CHIMIQUE DE LA COUCHE TRAVAILLÉE

Le labour, en remontant les éléments terreux des horizons plus profonds du sol et en les mélangeant à ceux des horizons superficiels, est susceptible de modifier la composition granulométrique de ceux-ci. Encore faut-il que la texture des horizons profonds soit différente de celle des horizons superficiels. Tel n'est pas le cas pour les sols développés sur matériau sableux d'origine éolienne, comme ceux de Bambey, où l'enrichissement en argile avec la profondeur est faible et très progressif. Par contre, les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols ferrallitiques présentent habituellement un gradient d'augmentation de la teneur en éléments fins bien marqué dès la surface. A 30 cm de profondeur, la teneur en argile peut être double de ce qu'elle est à 5 cm. Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, d'observer des modifications de la composition granulométrique dans l'horizon superficiel après labour. C'est ainsi que COINTEPAS (23) note qu'à Séfa, dans une jachère de trois ans, un labour réalisé à la charrue à disques remonte la teneur en argile de 8,9 % à 12 % en surface. Pour des sols dont les horizons superficiels sont très sableux, cette augmentation relative de la teneur en éléments fins peut être regardée comme bénéfique.

Cependant, en sens inverse, il est souvent fait état du danger de remonter, par le labour, des couches « stériles » à la surface du sol. Il n'y a pas lieu, à notre avis, de surestimer ce danger pour les sols de la zone étudiée. Il convient à ce sujet de tenir compte de la répartition dans le profil de la matière organique et des éléments minéraux. Les sols du type « dior » de Bambey sont uniformément pauvres en ces éléments et l'enrichissement en surface est peu marqué ; le taux de décroissance de la matière organique avec la profondeur est très progressif. Le danger d'appauvrissement de la couche

arable par remontée de couches « stériles » sous-jacentes est donc à peu près inexistant. Par contre, sur sols ferrugineux tropicaux lessivés ou sols ferrallitiques, comme ceux de Séfa, il y a un contraste marqué entre l'horizon superficiel (0 à 10 cm) et les horizons sous-jacents, tant en ce qui concerne la teneur en matière organique que la richesse minérale. Cet horizon est en effet enrichi, aux dépens des horizons profonds, par les chutes annuelles de feuilles et de débris végétaux.

Comme l'indiquent CHARREAU et FAUCK (17), le défrichement et la mise en culture de ces sols se traduit à la fois par un appauvrissement global en matière organique et en éléments minéraux et par une nouvelle répartition de ces éléments dans les trente premiers centimètres du profil : uniformisation des teneurs et diminution du contraste entre horizon superficiel (0 à 10 cm) et horizons sous-jacents (10 à 30 cm). Il n'est pas douteux que les travaux culturaux, et en particulier le labour, ont joué un rôle important dans ce phénomène.

A ce sujet, COINTEPAS (23), dans l'expérience déjà mentionnée, observe après réalisation du labour et concurrentement à la remontée du taux d'argile en surface, un abaissement de la teneur en carbone de 0,76 % à 0,65 %.

L'homogénéisation de la couche arable n'est pas, en soi, une mauvaise chose, bien au contraire. Il est toutefois nettement préférable que ce processus soit progressif. C'est pourquoi il ne paraît pas recommandé, sur de tels sols, de labourer à grande profondeur aussitôt après défrichement : il vaut mieux augmenter progressivement, année par année, la profondeur du labour.

Le rôle de l'homogénéisation de la couche superficielle par le labour intervient également pour l'incorporation au sol d'engrais minéraux épandus en surface. Ce rôle peut être particulièrement intéressant, comme on le verra, pour des éléments comme le phosphore migrant difficilement dans le sol : celui-ci se trouve ainsi placé, grâce au labour, dans une position favorable à son absorption par le système racinaire.

Le labour est, par ailleurs, souvent accusé de favoriser l'érosion et l'appauvrissement en éléments fins de la couche arable du sol.

Dans le but de mesurer cet éventuel appauvrissement, des analyses granulométriques sont effectuées périodiquement au Sénégal sur des terrains d'essais où peuvent être comparés des traitements avec et sans labour. Il y a une dizaine d'essais qui sont ainsi suivis, ces essais étant répartis dans tout le Sénégal.

Jusqu'à présent on n'a pu noter, à cet égard, aucune différence significative entre témoin et sol labouré. Les résultats les plus probants sont sans doute ceux d'un essai combinant différents traitements de travail du sol et de fertilisation minérale, implanté par NICOU (67) à Bambey, en 1961, en sol dunaire très sableux. L'essai est en rotation biennale arachide-mil depuis cette date. Chaque année, les mêmes parcelles subissent les mêmes traitements.

Il est donc possible de tester, sur plusieurs années, les effets cumulatifs du labour par rapport à un témoin non travaillé. Des analyses granulométriques portant sur la fraction « argile + limon » dans l'horizon 5 à 15 cm (les labours réalisés aux boeufs étant peu profonds) ont été effectuées en 1967 et 1969, soit respectivement après 7 et 9 labours annuels. Les résultats en sont les suivants (tableau IV-8).

TABLEAU IV-8
COMPARAISON DES TENEURS EN ÉLÉMENTS FINS (ARGILE + LIMON) A BAMBEY
EN SOL « DIOR », SUR TÉMOIN NON TRAVAILLÉ ET SOL LABOURÉ

Année de prélèvement	Nombre de labours depuis le début de l'essai	Teneurs en A + L (%)	
		Témoin grattage à l'iler	Labour (en sec)
1967	7	3,4	3,2
1969	9	3,8	3,9

Il n'y a aucune différence significative entre témoin et sol labouré.

Des études analogues ont débuté récemment en Haute-Volta et n'ont pas montré, jusqu'à présent, d'influence nocive du labour à cet égard ; les études sont cependant trop peu avancées pour qu'on puisse accorder beaucoup d'importance aux résultats obtenus.

Ceci amène à traiter, de façon plus globale, le problème du labour et de l'érosion.

LABOUR ET SUSCEPTIBILITÉ A L'ÉROSION

Il s'agit là d'un des arguments majeurs avancés par les détracteurs du travail profond du sol en général, et du labour en particulier, pour la zone tropicale sèche. Les mises en garde contre la charrue « dévastatrice de sols » ne manquent pas dans la littérature agronomique tropicale. Par contre, les faits

expérimentaux pouvant venir à l'appui de cette théorie sont très peu abondants, voire inexistant. Nous n'avons, pour notre part, connaissance d'aucun exemple précis, dans ce domaine, pour la zone qui nous occupe.

On peut admettre que le labour peut influencer, sinon la stabilité structurale, mesurée seulement sur les très petits agrégats, du moins la « détachabilité » des éléments du sol et sa susceptibilité à l'érosion. Encore faudrait-il pouvoir mesurer avec précision cette influence : ceci n'est guère possible que dans des expériences mettant en œuvre le simulateur de pluie ou les parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion par la méthode des cuves.

Cette dernière méthode a été utilisée à Séfa, en 1968, par CHARREAU et SÉCUIY (20), pour comparer ruissellement et érosion sur sols nus, traités aux désherbants totaux, l'un non travaillé, l'autre labouré. L'année précédente, les parcelles avaient été cultivées en maïs ; le labour effectué en octobre 1967 était un labour d'enfouissement de tiges de maïs, après récolte du grain ; il avait été réalisé dans le sens de la pente (2 %). La parcelle témoin avait été débarrassée de ses pailles en fin de saison sèche.

Mention a été faite précédemment (p. 916) des résultats de cette expérience concernant le ruissellement. Les courbes cumulées du ruissellement et de l'érosion en fonction de la pluviométrie cumulée figurent également plus haut (graphique III-3 a). On peut noter, sur ce graphique, que les courbes cumulées du ruissellement et de l'érosion sur la parcelle 1 (labouré) sont constamment inférieures à celles de la parcelle 2 (témoin).

L'érosion peut être considérée comme le produit de deux facteurs :

- le volume de ruissellement,
- la turbidité spécifique ou charge solide de la nappe ravinante.

Dans cette expérience, on a vu que le volume de ruissellement était inférieur sur labour à ce qu'il était sur témoin non travaillé : 151 mm contre 271 mm. Ceci est en accord avec le rôle améliorateur de l'infiltration de l'eau dans le sol habituellement reconnu au labour.

Mais, fait plus surprenant, le second facteur : la turbidité spécifique, est également plus faible sur labour. En moyenne annuelle, elle est en effet de 4,28 g/l contre 6,68 g/l sur témoin non travaillé.

On peut envisager deux hypothèses pour expliquer ce fait inattendu :

- le travail du sol a amélioré la stabilité structurale et diminué la susceptibilité à l'érosion ;
- le labour a créé un microrelief qui a suffi à freiner la vitesse de la nappe ravinante et à provoquer des attérissements locaux.

En l'absence d'observations et de mesures suffisamment précises, il est difficile de trancher entre les deux hypothèses, bien que la seconde paraisse plus favorable. Ces faits demandent à être confirmés.

On voit donc que les résultats de cette expérience viennent contredire les hypothèses habituellement avancées concernant l'influence du labour sur l'érosion. Il serait, certes, abusif de vouloir tirer d'une expérience unique une règle générale ; mais il est d'ores et déjà certain que le labour ne se traduit pas, *ipso facto*, par une aggravation de l'érosion. Dans bon nombre de cas, c'est le contraire qui doit être vrai : le labour, soit par son action directe (comme dans l'expérience précitée), soit par son action indirecte sur la plante, en favorisant le développement végétatif et la couverture du sol, soit par les deux actions conjuguées, doit jouer un rôle améliorateur dans la conservation du sol. Des expérimentations ultérieures devraient pouvoir confirmer ce point de vue.

La fâcheuse et tenace réputation du labour, et plus généralement du travail profond du sol, dans ce domaine tient, semble-t-il, à une confusion qui a longtemps été faite, en zone tropicale, entre profondeur de travail et intensité de travail. Ce dernier facteur, conduisant à un émiettement susceptible d'aggraver dangereusement l'érosion, est à proscrire dans toute la mesure du possible. Mais les deux facteurs sont largement indépendants et la confusion ne doit plus être faite entre les deux. Il est possible également que, dans les cas où le ruissellement joue par lui-même un rôle actif en tant qu'agent érosif (cas des pentes longues et fortes), les pertes en terre soient plus élevées sur sols labourés. Mais, avec un aménagement rationnel du paysage et une répartition judicieuse des champs dans l'espace, ces cas devraient être l'exception.

EFFETS DU LABOUR SUR LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LA VIE MICROBIENNE

La répétition des labours ordinaires, sans enfouissement de matière végétale, sur le même sol est réputée favoriser l'oxydation de la matière organique et donc accélérer la dégradation de celle-ci. Par ailleurs, il est probable que le labour et, plus généralement, le travail profond du sol, entraîne une modification de la population microbienne du sol et influe par-là sur certains processus biochimiques.

Nous manquons d'observations et de mesures précises dans ce domaine.

On peut cependant faire état de mesures d'azote nitrique effectuées périodiquement dans un essai de techniques culturales à Saria, en Haute-Volta (34), pendant la première partie de l'hivernage : les teneurs en azote nitrique ont été constamment supérieures, sur certains traitements de labours, à celles des témoins non travaillés. Il semble qu'ici les labours aient favorisé la nitrification.

L'influence des labours d'enfouissement sur ces propriétés biologiques du sol sera examinée ultérieurement.

CONCLUSION SUR LES EFFETS DIRECTS DU LABOUR SUR LE SOL

Le labour a, comme on le voit, des incidences multiples et complexes sur les propriétés du sol. Toutes ces incidences sont susceptibles d'influer, à des degrés divers suivant les circonstances, sur la croissance végétale et la production agricole. Cependant, celles qui paraissent jouer, et de loin, le rôle le plus important et le plus général dans ce domaine, sont celles qui ont trait aux modifications de structure et de porosité quantitative et qualitative. Ces caractéristiques influent, en effet, directement, comme on l'a vu, sur l'enracinement des végétaux. On peut donc s'attendre à ce que le labour entraîne, de ce seul fait, une amélioration du système racinaire des végétaux, avec toutes les conséquences que cela comporte pour leur alimentation hydrique et minérale, et en fin de compte pour les rendements agricoles. Ces incidences seront confirmées par l'examen des effets des labours sur les cultures.

b) LES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES CULTURES

Ceux-ci se manifestent sur :

- les adventices des cultures,
- l'enracinement des plantes cultivées,
- le développement végétatif et les rendements agricoles.

EFFETS DES LABOURS SUR LES ADVENTICES DES CULTURES

L'enherbement des cultures constitue un des problèmes majeurs auquel le paysan de la zone tropicale sèche ouest-africaine doit faire face. Le développement des mauvaises herbes est, en effet, particulièrement important dans ces régions ; toutes les cultures sont sarclées et, habituellement, quatre à six sarclages sont nécessaires, en cours de cycle végétatif, pour assurer une maîtrise correcte de l'herbe.

Par ailleurs, le paysan est très mal armé pour cette lutte incessante contre l'envahissement par l'herbe. Il ne peut, actuellement, utiliser les herbicides, en raison de leur prix de revient trop élevé. Leur emploi commence cependant à être envisagé en culture intensive, et pour des cultures à rentabilité satisfaisante, telles que le riz pluvial.

Pour les sarclobinages mécaniques, le paysan ne dispose, bien souvent, que d'un équipement insuffisant en culture attelée. A supposer même qu'il ait un équipement, les techniques actuelles de culture ne permettent pas de réaliser tous les binages mécaniquement : la quasi-totalité des binages sur la ligne doivent être effectués manuellement ; il en est de même des derniers binages dans les interlignes, quand le couvert végétal est devenu trop important pour qu'on puisse y faire passer des attelages. Dans ces conditions, il n'y a rien d'étonnant à ce que le défaut d'entretien des cultures soit considéré comme une des causes essentielles et habituelles des médiocres rendements observés en agriculture traditionnelle. Ce défaut d'entretien peut tenir à un nombre insuffisant de sarclobinages, à une réalisation défectueuse de ceux-ci, ou, bien souvent, à des retards dans leur exécution.

Après des études détaillées de temps de travaux sur des exploitations agricoles, MONNIER (59) a regroupé les travaux en trois blocs homogènes bien distincts par la période d'exécution et les conditions pédoclimatiques correspondantes. Le deuxième bloc est constitué par les façons superficielles d'emblavure et d'entretien. Il dure de 60 jours à 70 jours et c'est à l'intérieur de ce bloc que se situent les principaux goulots d'étranglement au point de vue main-d'œuvre ; c'est donc lui qui conditionne, en grande partie, les dimensions et la structure de l'exploitation en fonction de la main-d'œuvre disponible.

C'est dire toute l'importance qu'il convient d'accorder à ce problème de la lutte contre les adventices. Or, dans l'arsenal des techniques de lutte, le labour peut occuper une place de choix. En enfouissant les graines à une profondeur suffisante pour qu'elles ne puissent germer, il diminue très sensiblement les risques d'invasion par l'herbe.

Au Sénégal, on estime généralement que le labour permet de supprimer, suivant les cas, un ou deux sarclonnages. De toute manière, il facilite très sensiblement les travaux de sarclage. Sur le plan économique, cela peut suffire à justifier son application, même dans les cas rares où il ne provoque pas, par ailleurs, d'augmentation de rendement.

Cependant, pour jouer un rôle efficace dans la maîtrise de l'herbe, il est nécessaire que le labour soit correctement réalisé et, notamment, suffisamment fermé. Cette dernière condition est particulièrement importante dans le cas des labours d'enfouissement de matière verte, pour éviter les repousses des végétaux enfouis.

EFFETS DES LABOURS SUR L'ENRACINEMENT DES CULTURES

Depuis 1964, de nombreuses observations de profils culturaux ont été faites au Sénégal pendant les saisons de culture en comparant témoins non travaillés et sols labourés. Toutes ces observations sont concordantes et font ressortir une nette influence du labour sur le développement racinaire de toutes les plantes cultivées : mil, sorgho, maïs, riz pluvial, arachide, cotonnier. On observe en particulier une fasciculation plus importante et une densité plus grande de petites racines.

On a cherché à étayer par des mesures quantitatives ces impressions visuelles.

Les premiers travaux en ce sens ont été réalisés par BLONDEL (7). Celui-ci a procédé à Bambey, en 1964, à deux séries de mesures :

l'une en sol « dior » très sableux, sur arachide,
l'autre en sol « dek » sablo-argileux, sur sorgho.

Il a utilisé la procédure des sondages verticaux précédemment décrite.

Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous, exprimés en mg de racines pour un nombre défini de prélèvements. Les chiffres n'ont donc qu'une valeur comparative.

TABLEAU IV-9
INFLUENCE DU LABOUR SUR LE POIDS DE RACINES DE L'ARACHIDE ET DU SORGHO A BAMBEY

Sol	Culture	Profondeur (cm)	Poids de racines (mg) sur	
			Grattage superficiel	Labour
Dior Très sableux	Arachide	0-10	35	138
		10-20	32	148
		0-20	67	286
Dek sablo-argileux	Sorgho	0-10	123	201
		10-20	56	97
		20-40	16	23
		0-40	195	321

Depuis cette date, de nombreuses autres mesures ont été faites sur diverses plantes, en utilisant une procédure légèrement différente : celle des prélèvements horizontaux. Les poids de racines sont ramenés à un volume connu de terre, ce qui permet de calculer la densité d'occupation racinaire, exprimée en g/dm³. Les résultats obtenus sur céréales (sorgho, maïs, riz pluvial) ont été rassemblés dans le tableau IV-81 figurant en annexe.

A l'examen du tableau, il apparaît que, d'une façon très générale, le labour augmente la densité d'occupation racinaire. Toutefois, pour une même culture, les résultats peuvent être assez variables d'un lieu à un autre et d'une année à l'autre. L'augmentation de la densité d'occupation racinaire est observée habituellement à tous les niveaux de prélèvement (à quelques exceptions près) mais elle est souvent plus marquée, en valeur relative, dans l'horizon 10 à 20 cm. C'est d'ailleurs, à ce niveau intermédiaire (ou dans la couche 5 à 15 cm), que sont apparues les meilleures corrélations de l'enracinement avec la porosité ou avec le rendement.

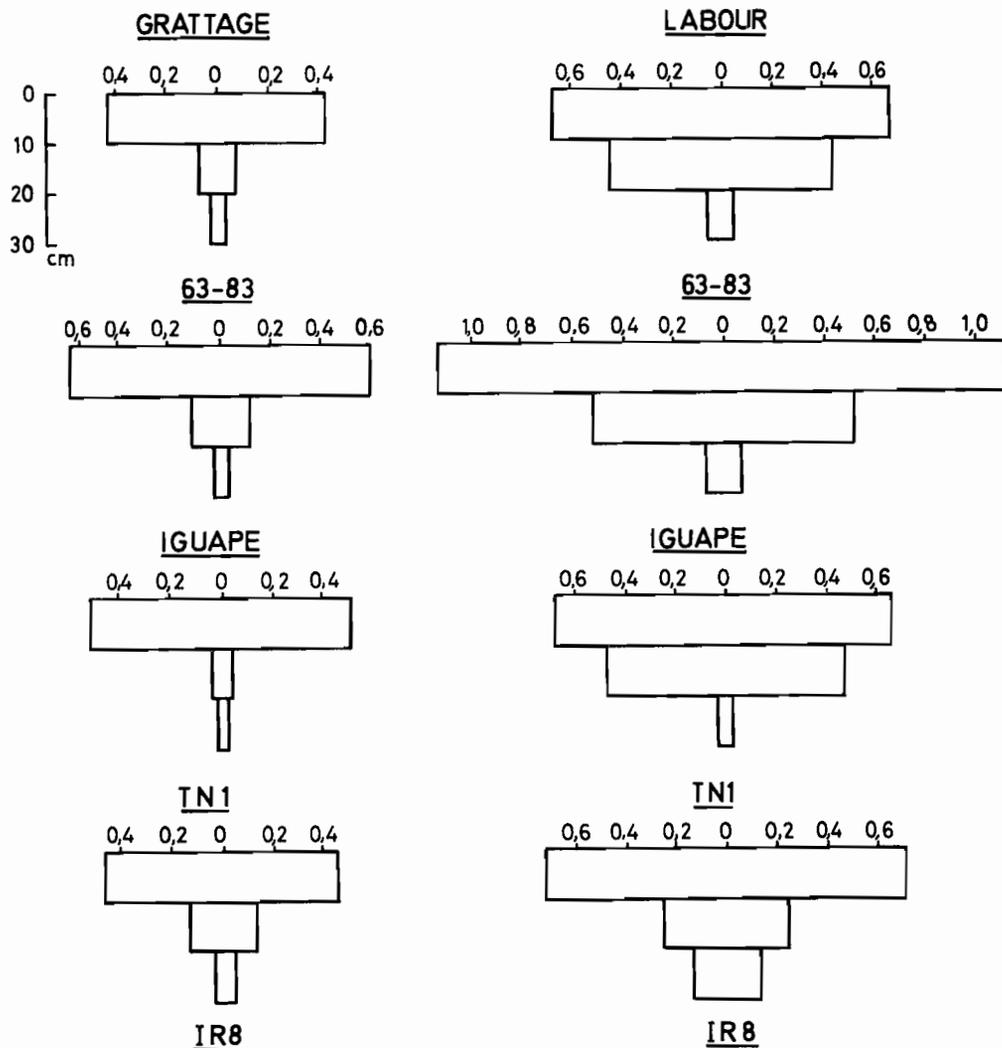
Les labours d'enfouissement ont, sur les densités d'occupation racinaire, la même influence que les labours ordinaires. On note également que si le labour provoque une réaction identique de l'enracinement pour les diverses espèces de céréales étudiées, il agit de même, à l'intérieur d'une même espèce, pour différentes variétés. L'exemple le plus probant est celui du riz pluvial à Séfa, en 1969. Les résultats, très démonstratifs, de cet essai ont été repris sur le graphique IV-3.

Ce dernier essai a fait, par ailleurs, l'objet d'une étude plus poussée de l'enracinement par la méthode des prélèvements globaux. Cette étude a été conduite par NICOU, SÉGUY et HADDAD (73). Les mesures ont porté non seulement sur les poids secs et humides des racines principales, mais aussi sur leur longueur et sur leur rayon moyen ; des estimations de surfaces racinaires ont été également calculées. Ces résultats concernant longueurs et surfaces des racines principales et secondaires figurent dans le tableau IV-10.

Graphique n° IV - 3

Influence du labour sur les densités d'occupation racinaires (g/dm^3) de différentes variétés de riz pluvial

D'APRES NICOU, SÉGUY, HADDAD, (1970)



On observe que le labour double la longueur des racines principales ; mais surtout il augmente dans des proportions importantes, quoique variables suivant les variétés, la longueur des racines secondaires, c'est-à-dire la ramification de l'enracinement.

TABLEAU IV-10
ACTION DU LABOUR SUR LES LONGUEURS ET SURFACES DES RACINES PRINCIPALES (RP)
ET SECONDAIRES (RS) DU RIZ PLUVIAL A SÉFA
(prélèvement de 32 dm³)

Variétés	Traitements	Longueur (m)			Surface (dm ²)		
		R.P.	R.S.	Total	R.P.	R.S.	Total
63-83	Témoin	64	619	683	10	23	33
	Labour	162	1.580	1.742	25	60	85
Iguape Cateto	Témoin	111	2.399	2.510	17	60	77
	Labour	165	3.400	3.565	28	85	113
Taïchung native n° 1	Témoin	87	3.266	3.333	9	62	71
	Labour	192	4.478	4.670	24	84	108
	Témoin	80	4.530	4.610	12	85	97
	Labour	189	8.575	8.764	25	162	187

La surface racinaire est le paramètre le plus important et le plus significatif de l'enracinement. Elle représente, en effet, la surface de contact sol-racines, qui intervient directement dans les échanges sol-plante. On peut dire que ce paramètre intègre pratiquement toutes les autres données de l'enracinement. On voit que, dans tous les cas, cette surface de contact est notablement augmentée par le labour, dans des proportions allant de 50 % à 150 %. L'augmentation de surface porte aussi bien sur les racines principales que sur les racines secondaires. Au total, dans cet essai, l'action du labour sur l'enracinement du riz pluvial se traduit par une augmentation des valeurs suivantes :

- longueur des racines principales,
- nombre de racines principales,
- longueur totale pour un volume de sol donné,
- surface de contact sol-racine pour un volume de sol donné,
- poids frais et sec.

Ces augmentations sont plus ou moins accusées suivant les variétés, mais elles se manifestent sur toutes les variétés étudiées.

Une étude analogue a été conduite par CHOPART (21) à Bambey, sur sorgho. Il s'agissait de comparer l'enracinement de la variété 63-83 (pailles relativement courtes) sur un témoin non travaillé et non fumé, et sur un traitement comportant labour de préparation et fumure minérale forte. Il est donc impossible, dans cette étude, d'isoler l'action du labour, comme cela a pu être fait dans les études précédentes. Cependant, se fondant sur les résultats de ces dernières, on fera sans grands risques d'erreur, l'hypothèse que l'essentiel des réactions observées sur l'enracinement est imputable au labour.

Les résultats obtenus à la récolte sont résumés dans le tableau IV-11.

TABLEAU IV-11
ACTION CONJUGUÉE DU LABOUR ET DE LA FUMURE MINÉRALE
SUR LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENRACINEMENT DU SORGHO 63-18, A BAMBEY
(par pied)

Traitements	Racines adultes			Poids sec (g)			Longueur totale (km)	Surface totale (m ²)	Rapport parties aériennes/racines
	Nombre	Diamètre moyen (mm)	Longueur moyenne (cm)	Racines adultes	Radicelles	Total			
Témoin	165	1,18	43,7	32,1	34,0	66,1	32,5	8,6	12,3
Labour + fumure.	322	1,05	47,8	54,4	48,0	102,4	43,8	12,0	20,5

On voit donc, d'après ces exemples, que le labour n'entraîne pas seulement le développement quantitatif du système racinaire, exprimé par les mesures pondérales, mais qu'il influe également sur la qualité de l'enracinement, sur son degré de finesse et de ramification, traduits par les paramètres de longueurs et de surface racinaires. A poids égal d'enracinement, il peut y avoir une amélioration de la surface de contact sol-racine, si la ramification du système est plus poussée, et la proportion de fines racines plus importante.

En dehors des aspects quantitatif et qualitatif de l'enracinement, le labour modifie également la répartition de celui-ci dans le profil. Cet aspect de la question est cependant moins bien connu que les précédents.

En 1965, DEFFONTAINES (28), observant des profils culturaux à Séfa, note que le labour crée, dans le profil, une discontinuité qui, souvent, n'est pas perceptible visuellement mais à laquelle les racines des plantes cultivées paraissent sensibles : la densité de racines est considérablement augmentée dans la couche labourée, mais elle peut être plus faible, dans l'horizon sous-jacent, que dans un sol non travaillé. Le fond du labour peut donc, dans certains cas, jouer le rôle d'écran au développement racinaire.

Une observation analogue a été faite par BLONDEL (9), à Séfa, en 1966, sur mil. En procédant à des comptages de racines, celui-ci a observé que la totalité des racines se trouvait concentrée dans l'horizon 0 à 20 cm correspondant à la couche travaillée par le labour.

Concernant l'arachide, le pivot est, d'une manière générale, peu sensible à la discontinuité créée par le fond du labour et pénètre toujours en profondeur. Dans certains cas, la fasciculation secondaire peut être plus réduite dans l'horizon compact, sous le labour, qu'à la profondeur correspondante sous le témoin.

Toutefois, ces observations paraissent constituer l'exception plutôt que la règle. Partout ailleurs, en effet, aucune observation de ce genre n'a pu être faite : l'enracinement est bien augmenté dans de fortes proportions dans la couche labourée, mais il n'est pas diminué pour autant dans les horizons sous-jacents par rapport au témoin ; c'est l'inverse qui est habituellement vrai. Les mesures de densité d'occupation racinaire viennent d'ailleurs corroborer ces impressions visuelles (tableau IV-81, en annexe). Les labours n'ont pas dépassé 20 cm de profondeur (sauf parfois à Séfa). Or, quand l'action du labour se manifeste sur la densité d'occupation racinaire dans la couche 0 à 20 cm, on constate qu'elle se manifeste également dans la couche 20 à 30 cm, c'est-à-dire en dessous de la limite du labour. A Séfa même, les observations de DEFFONTAINES et BLONDEL n'ont pas été confirmées depuis.

On retiendra que, d'une manière générale, le labour augmente l'enracinement dans de fortes proportions dans la couche labourée et plus faiblement dans les horizons sous-jacents. Dans certains cas, le fond du labour pourrait jouer le rôle d'écran au développement racinaire : ceci interviendrait surtout dans les sols à horizons profonds plus argileux (cas de Séfa) où le lissage créé par le labour peut être plus accentué.

Pour résumer l'action du labour sur l'enracinement des plantes cultivées, on peut dire que celle-ci est très marquée et très bénéfique, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Grâce à un système racinaire plus développé et ramifié, la plante peut mieux assurer son alimentation hydrique et minérale, même lorsque les conditions de milieu sont difficiles.

Les corrélations étroites trouvées entre enracinement, développement végétatif et rendements agricoles, corrélations mentionnées précédemment, viennent confirmer cette manière de voir.

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que l'action du labour se traduise, presque toujours, comme on va le voir, par des augmentations substantielles de rendements pour toutes les plantes cultivées.

EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LE DÉVELOPPEMENT VÉGÉTATIF ET LE RENDEMENT DES CULTURES

A partir d'essais de types très variés, on s'efforcera de dégager l'effet global des labours sur les différentes cultures.

Les résultats détaillés des diverses expérimentations sont mentionnés dans des tableaux figurant en annexe, et regroupés par zones écologiques. Dans ces tableaux, on a toutefois distingué les deux sources principales d'obtention des résultats : essais statistiques, avec répétitions, et champs de pré vulgarisation ou de comportement, sans répétitions. Dans ce dernier cas, l'absence de répétitions dans l'espace est compensée par une superficie beaucoup plus importante des parcelles (habituellement 900 m², mais pouvant varier de 300 m² à 1.500 m²) et par des répétitions dans le temps (sur des parcelles différentes).

On a distingué, pour chaque culture, les labours ordinaires des labours d'enfouissement de matière végétale. Les labours ordinaires peuvent être, suivant les cas, réalisés en sec ou en humide, en début ou en fin de saison des pluies. Les labours d'enfouissement de matière végétale sont toujours réalisés en

humide, en fin de saison des pluies. Les conditions de réalisation peuvent être assez variables ; dans les tableaux détaillés, figurant en annexe, on s'est efforcé, pour chaque essai, d'en fournir les principales caractéristiques, non seulement pour les labours, mais aussi pour les témoins. Ceux-ci correspondent, en effet, à la culture traditionnelle effectuée manuellement. Le travail du sol est alors généralement superficiel, mais il peut l'être plus ou moins suivant le type d'outil employé : de simple grattage avec l'« iler », il peut aller jusqu'à un véritable labour superficiel avec certaines « dabas ». Les comparaisons, entre essais, de l'effet du labour, n'ont pas toujours, de ce fait, la même valeur.

Seules seront prises en considération ici les données concernant les rendements en grains. Les pesées de tiges et feuilles n'ont pas, en effet, été réalisées sur une proportion suffisante d'essais pour qu'elles puissent être mentionnées ici.

On peut cependant admettre, comme règle générale, que lorsque le labour provoque une augmentation de rendement sur une culture, il entraîne un accroissement au moins proportionnellement équivalent du poids de l'appareil végétatif. Inversement, quand le rendement n'augmente pas ou même baisse légèrement après labours, il est fréquent qu'il y ait, malgré cela, un accroissement de la production de tiges et feuilles. Ceci est notamment le cas de l'arachide.

On examinera d'abord les effets des labours sur les céréales : mil, sorgho, maïs et riz pluvial, puis sur le cotonnier, enfin sur les légumineuses : arachide et niébé.

RÉSULTATS OBTENUS SUR MIL

Ils concernent trois pays : Sénégal, Mauritanie, Niger, et sont exposés en détail dans les tableaux IV-82 et IV-83, en annexe. Ces résultats sont repris sous une forme résumée dans le tableau IV-12.

TABLEAU IV-12
RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DU MIL

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours	
			Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)	Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
Sols peu évolués sur sables dunaires 300-700 mm	Mauritanie	Essais statistiques	1	1	1.472	+ 342	+ 23					
	Sénégal	Essais statist.	8	8	960	+ 220	+ 23	4	3	828	+ 301	+ 36
	Niger	Essais statist.	5	5	815	+ 461	+ 57					
FTL sur grès du CT 700-1.000 mm	Sénégal	Essais statist.	3	3	1.215	+ 108	+ 9					
FTL sur grès du CT 1.000-1.400 mm	Sénégal	Champs de prévilgatisation	5	4	2.103	+ 179	+ 9	1	1	1.546	+ 623	+ 40
Ensemble (moyennes pondérées)			22	21	1.245	+ 254	+ 21	5	4	971	+ 365	+ 38

Comme on le voit, ces effets sont importants, en particulier pour les labours d'enfouissement. On note également que l'action des labours est très marquée sur sols sableux. Ceci rejoint des observations faites au Sénégal dans la région de Tiénaba, proche de Bambey, où les sols sont particulièrement sableux et pauvres (1 % à 2 % d'argile) : même en présence de fumier et de fortes doses d'engrais minéral, les rendements du mil restent très médiocres ; seul le labour suffisamment profond permet d'obtenir une récolte honorable.

RÉSULTATS OBTENUS SUR SORGHO

Les essais mentionnés concernent le Sénégal et la Haute-Volta. D'autres résultats ont été obtenus au Niger, mais sur des sols qui n'entrent pas dans le cadre de cette étude (vertisols ou sols hydromorphes argileux). Les données complètes figurent dans les tableaux IV-84 et IV-85, en annexe ; elles sont reprises sous forme résumée dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-13
TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement					
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		
			Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)	Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)	
Sols peu évolués sur sables dunaires 600-700 mm	Sénégal	Essai statistique	1	1	386	+ 546	+ 141						
FTL Inter-grade Vertisols sur sables et calcaires 600-700 mm	Sénégal	Essais statistiques	5	5	1.354	+ 530	+ 39						
		Champs prévision.	5	3	1.820	+ 444	+ 24						
FTL à taches ou concrétions sur grès du CT ou granites sablo-argileux et sablo-limon. 800-1.100 mm	Sénégal	Essais statistiques Champs prév.	6	6	2.045	+ 318	+ 35	1	1	1.441	+ 626	+ 43	
			23	20	2.194	+ 554	+ 25	1	1	2.637	+ 438	+ 17	
	Haute-Volta	Essais statistiques	5	5	1.245	+ 419	+ 34						
Ferral. moy. désaturé sur grès sablo-limoneux 1.100-1.200 mm	Haute-Volta	Essai statistique	1	1	1.010	+ 256	+ 25						
Ensemble (moyennes pondérées)			46	39	1.874	+ 536	+ 29	2	2	2.039	+ 532	+ 26	

Il y a une certaine disproportion entre le nombre de résultats concernant les labours ordinaires (46) et les labours d'enfouissement (2). Néanmoins, tous les résultats concordent et montrent une action très importante des labours sur les rendements du sorgho. Cette action se manifeste sur les types de sols les plus variés.

Cependant à Darou, dans le Sine-Saloum (Sénégal), l'IRHO obtient des effets dépressifs des labours d'enfouissement de jachère ou d'engrais vert sur le sorgho qui suit ; par rapport au témoin venant après jachère brûlée, de 1.034 kg/ha, l'effet dépressif est de 131 kg/ha, soit 13 % (moyenne sur sept ans) *. Cette anomalie peut s'expliquer par des conditions particulières de réalisation des essais qui seront examinées plus loin, à propos de l'arachide. Dans ce cas précis, il peut s'y ajouter une autre raison : le fait que la plante engrais vert soit ici un sorgho, ce qui amène à la succession sorgho sur sorgho ; ainsi qu'on l'a vu précédemment, cette succession n'est pas recommandée sur sol sablo-argileux, en raison, notamment, des incidences parasitaires (*Fusarium* et nématodes).

RÉSULTATS OBTENUS SUR MAÏS

Ils concernent uniquement le Sénégal (tableau IV-86 et IV-87, en annexe). Le maïs n'est cultivé que dans la zone méridionale du Sénégal : Casamance et Sénégal oriental. Traditionnellement, le maïs est une culture de « case » ; la culture du maïs en plein champ n'est étudiée au Sénégal que depuis une époque assez récente. C'est pourquoi les résultats sont encore peu nombreux : 6 pour les labours ordinaires et 12 pour les labours d'enfouissement. Ces résultats sont résumés dans le tableau IV-14.

L'action des labours d'enfouissement est ici particulièrement importante et nettement supérieure à celle des labours ordinaires.

RÉSULTATS OBTENUS SUR RIZ PLUVIAL

De même que la culture du maïs, la culture du riz pluvial est cantonnée, au Sénégal, à la zone méridionale. Les résultats concernant les effets des labours sont assez récents et encore peu nombreux : 11 pour les labours ordinaires et 1 seul pour les labours d'enfouissement ; ils ont tous été obtenus en Casamance (tableaux IV-88 et IV-89, en annexe).

* Essai jachère-engrais vert 1^{er} sur sol hydromorphe, résultats de 1961 à 1967 ; moyenne de 4 labours d'enfouissement (1 de jachère, 3 d'engrais vert) ; comparaison sur traitements recevant la fumure minérale.

TABLEAU IV-14

TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DU MAÏS

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours	
			Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)	Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)
Sols FTL à taches sur grès du CT sablo-argileux 800-1.300 mm	Sénégal Zone orientale et Casamance	Essais statistiques Champs de prévilgarisation	3	3	2.395	+ 502	+ 21	5	5	1.887	+ 1.155	+ 61
			3	3	1.791	+ 634	+ 35	7	5	1.180	+ 838	+ 71
Ensemble (moyennes pondérées)			6	6	2.093	+ 568	+ 27	12	10	1.474	+ 970	+ 66

TABLEAU IV-15

TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DU RIZ PLUVIAL (paddy)

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours	
			Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)	Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)
FTL sur grès du CT sablo-argileux 1.100-1.600 mm	Casamance	Champs de prévilgarisation	5	5	981	+ 1.691	+ 172	1	1	1.547	+ 705	+ 46
Ferral. moyt. désat. sur grès du CT sablo-argileux 1.300-1.600 mm	Casamance	Champs de comportement	5	5	1.144	+ 1.207	+ 106					
Gris hyd. sur coll. sablo-argileuses 1.300 mm	Casamance	Champs de comportement	1	1	0	+ 2.170	—					
Ensemble (moyennes pondérées)			11	11	966	+ 1.515	+ 157	1	1	1.547	+ 705	+ 46

On note un effet spectaculaire des labours de préparation sur les rendements du riz. Dans certains essais, les rendements du témoin étaient nuls. Ces témoins ne subissaient, il est vrai, qu'un simple grattage pour enlever les résidus végétaux ; il n'y avait aucun travail du sol, même superficiel. Ceci peut expliquer que les différences observées soient aussi importantes. L'unique résultat disponible pour les labours d'enfouissement indique une plus-value moindre que pour les labours ordinaires. Ceci demanderait à être confirmé.

RÉSULTATS OBTENUS SUR COTONNIER

Ils intéressent la Haute-Volta et le Sénégal. Dans ce dernier pays, la culture du cotonnier est d'extension récente et cantonnée dans la zone Sud orientale. Les résultats complets figurent dans les tableaux IV-90 et IV-91, en annexe. Ils sont rapportés, sous forme condensée, dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-16
TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DU COTONNIER
(coton grain)

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours	
			Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)	Totaux	positifs		(kg/ha)	(%)
Sols ferrugin. tropic. lessivés à taches et concrétions sur grès et granites sablo-argileux et sab.-limon. 800-1.100 mm	Sénégal	Essais statistiques	4	4	1.749	+ 463	+ 26					
		Champs de prévilgarisation	1	1	1.666	+ 652	+ 39	12	10	1.240	+ 423	+ 34
	Haute-Volta	Ess. statist.	1	1	1.593	+ 59	+ 4					
Ferral. faible-ment désat. sur grès sablo-limon. 1.100-1.200 mm	Haute-Volta	Essais statistiques	1	1	1.148	+ 467	+ 32					
Ensemble (moyennes pondérées)			7	7	1.629	+ 433	+ 27	12	10	1.240	+ 423	+ 34

Les plus-values dues aux labours sont importantes et comparables pour les deux types de labours : avec ou sans enfouissement.

RÉSULTATS OBTENUS SUR ARACHIDE

Il s'agit là de la culture qui a été la plus anciennement et la plus abondamment étudiée. Aussi, les résultats concernant l'influence des labours sur l'arachide sont-ils assez nombreux : 31 pour les labours ordinaires et 113 pour les labours d'enfouissement. On peut s'étonner d'une telle disproportion. Elle provient du fait que les labours d'enfouissement de jachère et d'engrais vert ont été étudiés bien avant les labours ordinaires de préparation. Il y avait à cela deux raisons : d'une part, les contraintes pédo-climatiques qui pesaient sur la réalisation des labours de préparation, d'autre part les doctrines agronomiques anciennes tendant à associer obligatoirement, dans les pays tropicaux, l'action d'incorporation de matière organique à celle de travail du sol. Alors que les essais d'engrais vert et de jachère enfouie ont démarré dès 1950, il a fallu attendre 1961 pour que soient mis en place les premiers essais de labours de préparation sur arachide.

Les résultats détaillés de cet ensemble d'essais figurent dans les tableaux IV-92 et IV-93, en annexe. Ces résultats ont été obtenus principalement au Sénégal et au Niger, mais aussi au Mali et en Haute-Volta. Tous ces essais sont très variés et tous les résultats n'ont pas la même valeur. Nous avons cependant tenu à les faire tous figurer et n'avons écarté, pour le calcul des moyennes, que deux essais (un au Mali, un en Haute-Volta) dont les conditions de réalisation paraissaient trop imprécises. Ces résultats ont été repris dans le tableau IV-17 de façon à permettre la comparaison, par zone écologique, de l'influence des deux types de labours.

À la lecture du tableau, plusieurs constatations peuvent être faites :

les labours agissent favorablement, dans l'ensemble, sur les rendements de l'arachide, mais cette action est à la fois moins constante et plus faible que pour les autres cultures ;

il existe, à ce sujet, une nette différence entre les deux types de labours : les labours ordinaires ont une action plus régulière et plus importante que les labours d'enfouissement, les plus-values moyennes étant respectivement de 19 % et 7 % ;

pour les labours ordinaires, l'action est très variable suivant les écologies et les situations ; on notera la régularité et l'importance des réponses obtenues sur les sols sableux du Nord et du Centre Sénégal ; pour les labours d'enfouissement, les effets sont également assez irréguliers, mais ils sont moins accusés que ce soit dans un sens ou dans l'autre.

TABLEAU IV-17
TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS DIRECTS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE

Sols et pluviométrie moyenne	Localisation	Type d'expérimentation	Labours ordinaires					Labours d'enfouissement				
			Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours		Nombre de résultats annuels		Rendements moyens des témoins (kg/ha)	Plus-values moyennes sur labours	
			Totaux	positifs	(kg/ha)	(%)	Totaux	positifs	(kg/ha)	(%)		
Peu évolués sur sables dunaires 450-700 mm	Sénégal (Nord et Centre) Niger	Ess. stat. Champs de prévilgaris. Ess. stat.	13	13	965	+ 393	+ 41	16	9	1.481	+ 39	+ 3
			8	5	1.740	+ 84	+ 5	20	18	1.155	+ 103	+ 9
Peu évolués sur matériau d'apport limono-sabl. 500-600 mm	Niger	Essais statistiques	2	2	666	+ 566	+ 85	1	0	2.199	+ 406	- 18
FTL Interg. Vertisols sur sab. et calcaire 600-700 mm	Sénégal (Centre)	Essai statistique Champs de prévilgaris.						1	0	1.508	- 225	- 15
								4	3	1.031	+ 246	+ 24
FTL sur grès du CT sablo-argileux 700-1.000 mm	Sénégal (S. Saloum)	Essais statistiques Champs de prévilgaris.	6	6	1.821	+ 247	+ 14	11	10	1.805	+ 205	+ 11
								28	18	1.792	+ 98	+ 5
FTL sur grès du CT sablo-argileux 900-1.100 mm	Sénégal (zone orientale)	Essais statistiques Champs de prévilgaris.	2	1	2.527	+ 59	+ 2	7	4	2.195	+ 22	+ 1
								11	9	2.091	+ 240	+ 11
FTL sur grès du CT sablo-argileux 1.200-1.400 mm	Sénégal (Casamance)	Essais statistiques Champs de prévilgaris.						6	5	2.127	+ 195	+ 9
								3	1	2.245	- 116	- 5
Peu évol. hydrom. sur mat. sablo-argileux gravillonnaire 1.400 mm	Sénégal (zone orientale)	Champs de prévilgarisation						5	4	1.031	+ 371	+ 36
Ensemble (moyennes pondérées)			31	27	1.412	+ 274	+ 19	113	81	1.661	+ 119	+ 7

On peut s'étonner du fait que les labours d'enfouissement ont une incidence plus variable et, dans l'ensemble, moins accusée sur les rendements de l'arachide que les labours ordinaires de préparation, alors que leur action sur la structure du sol est sensiblement plus marquée, et que leur influence sur les rendements, pour les autres cultures, est, souvent, plus forte.

Cette contradiction apparente peut tenir au fait que les labours d'enfouissement sont plus difficiles à réaliser que les labours ordinaires et la préparation du lit de semences plus délicate : la technique n'a été réellement mise au point que ces dernières années. Une reprise du labour imparfaite et une préparation plus ou moins défectueuse du lit de semences peut se traduire par une mauvaise levée. Ceci ne semble pas, cependant, général. Il se peut, par ailleurs, que la matière végétale enfouie et non entièrement décomposée gêne, dans certains cas, le développement du système racinaire de l'arachide. A l'appui de cette hypothèse, on verra plus loin que l'effet résiduel des labours d'enfouissement peut être plus important, sur arachide, que leur effet direct.

Quoi qu'il en soit, une étude plus approfondie serait nécessaire pour élucider ce point.

L'IRHO a, de son côté, conduit au Sénégal un certain nombre d'expérimentations sur les effets des labours d'enfouissement de jachère et d'engrais vert sur les rendements de l'arachide. Les résultats sont exposés dans le tableau IV-94, en annexe. Les différences entre les précédents jachère brûlée et jachère enfouie ou engrais vert sont peu accusées, mais il y a dans ces essais une proportion nettement plus élevée de cas favorables à la jachère brûlée (50 sur 68, soit 74 %) et un effet moyen dépressif des labours d'enfouissement, assez faible il est vrai (- 146 kg/ha, soit - 7 % du témoin).

Cette divergence avec les résultats des essais de l'IRAT tient probablement à des différences dans les modes de conduite des essais.

L'accent a été mis plus haut, en effet, sur les nombreux facteurs qui interviennent pour la réussite de cette technique complexe que constitue l'engrais vert, et en particulier sur la double nécessité d'obtenir un développement végétatif suffisant pour fournir protection du sol et enracinement corrects, et d'effectuer un véritable labour assurant un mélange intime de la matière végétale et de la terre retournée, sur toute la surface de la parcelle.

Or, il semble que ces deux conditions aient été rarement remplies dans les essais de l'IRHO utilisant mil et sorgho engrais vert. L'insuffisance de la fertilisation minérale (surtout azotée) et peut-être quelques défauts de technique culturale ont fait que, dans la plupart des essais, même ceux de Darou où l'écologie est favorable aux céréales, le développement végétatif de l'engrais vert a été notablement insuffisant. L'aspect était le plus souvent souffreteux et les tonnages dépassaient rarement 15 t/ha en vert.

D'autre part, la technique d'enfouissement utilisée jusqu'en 1964 consistait à faucher l'engrais vert, à creuser quelques tranchées dans la parcelle, parallèlement aux lignes de semis, à coucher les tiges dans les tranchées et à reboucher le tout. Cette technique est naturellement assez éloignée de celle d'un véritable labour d'enfouissement, et on ne peut s'attendre à en retrouver tous les effets sur le sol. Depuis 1965, les techniques de fertilisation et d'enfouissement ont été normalisées, mais les résultats sont encore insuffisamment nombreux pour qu'on puisse juger de leur évolution. On note cependant, sur certains essais, une amélioration de l'effet des engrais verts ces dernières années (Jachère-Engrais vert 1 ter sur sol hydromorphe à Darou).

A l'appui de ces observations, on peut noter que les essais de l'IRHO faisant intervenir non plus le sorgho ou le mil engrais vert, mais la jachère, sont souvent favorables à l'enfouissement. Or, dans les essais de l'IRAT, cette différence entre jachère enfouie et engrais vert est rarement observée (la comparaison de ces deux formes de fumure verte sera détaillée plus loin). Le fait qu'elle se manifeste dans les essais de l'IRHO pourrait s'expliquer par deux raisons notées plus haut : couverture du sol et enracinement mieux développé pour la jachère, enfouissement intéressant toute la surface de la parcelle.

Enfin, une troisième et dernière raison pourrait expliquer cet effet légèrement dépressif des labours d'enfouissement sur arachide dans les essais de l'IRHO : les très nombreuses interventions faites sur ces essais à l'occasion du démarrage de l'arachide, des comptages et observations diverses, des prélèvements pour diagnostic foliaire. Il s'agit là, certes, de servitudes inhérentes à la réalisation d'essais précis mais on peut penser que, dans le cas où des traitements de labours sont étudiés, le piétinement consécutif à tous ces passages peut entraîner, sur ces sols légers, un tassement préjudiciable à l'effet des labours.

Quoi qu'il en soit de cette divergence de résultats, on retiendra surtout que, dans les deux cas, la réponse de l'arachide aux labours d'enfouissement est faible : légèrement positive dans les essais IRAT (+ 7 %), légèrement négative dans les essais IRHO (— 7 %).

Notons pour terminer que les labours sur arachide, même lorsqu'ils ne se traduisent pas par une augmentation du poids de gousses, provoquent très généralement un accroissement de vigueur végétative et de production de fanes.

Par ailleurs, on a pu observer dans certains essais une action très sensible du labour sur la grosseur des graines d'arachide, caractère considéré pourtant comme très stable. Dans un essai sur sol « dior » à Bambey (82), en 1965, le poids de 100 graines passait de 42,1 g sur témoin non travaillé à 50,8 g sur labour.

RÉSULTATS OBTENUS SUR NIÉBÉ

Divers essais combinant travail du sol et fertilisation ont été réalisés en sol « dek » à Bambey, entre 1962 et 1965. Le parasitisme important et encore mal contrôlé à cette époque n'a pas permis d'obtenir des renseignements utilisables.

RÉCAPITULATION DES EFFETS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DES DIFFÉRENTES CULTURES

Les résultats précédents montrent que les labours ont une influence favorable sur toutes les cultures. Cette influence est variable avec les sols, les années et les cultures ; elle peut être très importante et aller, dans certains cas, jusqu'à doubler ou tripler le niveau du témoin.

Le tableau IV-18 et les graphiques IV-4 et IV-5 résument, sous une forme synthétique, l'ensemble des résultats obtenus.

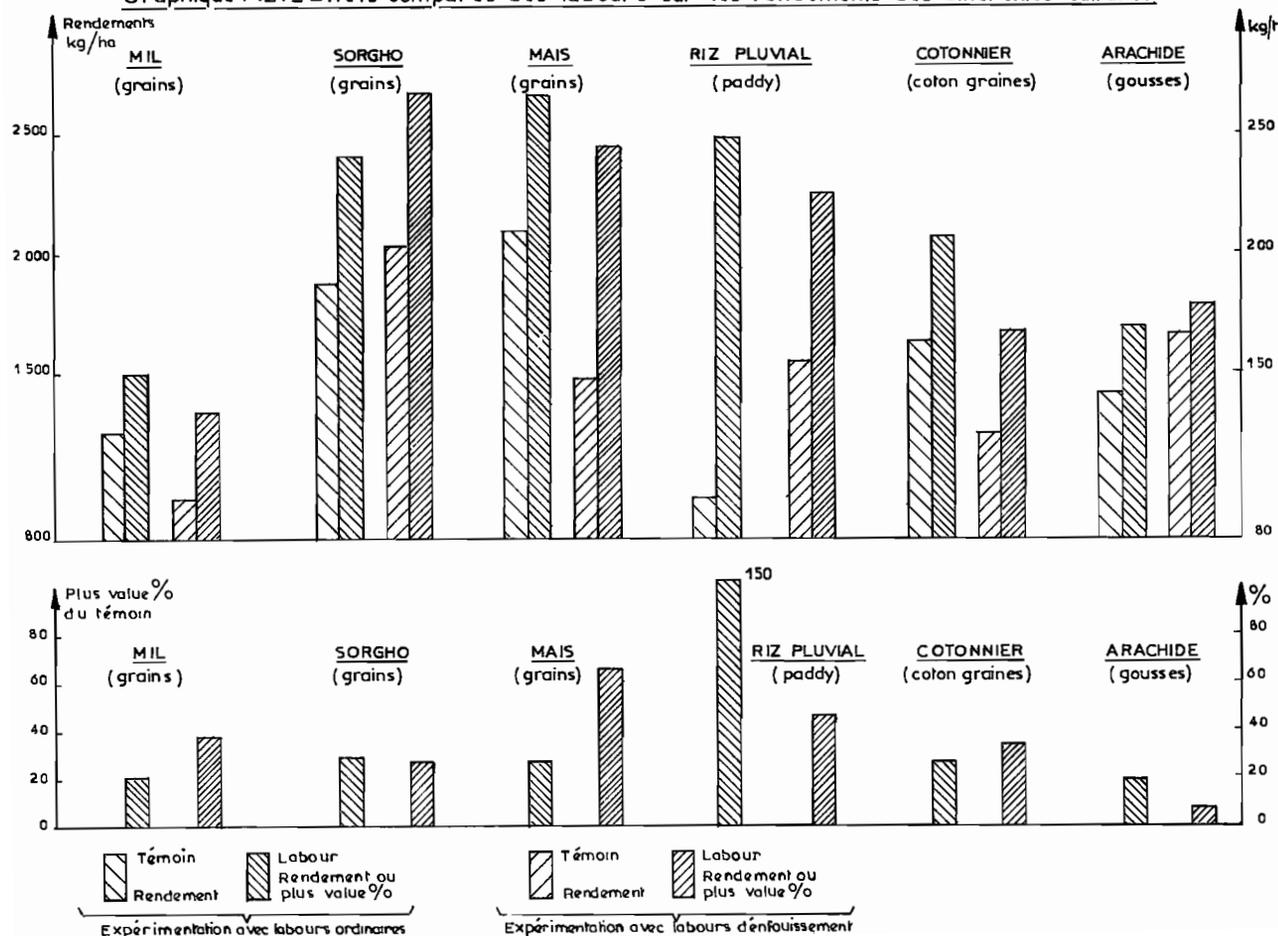
Au vu de ces résultats, on peut estimer que le labour joue, en zone tropicale sèche, un rôle semblable à celui qu'il joue en zone tempérée et constitue un facteur important de l'amélioration des rendements.

TABEAU IV-18
TABEAU RÉCAPITULATIF DES EFFETS MOYENS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES
 DANS LA ZONE TROPICALE SÈCHE DE L'OUEST AFRICAÏN
 (essais de l'IRAT; sols à dominante sableuse)

Cultures	Labours ordinaires						Labours d'enfouissement					
	Nombre de résultats annuels			Rend ^t des témoins (kg/ha)	Plus-values sur labour		Nombre de résultats annuels			Rend ^t des témoins (kg/ha)	Plus-values sur labour	
	Totaux	Positifs	(%)		(kg/ha)	(%)	Totaux	Positifs	(%)		(kg/ha)	(%)
Mil (grain)	22	21	95	1.245	+ 256	+ 21	5	4	80	971	+ 365	+ 38
Sorgho (grain)	46	39	85	1.874	+ 536	+ 29	2	2	100	2.039	+ 532	+ 26
Maïs (grain)	6	6	100	2.093	+ 568	+ 27	12	10	83	1.474	+ 970	+ 66
Riz pluvial (paddy)	11	11	100	966	+ 1.515	+ 157	1	1	100	1.547	+ 705	+ 46
Cotonnier (coton grain)	7	7	100	1.629	+ 433	+ 27	12	10	83	1.240	+ 423	+ 34
Arachide (gousses)	31	27	87	1.412	+ 274	+ 19	113	81	71	1.661	+ 119	+ 7

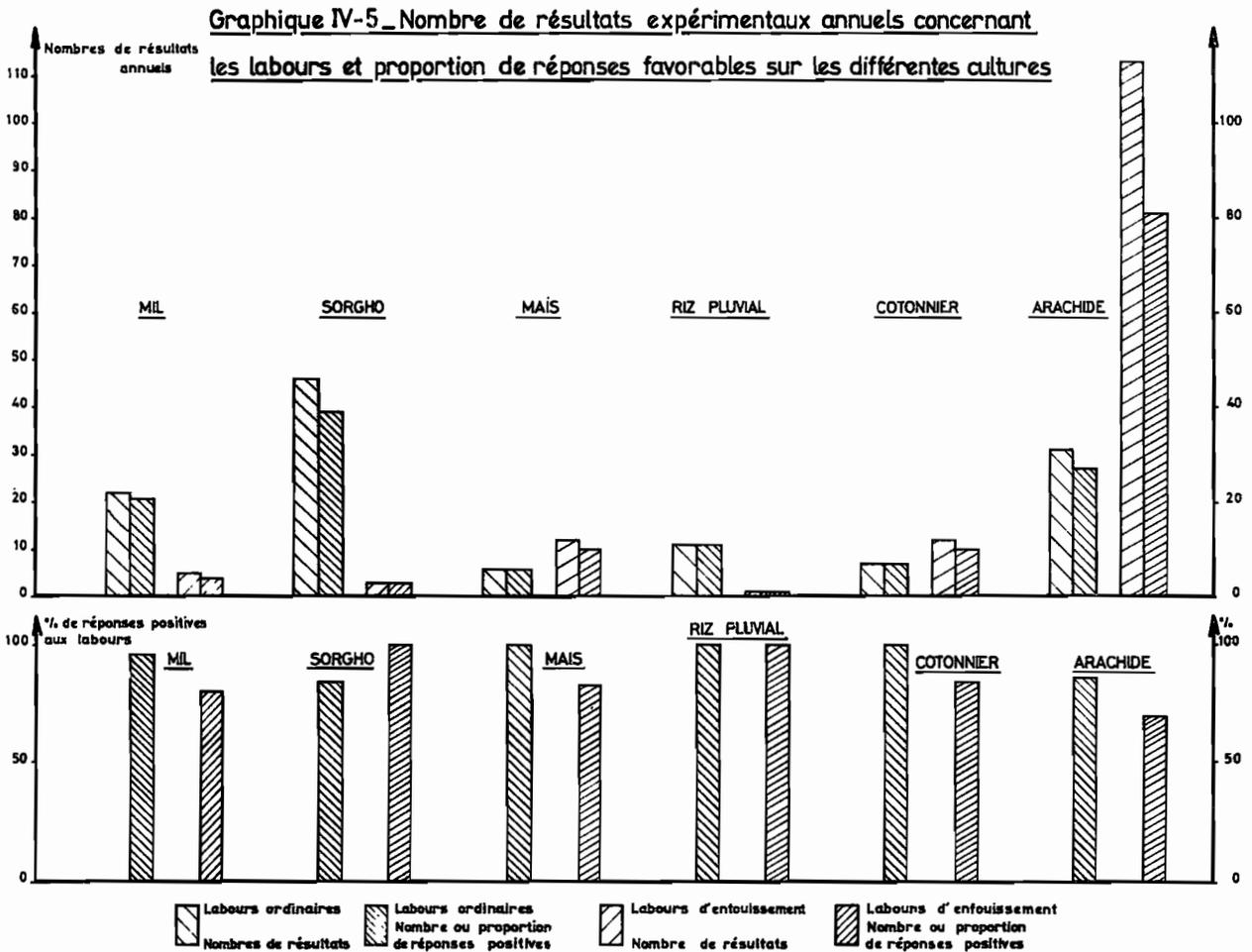
A cet égard, les labours d'enfouissement de matière verte et de pailles peuvent être regardés comme des modalités particulières de réalisation des labours, produisant sur les propriétés physiques du sol les mêmes effets avec, en supplément, l'action spécifique de la matière végétale enfouie. Les effets sur les rendements des cultures sont comparables et, dans certains cas, supérieurs à ceux des labours ordinaires, pour la quasi-totalité des plantes. Seule l'arachide semble faire, jusqu'à présent, exception à cette règle, car les résultats obtenus après labours d'enfouissement, s'ils sont, dans l'ensemble, favorables à cette technique, présentent cependant une proportion plus forte de réponses négatives ou nulles que pour toutes les autres cultures. Il ne suffit pas de constater le fait mais de rechercher les causes de cette anomalie. A cet égard, plusieurs hypothèses ont été avancées qu'il conviendra de vérifier.

Graphique IV_4_ Effets comparés des labours sur les rendements des différentes cultures.



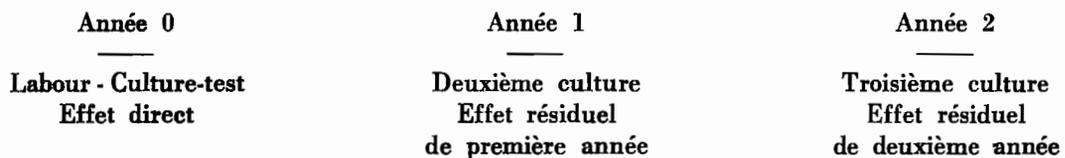
L'ensemble de ces résultats expérimentaux vient confirmer ce que laissait prévoir l'analyse des effets des labours sur le sol et l'enracinement des plantes : amélioration de la structure et de la porosité favorisant le développement racinaire et, par ce biais, de la croissance végétative et de la production agricole.

On examinera maintenant les effets résiduels des labours, c'est-à-dire la manière dont se conservent, dans le temps, les effets sur le sol et les rendements, ainsi que les effets cumulatifs produits sur sols et cultures par les actions répétées, dans le temps, des labours.



3) LES EFFETS RESIDUELS DES LABOURS SUR LE SOL ET LES CULTURES

On étudiera ces effets au cours de la première puis de la deuxième année qui ont suivi la culture-test, c'est-à-dire celle qui a été précédée d'un labour. Le schéma de succession est ainsi le suivant :



Au cours de ces trois années n'intervient aucun autre travail profond du sol que le labour qui a précédé la culture-test. On examinera ensuite l'évolution pluriannuelle de la structure du sol et des rendements dans différentes rotations.

a) EFFETS RESIDUELS DE PREMIERE ANNEE

EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE SUR LE SOL

L'examen des profils culturaux effectués pendant la saison sèche qui suit la culture-test fait apparaître, sur l'épaisseur de la couche labourée, la superposition de deux horizons :

un horizon superficiel, épais de 3 cm à 7 cm environ, dont la structure a été en grande partie détruite par les pluies et les façons d'entretien ; elle est à nouveau fondue ou particulière et ne se distingue guère de celle du témoin non labouré ;

un horizon sous-jacent dont la limite inférieure correspond au fond du labour ; dans cet horizon, les éléments structuraux créés par le labour sont plus ou moins bien conservés.

Dans tous les cas, la conservation de la structure est nettement meilleure sous la ligne de semis que dans les interlignes.

Le degré de conservation de la structure dans cet horizon dépend d'un certain nombre de facteurs qui sont les suivants, classés approximativement dans l'ordre d'importance croissante :

- la répartition des pluies pendant l'hivernage précédent et l'agressivité de ces pluies ;
- les caractéristiques du labour et son modelé ;
- les techniques culturales associées à la plante-test ;
- le type de labour : avec ou sans enfouissement de matière organique ;
- la nature de la plante-test.

Pour la commodité de l'exposé et malgré le caractère un peu arbitraire de cette démarche, on classera ces facteurs en deux groupes : facteurs secondaires et principaux.

FACTEURS SECONDAIRES DE CONSERVATION DU PROFIL : PLUVIOMÉTRIE, TECHNIQUES CULTURALES ASSOCIÉES A LA PLANTE-TEST, CARACTÉRISTIQUES DU LABOUR

L'allure de la pluviométrie et l'agressivité des pluies pendant l'hivernage exercent une influence directe et indirecte sur l'évolution du sol. L'agressivité des pluies agit directement sur le tassement du sol, la battance et la dégradation de la structure. L'abondance et la répartition des pluies interviennent indirectement par le biais de la croissance végétale, du développement du système racinaire et du couvert végétal. C'est pourquoi, sur des labours identiques, avec les mêmes techniques culturales et la même plante on peut observer, pendant deux années consécutives, sur le même sol, une évolution très différente du profil cultural, si l'allure de la saison des pluies diffère d'une année à l'autre.

C'est, en particulier, ce qu'a noté SÉGUY (90) à Séfa, au cours des années 1968 et 1969. Il a procédé chaque fois à des essais de labour de préparation sur riz. Les labours ont été réalisés de la même façon les deux années et sur les mêmes emplacements. En 1968, la pluviométrie a été très déficitaire et de faible agressivité ; en 1969, au contraire, elle fut abondante et les pluies, notamment celles de début de saison, furent très agressives. SÉGUY procéda au cours des deux hivernages à des observations périodiques de profils culturaux et à des mesures de densité apparente. Il mit ainsi en évidence, au cours de l'hivernage 1968, une très bonne conservation de la structure et de la porosité créées par le labour. Celles-ci se maintiennent presque intactes jusqu'à la récolte. Pendant la saison des pluies suivante, au contraire, le tassement du sol fut beaucoup plus rapide et la reprise en masse plus accentuée ; les porosités baissèrent assez vite dans les différentes couches et, à la récolte, avaient presque rejoint le niveau du témoin non travaillé. Les effets du labour sur la croissance végétale du riz et les rendements furent cependant très importants dans les deux cas. On peut penser que pour la seconde année, même si, quantitativement, la porosité a baissé au cours du temps, il a dû subsister une modification qualitative de cette porosité (proportion plus élevée de pores de gros diamètre) dont a continué à bénéficier le système racinaire.

Les caractéristiques du labour et son modelé influent sur la capacité de résistance à la destruction par les pluies et par les piétinements consécutifs à l'exécution des binages.

Un labour motteux résistera mieux qu'un labour déjà émiétté au moment de sa réalisation ; un labour dressé avec un foisonnement important sera préférable à un labour jeté ou couché. Un labour à plat résistera beaucoup mieux à l'érosion qu'un labour en billons dans ces sols à dominante sableuse. Il n'est pas jusqu'à l'orientation du labour par rapport à la direction habituelle des pluies qui ne puisse avoir son importance : lorsque les bandes de terre sont retournées face à cette direction privilégiée, l'attaque du labour par les pluies est beaucoup plus marquée.

Les techniques culturales associées à la plante-test ont également une grande incidence sur la conservation du profil. Et tout d'abord la date de semis. Si, une fois le labour exécuté, le semis est plus ou moins retardé, la conservation de la structure en est gravement affectée. Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur ce point important et de le détailler davantage.

Les façons d'entretien jouent également un grand rôle. Plus elles sont nombreuses et plus elles risquent de tasser le sol et de détruire la structure créée par le labour. Autant que le nombre de binages, leur répartition dans le temps et les conditions de leur réalisation (type d'outil, humidité du sol) semblent avoir d'importance. Quand il s'agit d'arachide, les façons de récolte influent également sur le profil cultural : la lame souleveuse travaille le sol sur 5 cm à 10 cm de profondeur ; ce travail intéresse environ le tiers de la superficie du champ.

FACTEURS PRINCIPAUX DE CONSERVATION DU PROFIL, TYPES DE LABOURS ET NATURE DE LA PLANTE-TEST

Ce sont les deux derniers facteurs cités qui paraissent avoir le plus d'importance sur la conservation du profil cultural :

le type de labour : avec ou sans enfouissement,
la nature de la plante-test.

Ce sont également ceux qui se prêtent le mieux à des observations précises, et c'est pourquoi leur étude a été davantage poussée que celle des facteurs précédents.

Les comparaisons entre les labours ordinaires et les labours d'enfouissement ont malheureusement rarement pu être faites dans les mêmes essais. Malgré cela, les observations effectuées sur des essais différents sont suffisamment nombreuses et intéressent des situations suffisamment diversifiées pour qu'on puisse souligner le grand intérêt de l'incorporation de matière végétale pour la conservation du profil cultural créé par le labour.

Partout où de la matière organique a été enfouie, la conservation de la structure et de la porosité est nettement plus visible. La reprise en masse est moins accentuée. Le fond du labour, souligné par quelques débris de matière organique non décomposée est mieux marqué, la différence de compacité avec la couche sous-jacente est plus accusée. Il semble, à l'examen comparé des profils, que le degré de conservation du profil cultural soit en relation directe avec la quantité de matière végétale enfouie.

Celle-ci joue d'abord un rôle mécanique d'armature du sol et protège celui-ci contre le tassement par les pluies et le piétinement. Cet aspect du problème revêt d'autant plus d'importance que les labours sont exécutés plus tôt en saison et qu'ils risquent davantage d'être exposés aux pluies de la fin d'hivernage. C'est sans doute pour cette raison qu'il apparaissait dangereux, il y a une vingtaine d'années, de vouloir travailler le sol sans en même temps enfouir une quantité notable de matière organique, car les labours sur engrais vert ou jachère étaient à cette époque réalisés très tôt en saison (mi-août ou début septembre).

Ce rôle d'armature continue à se manifester les années suivantes, car la matière organique se décompose progressivement et libère des espaces vides qui peuvent être utilisés par des racines ; elle contribue ainsi au maintien de la porosité.

La nature de la plante-test est sans doute le facteur déterminant dans la conservation du profil cultural. On note à cet égard une opposition assez tranchée entre les céréales, d'une part, et les autres plantes : cotonnier et arachide. Dans le premier cas, la structure du sol est souvent bien conservée, alors que dans le second il y a tendance à la reprise en masse généralisée.

En dehors des techniques culturales associées à la plante, deux éléments entrent en jeu pour expliquer le rôle joué par la nature de la plante dans la conservation du profil cultural :

le développement du couvert végétal,
l'action du système racinaire.

Il semble qu'ici ce soit le second élément qui soit prépondérant. Dans de bonnes conditions de fertilité, en effet, le développement du couvert végétal peut être regardé comme satisfaisant pour toutes les cultures à l'exception toutefois du maïs qui couvre imparfaitement le sol, même en fin de saison. On ne peut donc dire qu'arachide et cotonnier se caractérisent par une protection du sol insuffisante.

Par contre, ainsi qu'on l'a vu plus haut, l'action du système racinaire sur le sol est beaucoup plus marquée dans le cas de céréales que dans celui de l'arachide et du cotonnier. Les racines fasciculées des céréales (et en général des graminées) tissent un réseau qui maintient et conserve les éléments structuraux créés par le labour ; une telle action se manifeste de façon beaucoup moins évidente pour l'arachide et le cotonnier.

Il y a naturellement de nombreuses interactions entre ces divers facteurs de conservation du profil et notamment entre les deux dernières catégories étudiées : type de labour et nature de la plante-test. Tel l'exemple du maïs qui, s'il est précédé d'un labour d'enfouissement, conserve efficacement le profil cultural alors que ce n'est pas le cas lorsqu'il n'a subi qu'un labour ordinaire de préparation.

Les mesures de pénétrométrie et de densité apparente viennent appuyer et préciser ces diverses observations concernant l'influence du type de labour et de la plante-test sur les effets résiduels des labours sur le sol.

De nombreux relevés pénétrométriques ont été effectués, au Sénégal, sur différents essais à la fin de la saison sèche qui a succédé à la culture-test (sol très sec).

Le graphique IV-6 fournit un exemple de courbes pénétrométriques obtenues après culture de riz précédée ou non d'un labour.

Une vue d'ensemble des résultats obtenus est donnée dans le tableau IV-95, en annexe. Les résultats sont classés suivant la nature de la culture-test. On a choisi de présenter dans ce tableau les valeurs comparées des forces de résistance à la pénétration de 0 à 15 cm de profondeur, sur les parcelles ayant été labourées un an ou un an et demi avant, et sur parcelles non travaillées. Le rapport de ces forces, ou coefficient de cohésion, est d'autant plus bas que l'ameublissement, et donc la structure, créés par le labour sont mieux conservés.

A partir de ces données, les moyennes des coefficients de cohésion ont été calculées pour chaque plante-test. Ces moyennes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-19
COMPARAISON DES INDICES DE CONSERVATION DE L'AMEUBLISSEMENT
(coefficient de cohésion)
APRÈS DIFFÉRENTES CULTURES-TESTS

Nature de la plante-test	Labours ordinaires		Labours d'enfouissement	
	Nombre de résultats	Moyenne des coefficients de cohésion	Nombre de résultats	Moyenne des coefficients de cohésion
Mil	3	76	2	54
Sorgho	4	64	2	58
Maïs	3	126	4	51
Riz	4	30	0	—
Cotonnier	2	89	0	—
Arachide	5	79	4	74

L'examen du tableau confirme bien ce qui avait pu être déduit de l'observation des profils culturaux :

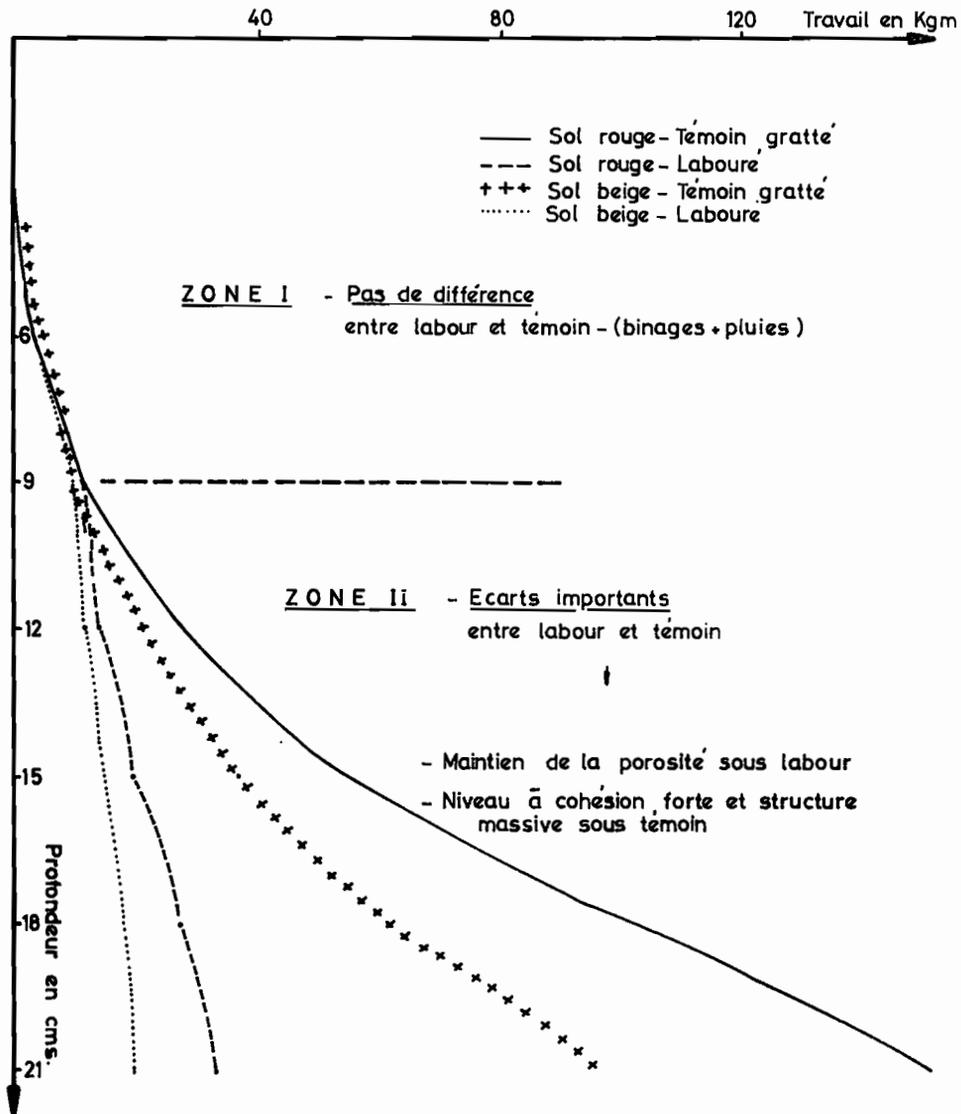
conservation de l'ameublissement après une année de culture dans tous les cas, sauf un : celui du maïs précédé de labour ordinaire (la cohésion devient au contraire plus forte que sur témoin) ;

ameublissement mieux conservé après labour d'enfouissement qu'après labour ordinaire, la différence étant parfois très marquée (maïs) ;

meilleure conservation de l'ameublissement après céréales qu'après arachide ou cotonnier (sauf exception du maïs après labour ordinaire).

On notera également, dans le cas de l'arachide, que la mesure pénétrométrique se révèle plus sensible que les impressions visuelles et tactiles ressenties lors de l'observation des profils culturaux. Celles-ci auraient amené assez facilement l'observateur à conclure que l'effet résiduel du labour après arachide était quasi nul alors que les mesures montrent que la conservation de l'ameublissement de la structure, bien que plus faible qu'ailleurs, n'est cependant pas négligeable.

GRAPHIQUE IV - 6
Conservation de l'effet d'ameublissement du labour de préparation
après culture de riz sur deux sols de Séfa (Casamance)
 D'après SEGUY (1970)



Outre les relevés pénétrométriques, des mesures de densités apparentes permettant le calcul des porosités ont été réalisées peu après les relevés pénétrométriques, en début de saison des pluies, au moment du semis de la culture suivante. Elles ont été rassemblées dans le tableau ci-après.

Le tassement du sol étant toujours important dans l'horizon tout à fait superficiel, on a choisi de présenter dans ce tableau les mesures de porosité dans l'horizon sous-jacent allant de 5 à 20 cm (généralement 5 à 15 cm). C'est en effet dans cet horizon que les différences entre témoin et sol labouré apparaissent le plus nettement.

TABLEAU IV-20
CONSERVATION DE LA POROSITÉ CRÉÉE PAR LE LABOUR APRÈS DIFFÉRENTES CULTURES
(mesures effectuées l'année suivante)

Plante	Localisation	Sol	Essai	Type de labour	Année de la culture	Porosité % dans l'horizon 5-20 centimètres		Comparaison statistique	Source
Mil	Bambey	Dior	Régénération profil	Enfouis.	1968	43,8	45,3	—	NICOU (69)
Sorgho	Bambey	Dior	Profond. travail × Doses d'azote	Ordinaire Ordinaire	1967	39,2	41,5	+	POULAIN (85) TOURTE
	Bambey	Dek			1967	38,1	40,4	+	
Maïs	Sinthiou-Malème	FTL	Régén. du profil	Enfouis.	1969	43,8	45,6	+	NICOU (69)
	Séfa	FTL	Régén. du profil	Enfouis.	1968	43,8	50,5	+	NICOU (74)
Riz	Séfa	Rouge	Techniques culturales	Ordinaire	1968	41,0	50,0	++	SÉGUY (90)
		Beige	Techniques culturales	Ordinaire	1968	40,0	50,0	++	
		Rouge de T	Techniques culturales	Ordinaire	1968	44,0	52,0	++	
		Gris	Techniques culturales	Ordinaire	1968	46,0	51,0	++	
	Néma	Rouge	Techniques culturales	Ordinaire	1968	48,0	51,0	—	SÉGUY (90)
		Beige	Techniques culturales	Ordinaire	1968	48,0	50,0	—	
Arachide	Bambey	Dior	S × P × K × Labours	Ordinaire	1966	39,6	38,9	0	POULAIN (82)

Comme on le voit, la conservation de la porosité après céréale est souvent assez bonne. Elle peut même être remarquable, comme pour le riz pluvial à Séfa ; on notera dans ce cas particulier la très bonne convergence entre les mesures de porosité et celles de pénétrométrie. Pour l'arachide, le seul exemple disponible ne montre pas de conservation de la porosité.

En résumé, on retiendra donc qu'après la culture-test, il existe toujours une conservation de l'état structural créé par le labour, mais que le degré de conservation de cet état structural peut être très variable et dépend principalement de la nature de la plante-test et du type de labour (avec ou sans enfouissement).

Il est important de voir maintenant quel peut être l'effet de cette structure résiduelle sur les rendements des cultures suivantes.

EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE SUR LES CULTURES

On les étudiera en fonction de la nature de la plante.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS MIL

Dans les essais, le mil a toujours été suivi d'une culture d'arachide. C'est donc sur cette plante que seront testés les effets résiduels de première année du labour qui a précédé la culture du mil. Les effets résiduels sur les rendements en gousses ont pu être mesurés dans sept essais au Sénégal (tableau IV-21).

TABLEAU IV-21
EFFETS RÉSIDUELS, SUR L'ARACHIDE DE LA SUCCESSION MIL-ARACHIDE
DU LABOUR AYANT PRÉCÉDÉ LA CULTURE DE MIL
(gousses)

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Type de labour ayant précédé le mil	Année de la culture (arachide)	Rendement témoin (kg/ha)	Effets résiduels du labour		Comparaison statistique	Source
						(kg/ha)	(%)		
Peu évolués sur sables dunaires 450-650 mm	Louga Bambey	Régén. Prof. Régén. Prof.	Enfouis. Enfouis.	1969	1.474	+ 123	+ 8	0	NICOU (69)
				1969	1.558	+ 324	+ 21	+	
FTL sur grès du CT sablo-argileux 700-1.300 mm	Boulel Boulel Séfa Séfa Séfa	Conserv. Prof. Conserv. Prof. Champs Prév. Champs Prév. Régén. Prof.	Ordin. Ordin. Enfouis. Enfouis. Ordin.	1968	2.220	+ 17	+ 1	0	NICOU (70) NICOU (70) POCTHER (78) POCTHER (78) NICOU THIROUIN (74)
				1969	1.801	+ 496	+ 28	++	
				1968	2.983	+ 275	+ 9	—	
				1969	1.223	— 21	— 2	—	
				1969	1.511	+ 384	+ 25	++	
Ensemble (moyennes)					1.824	+ 228	+ 13	—	

Aux modifications de structure observées sur le sol correspondent donc des effets résiduels sur les rendements de l'arachide qui peuvent être sensibles et statistiquement significatifs.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS SORGHO

Dans la plupart des essais, c'est l'arachide qui succède au sorgho. On trouve cependant un cas de succession sorgho sur sorgho. Les résultats complets figurent dans le tableau IV-96, en annexe. Ils sont résumés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-22
TABLEAU RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS DU LABOUR SUR LA DEUXIÈME CULTURE
DE LA SUCCESSION SORGHO-ARACHIDE OU SORGHO-SORGHO

Sols	Nature de la culture	Localisation et pluviométrie	Type d'essai	Type de labour avant sorgho	Nombre de résultats		Rendement moyen témoin (kg/ha)	Effets résiduels moyen du labour	
					Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
FTL sur grès du CT sablo-argileux	Arachide	Sine-Saloum 700-1.000 mm	Champs de prévilgaris.	Ordinaire	7	5	1.807	+ 92	+ 5
		Sénégal orient. Hte Casamance 1.000-1.200 mm	Champs de prévilgaris.	Ordinaire	4	3	2.441	+ 123	+ 5
		Ensemble (moyennes pondérées)				11	8	2.037	+ 104
FTL sur grès du CT sablo-argileux	Sorgho	Sénégal Oriental 1.000 mm	Essais statistiques	Enfouis.	1	1	1.618	+ 705	+ 43

Comme on le voit, l'effet résiduel de première année est beaucoup plus marqué sur sorgho que sur arachide, mais il s'agit alors de l'effet résiduel d'un labour d'enfouissement, tandis que pour l'arachide on a affaire à des labours ordinaires. Cet effet résiduel apparaît également dans l'enracinement du sorgho. Des mesures de densité d'occupation racinaire ont été effectuées sur le sorgho de deuxième année dans l'essai mentionné dans le tableau ci-dessus : la densité d'occupation racinaire passe de 0,51 g/dm³ sur le témoin à 0,70 g/dm³ sur les parcelles ayant été labourées deux ans avant (69).

Concernant la succession sorgho-arachide, l'IRHO, dans un essai implanté à Darou *, ne trouve pas, sur arachide, d'effet résiduel du labour d'enfouissement de jachère ou d'engrais vert qui a précédé le sorgho. En moyenne sur six ans (1962-1967) le témoin est de 2.394 kg/ha contre 2.357 kg/ha pour le traitement labour. Ce dernier n'est supérieur au témoin qu'une année sur six.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS MAÏS

Ceux-ci n'ont été testés que sur céréales : mil, sorgho et riz, et ne concernent que des labours d'enfouissement. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-23
EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE DU LABOUR
SUR DIFFÉRENTES PLANTES SUCCÉDANT A UN MAÏS

Sols	Nature de la culture	Localisation et pluviométrie	Désignation de l'essai	Type de labour avant maïs	Année de la 2 ^e culture	Rendement témoin (kg/ha)	Effet résiduel du labour		Comparaison statistique	Source
							(kg/ha)	(%)		
FTL sur grès du CT sablo-argileux	Mil	Séfa 1.300 mm	Régén. prof.	Enfouis.	1969	2.030	+ 91	+ 4	0	NICOU (74)
	Sorgho	Sinthiou-M. 1.000 mm	Régén. prof.	Enfouis.	1969	2.325	+ 590	+ 25	++	NICOU (69)
	Riz	Séfa 1.300 mm	Champs de prévilgaris.	Enfouis.	1969	1.546	+ 234	+ 15	—	POCTHIER (78)

Les effets résiduels sont sensibles sur riz et sur sorgho, moins nets sur mil. Ils se traduisent également par une amélioration de l'enracinement ; dans les essais « Régénération du profil » de Sinthiou-Malème et Séfa, les densités d'occupation racinaire mesurées sur sorgho et mil sont les suivantes (en g/dm³) :

	Témoin	Effet résiduel labour
Sinthiou-Malème : sorgho	0,66	0,86
Séfa : mil	0,28	0,32

* Essai jachère-engrais vert 1^{er} sur sol hydromorphe.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS RIZ

Seul l'effet résiduel des labours ordinaires de préparation sur riz a été testé.

En 1968, SÉCUIY (90) mettait en place à Séfa, en Moyenne-Casamance, et à Néma et Sindian, en Basse-Casamance, des essais destinés à tester l'influence d'un labour de préparation sur le riz pluvial. Ces essais étaient implantés sur divers types de sols. Ils étaient bâtis sur un modèle très simple et comportaient seulement deux parcelles de 200 m² chacune, l'une travaillée très superficiellement (témoin), l'autre labourée.

Après la récolte, des examens de profils culturaux accompagnés de relevés pénétrométriques et de mesures de porosité furent effectués. Les résultats en ont été mentionnés plus haut (tableaux IV-19 et IV-20 ; graphique IV-6). Ils mettent en évidence l'excellente conservation, après culture de riz, de la structure créée par le labour de préparation.

En juin 1969, chaque parcelle fut alors subdivisée en deux, de façon à présenter les quatre combinaisons suivantes :

Préparation 1968 :	Préparation 1969 :	Traitement 1969 :
Grattage superficiel	Grattage superficiel Labour	Témoin Effet direct
Labour	Grattage superficiel Labour	Effet résiduel Effet cumulatif

Les parcelles furent à nouveau semées en riz pluvial (variété 63-83). Des observations de profils culturaux accompagnées de mesures de densité apparente, de développement végétatif et de densités d'occupation racinaires furent effectuées en cours de campagne. On trouvera, dans le tableau IV-24, les valeurs des densités racinaires et celles des rendements en paddy avec les différents traitements.

TABLEAU IV-24
VALEURS COMPARÉES DES DENSITÉS D'OCCUPATION RACINAIRES ET DE RENDEMENTS EN PADDY
DANS LES ESSAIS DE TECHNIQUES CULTURALES SUR RIZ EN CASAMANCE

Localisation	Types de sols (40)	Densité d'occupation racinaire g/dm ³ dans l'horizon 0-30 cm				Rendements en quintaux de paddy			
		Témoin	Labour résiduel	Labour direct	Labour cumulatif	Témoin	Labour résiduel	Labour direct	Labour cumulatif
Séfa	Rouge	1,66	2,44	2,50	3,22	15,7	23,5	23,7	29,0
	Beige	1,48	1,44	2,41	2,15	0	30,2	27,0	32,0
	Rouge de trans.	0,76	1,31	1,46	1,97	18,0	33,9	31,2	37,2
	Gris de bas-fond	1,17	2,00	2,24	2,32	0	18,5	19,9	23,5
Néma	Rouge	1,02	1,20	2,02	2,26	3,0	4,0	14,5	14,5
	Beige	1,74	1,59	2,18	2,00	2,0	8,0	17,0	24,0

On note que, comme l'année précédente, l'effet des différents traitements labour est très important, tant sur le système racinaire du riz que sur son développement végétatif * et sa production en paddy. En l'absence de travail du sol préalable, les productions sont nulles sur certains sols. On remarque également, pour chaque point d'essai, une certaine corrélation entre les valeurs de densité d'occupation racinaire et les rendements en paddy.

Mais ce qui est particulièrement important à noter ici est l'importance de l'effet résiduel du labour de l'année précédente à Séfa, tant en ce qui concerne le système racinaire que les rendements : cet effet est tout à fait comparable à l'effet direct du labour de l'année.

Ceci est à rapprocher des observations sur les sols mentionnées plus haut, faisant ressortir après culture de riz une bonne conservation de la structure créée par le labour de préparation.

A Néma, par contre, où les sols sont très dégradés par la culture, plus sableux et plus pauvres en matière organique, où par ailleurs la pluviométrie est très forte (1.600 mm) et agressive, la conservation de la structure est plus éphémère et l'effet résiduel sur les rendements peu marqué.

Les données concernant les rendements sont reprises sous une autre forme dans le tableau IV-25 de façon à comparer, en valeur absolue et relative, les effets directs, résiduels et cumulatifs des labours.

* Mesures non mentionnées dans le tableau IV-24 pour ne pas le surcharger.

TABLEAU IV-25
COMPARAISON DES EFFETS RÉSIDUELS, DIRECTS ET CUMULATIFS DES LABOURS
SUR LES RENDEMENTS EN PADDY EN CASAMANCE

Localisation	Types de sols	Rendement témoin (kg/ha)	Effets des labours					
			Résiduel		Direct		Cumulatif	
			(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
Séfa	Rouge	1.570	+ 780	+ 50	+ 800	+ 51	+ 1.330	+ 85
	Beige	0	+ 3.020	—	+ 2.700	—	+ 3.200	—
	Rouge de trans.	1.800	+ 1.590	+ 88	+ 1.320	+ 73	+ 1.920	+ 107
	Gris de bas-fond	0	+ 1.850	—	+ 1.990	—	+ 2.350	—
	Moyenne	1.685	+ 1.810	+ 107	+ 1.703	+ 101	+ 2.200	+ 131
	Rouge	300	+ 100	+ 33	+ 1.150	+ 383	+ 1.150	+ 383
	Beige	200	+ 600	+ 300	+ 1.500	+ 750	+ 2.200	+ 1.100
	Moyenne	250	+ 350	+ 140	+ 1.325	+ 530	+ 1.675	+ 670
Moyenne générale		645	+ 1.323	+ 205	+ 1.577	+ 244	+ 2.025	+ 314

Comme on le voit, en moyenne sur les six essais, l'effet résiduel du labour sur riz se traduit par un triplement du rendement. Cependant, la répétition du labour chaque année accroît encore cette plus-value.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS COTONNIER

Il n'y a pas d'exemple, dans les essais de l'IRAT, où l'effet résiduel d'un labour de préparation sur cotonnier ait été testé sur la culture suivante.

Par contre, ces exemples existent pour les labours d'enfouissement. Il s'agit dans tous les cas de résultats concernant les champs de prévilgarisation de Casamance et du Sénégal oriental.

Le cotonnier a été précédé d'une jachère brûlée, sans travail (témoin) ou d'une jachère enfouie. Le cotonnier succédant à la jachère brûlée n'a subi que des binages superficiels. Au contraire, pour le cotonnier succédant à la jachère enfouie, il y a eu un buttage en milieu de saison. Après récolte du coton, les billons sont détruits par passage de dents en sec et le terrain égalisé. L'effet résiduel testé sur la culture suivante est donc celui du labour d'enfouissement auquel s'ajoute le travail du sol réalisé au moment du buttage puis de l'égalisation du terrain.

La nature de la culture succédant au cotonnier a varié suivant les situations : arachide, maïs, sorgho, riz ou autre, cotonnier. Les effets résiduels, sur les rendements de cette culture, du labour d'enfouissement et du buttage sur le cotonnier sont rassemblés dans le tableau IV-26.

On peut juger, d'après ces résultats, de l'importance des effets résiduels du labour d'enfouissement de jachère et du buttage après cotonnier. Ils se manifestent sur toutes les plantes mais plus particulièrement sur les céréales. On ne peut malheureusement pas rapprocher ces effets résiduels sur les cultures des effets résiduels sur le sol après culture de cotonnier, car les quelques mesures et observations qui ont pu être faites à ce sujet se rapportaient à d'autres conditions (labour ordinaire, pas de destruction des billons).

Dans les mêmes essais, sur certaines de ces cultures, on peut comparer l'effet résiduel du labour d'enfouissement à l'effet direct labour de préparation. La comparaison est présentée dans le tableau IV-27.

TABLEAU IV-26
EFFET RÉSIDUEL DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE ET DU BUTTAGE SUR COTONNIER
SUR LES RENDEMENTS DE LA CULTURE SUIVANTE
d'après POCHIER (78)

Sols et pluviométrie	Nature de la culture	Localisation	Année de comparaison	Rendement du témoin (kg/ha)	Plus-value sur labour	
					(kg/ha)	(%)
Sols ferrugineux tropicaux lessivés sur grès du Continental Terminal sablo-argileux 900 - 1.100 m	Arachide	Missirah	1968	2.416	+ 329	+ 14
		Missirah	1969	2.463	+ 122	+ 5
		Moyenne	1968-1969	2.440	+ 226	+ 9
	Maïs	Maka	1967	1.977	+ 525	+ 27
		Maka	1968	1.567	+ 921	+ 59
		Moyenne	1967-1968	1.772	+ 723	+ 41
Cotonnier	Maka	1969	1.666	+ 326	+ 20	
Sénégal oriental	Sorgho	Sinthiou	1969	1.337	+ 1.937	+ 145
	Riz	Vélingara	1969	3.064	+ 1.230	+ 40

TABLEAU IV-27
COMPARAISON DE L'EFFET DIRECT DU LABOUR DE PRÉPARATION
ET DE L'EFFET RÉSIDUEL DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE
DANS LA ROTATION JACHÈRE-COTONNIER-CULTURE

Sols et pluviométrie	Nature de la culture	Localisation	Année de comparaison	Rendement du témoin (kg/ha)	Plus-values sur labour (kg/ha)		Plus-values sur labour (%)	
					Effet résiduel	Effet direct	Effet résiduel	Effet direct
FTL sur grès du CT sablo-argileux 900-1.100 mm	Arachide	Missira	1969	2.463	+ 122	+ 196	+ 5	+ 8
	Cotonnier	Maka	1969	1.666	+ 326	+ 652	+ 20	+ 39
	Riz	Vélingara	1969	3.064	+ 1.230	+ 257	+ 40	+ 8

Sur riz, l'effet résiduel semble plus important que l'effet direct. Pour arachide et cotonnier, il y a au contraire avantage à refaire un labour de préparation. Ces résultats isolés demandent à être confirmés.

EFFETS RÉSIDUELS APRÈS ARACHIDE

La culture succédant à l'arachide est habituellement une céréale ; cependant, il peut s'agir parfois d'une autre arachide. Tel est le cas d'un essai sur arachide continue mis en place par POULAIN (82), à Bambey, en sol « dior ». Il s'agit d'un essai factoriel « S × P × K × Labours » où chaque année on peut effectuer la comparaison entre les quatre traitements suivants :

- témoin non labouré,
- labour effectué chaque année : effet cumulatif des labours,
- labour effectué une année sur deux : effet direct du labour de l'année,
- labour effectué une année sur deux : effet résiduel du labour de l'année précédente.

TABLEAU IV-28
EVOLUTION DES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE (gousses, kg/ha)
SUR LES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS DE L'ESSAI S×P×K×LABOURS
SUR ARACHIDE CONTINUE A BAMBEY EN SOL « DIOR »
d'après POULAIN (82)

Année	Traitements	Témoin non travaillé	Labour une année sur deux		Labour chaque année
			Labour de l'année	Labour de l'année précédente	
1965	866	1.279	—	—
1966	256	565	367	517
1967	733	902	706	973
1968	827	1.073	601	946
1969	999	1.269	1.096	1.307

TABLEAU IV-29
EVOLUTION DES RÉPONSES DE L'ARACHIDE (gousses, kg/ha) AUX LABOURS
EN FONCTION DES COMBINAISONS DE TRAITEMENT SUR LE MÊME ESSAI
d'après POULAIN (82)

Années	Réponses Facteurs *	Réponses moyennes	Réponse avec labour de l'année		Réponse avec labour de l'année précédente	
			Absence	Présence	Absence	Présence
1965	La	+ 413 ^{xx}				
1966	Lp La	+ 32 + 229 ^{xx}	+ 111	— 48	+ 310 ^{xx}	+ 150
1967	Lp La	+ 22 + 218 ^{xx}	— 27	+ 72	+ 169 ^{xx}	+ 267 ^{xx}
1968	Lp La	— 177 ^{xx} + 296 ^{xx}	— 226 ^{xx}	— 127 ^x	+ 246 ^{xx}	+ 345 ^{xx}
1969	Lp La	+ 68 + 240 ^x	+ 97	+ 38	+ 270 ^x	+ 211 ^x

* La = Labour de l'année. Lp = Labour de l'année précédente.

Les tableaux IV-28 et IV-29 fournissent l'évolution des rendements et des effets, suivant les différents traitements.

Comme on le voit, il n'y a pas d'effet résiduel du labour de l'année précédente sur le rendement de l'arachide. Il y a une seule réponse significative, en 1968, et elle est négative. Les mesures pénétrométriques effectuées sur cet essai (tableau IV-95, en annexe) mettent pourtant en évidence un certain effet résiduel d'ameublissement.

Il n'y a pas davantage d'effet cumulatif du labour par rapport à son effet direct annuel.

La conclusion pratique découlant de ces résultats est que, pour un tel système de culture, c'est le labour répété chaque année qui permet d'atteindre, sur plusieurs années, les meilleurs rendements.

Le cas le plus habituel, cependant, est qu'à l'arachide succède une céréale. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'essais permettant de tester l'effet résiduel sur la céréale d'un labour ordinaire sur arachide. Dans les essais de techniques culturales, les traitements de labours sont, en effet, répétés chaque année sur les différentes cultures, de sorte que les effets résiduels ne sont pas testés.

Les résultats sont, par contre, assez nombreux lorsque c'est un labour d'enfouissement qui a précédé l'arachide. C'est qu'en effet la succession culturale : régénération-arachide-céréale-arachide a été préconisée au Sénégal dès 1954, par TOURTE *et alii* (96) et y a été très étudiée. Au cours de la rotation de quatre à cinq ans, il n'y avait qu'un seul labour d'exécuté : le labour d'enfouissement de jachère ou d'engrais vert sur la sole de régénération. On testait ensuite l'effet résiduel de ce labour sur la céréale et la deuxième arachide de la rotation.

Le tableau IV-97, figurant en annexe, présente l'ensemble des effets résiduels du labour d'enfouissement sur la céréale de la rotation dans les essais de l'IRAT en Afrique de l'Ouest. Le tableau est résumé ci-dessous pour le Sénégal.

TABLEAU IV-30
RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT SUR LA CÉRÉALE
DE LA ROTATION RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-LÉGUMINEUSE AU SÉNÉGAL *

Sols et pluviométrie	Localisation	Type d'expérimentation	Nature de la céréale **	Nombre de résultats annuels		Rendements moyens témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours	
				Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
Peu évolués sur sables dunaires 450-700 mm	Nord et Centre Sénégal	Essais statist.	Mil	15	8	800	+ 69	+ 9
		Champs de pré vulgaris.	Mil	15	11	934	+ 119	+ 12
FT Intergrade vertisols sur sables et calcaires « dek » - 650 mm	Centre Sénégal (Bambey « dek »)	Essais statist.	Sorgho	1	0	2.072	- 295	- 14
		Champs prév.	Sorgho	2	0	2.588	- 248	- 10
FTL sur grès du CT sablo-argileux 700-1.000 mm	Sine-Saloum	Essais statist.	M - S	11	6	777	+ 97	+ 12
		Champs prév.	M - S	13	12	1.775	+ 350	+ 25
FTL sur grès du CT sablo-argileux 900-1.000 mm	Sénégal oriental	Essais statist.	M - S	7	6	839	+ 129	+ 15
		Champs prév.	M - S	5	5	1.232	+ 221	+ 22
FTL sur grès du CT sablo-argileux 1.300 mm	Casamance (Séfa)	Essais statist.	M - R	4	3	1.828	+ 72	+ 4
		Champs prév.	M	1	1	3.130	+ 202	+ 6
FTL sur grès cambrien sablo-argileux grav. 1.300-1.400 mm	Sénégal oriental (Kédougou)	Champs prév.	M - S	4	3	441	+ 311	+ 71
Ensemble (moyennes pondérées)			M - S - R	78	55	1.037	+ 141	+ 14

* La sole de régénération durait habituellement un an, mais parfois deux.

** M = Mil. S = Sorgho. R = Riz pluvial.

Dans 70 % des cas, le labour d'enfouissement de jachère ou d'engrais vert qui a précédé l'arachide fait encore sentir ses effets bénéfiques sur la céréale qui suit. Ces effets s'observent dans toutes les situations écologiques étudiées au Sénégal, sauf à Bambey en sol « dek » (où les résultats sont par ailleurs peu nombreux). Parmi les dix-huit essais ayant donné lieu à interprétation statistique complète, on note six cas où les plus-values dues à l'effet résiduel des labours sont significatives. Ces plus-values sont cependant, dans l'ensemble, assez modestes. Elles sont en moyenne de 141 kg/ha, soit 14 % du témoin. On note cependant qu'elles peuvent être sensiblement plus importantes dans certains cas : ainsi des champs de pré vulgarisation du Sine-Saloum où elles atteignent 350 kg/ha, soit 25 % de témoin. Il s'agit là d'expérimentations assez récentes (1965-1968) où le mil, très sensible aux attaques parasitaires, a été remplacé par des variétés de sorgho nouvellement sélectionnées, plus résistantes et plus productives, répondant mieux aux améliorations du milieu.

De même que pour les effets du labour, la plus-value de rendement induite par ses effets résiduels doit pouvoir être reliée à une amélioration de l'enracinement. Dans le cas particulier qui nous occupe, une seule mesure a été faite : à Bambey, en sol « dior », sur mil succédant à l'arachide, elle-même précédée ou non d'un labour d'enfouissement. Après labour, la densité d'occupation racinaire du mil dans l'horizon 10 à 20 cm est de 1,91 g/dm³ contre 1,59 g/dm³ sur le témoin (69). Ce résultat, malheureusement unique, vient appuyer l'hypothèse précédemment énoncée.

Les effets résiduels du labour d'enfouissement sur céréale succédant à l'arachide sont également testés, au Sénégal, dans les essais de l'IRHO. Le tableau IV-99, en annexe, présente l'ensemble des résultats obtenus. Ceux-ci diffèrent assez nettement des résultats précédents puisque pour les quarante-deux résultats annuels des essais analysés, il y en a seulement dix-neuf qui sont favorables aux labours. Les variations, dans un sens ou dans l'autre, sont dans l'ensemble faibles*. En moyenne, l'effet résiduel du labour se traduit par une légère moins-value de 45 kg/ha, soit 4 % du témoin.

Cette divergence avec les résultats précédents peut s'expliquer par les mêmes considérations qui ont été développées plus haut à propos des effets directs des labours d'enfouissement sur arachide (p. 932).

CONCLUSION SUR LES EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE DU LABOUR

Comme on a pu s'en rendre compte, aux effets résiduels observés sur le sol correspondent, pour toutes les plantes, des effets résiduels sur les rendements. Ceux-ci sont variables suivant le type de labour et la succession culturale. Le tableau IV-31 présente, sous forme résumée, l'ensemble des effets résiduels obtenus sur la deuxième culture.

TABLEAU IV-31
RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE DES LABOURS SUR DIFFÉRENTES CULTURES
EN FONCTION DU PRÉCÉDENT CULTURAL ET DU TYPE DE LABOUR

Nature de la culture	Précédent cultural ou culture-test	Type de labour avant culture-test	Nombre de résultats annuels		Rendement moyen témoin (kg/ha)	Effet résiduel labour	
			Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
Mil	Maïs	Enfouissement	1	1	2.030	+ 91	+ 4
	Arachide	Enfouissement	56	38	971	+ 109	+ 11
Sorgho	Sorgho	Enfouissement	1	1	1.618	+ 705	+ 43
	Maïs	Enfouissement	1	1	2.325	+ 590	+ 25
	Cotonnier	Enfouissement	1	1	1.337	+ 1.937	+ 145
	Arachide	Enfouissement	20	15	1.604	+ 250	+ 16
Maïs	Cotonnier	Enfouissement	2	2	1.772	+ 723	+ 41
Riz	Riz	Ordinaire	6	6	645	+ 1.323	+ 205
	Maïs	Enfouissement	1	1	1.546	+ 234	+ 15
	Cotonnier	Enfouissement	1	1	3.064	+ 1.230	+ 40
	Arachide	Enfouissement	2	2	1.323	+ 191	+ 14
Cotonnier	Cotonnier	Enfouissement	1	1	1.666	+ 326	+ 20
Arachide	Mil	Ordinaire	2	1	1.898	+ 192	+ 10
	Mil	Enfouissement	4	3	1.810	+ 175	+ 10
	Sorgho	Ordinaire	11	8	2.037	+ 104	+ 5
	Cotonnier	Enfouissement	2	2	2.440	+ 226	+ 9
	Arachide	Ordinaire	4	2	704	- 11	- 2

Des effets résiduels importants sont observés sur sorgho, maïs, riz et cotonnier ; ils sont moins sensibles, mais cependant non négligeables sur mil et arachide.

Il apparaît également, à l'examen du tableau, que beaucoup de combinaisons n'ont pas été testées alors que quelques-unes d'entre elles l'ont été un grand nombre de fois. Concernant l'influence du précédent cultural, on peut noter que l'effet résiduel est habituellement plus important après céréale qu'après arachide, ce qui confirme ce que laissait prévoir l'examen des profils culturaux. Par contre, les données disponibles concernant les effets résiduels après labour ordinaire sont trop peu nombreuses et ne permettent pas de faire la comparaison entre les deux types de labours, sauf dans un cas : celui de la succession mil-arachide. Il y a alors égalité entre les deux types de labours.

b) EFFETS RESIDUELS DE DEUXIEME ANNEE

Ces effets ont été testés uniquement sur labours d'enfouissement et principalement sur la rotation : régénération-arachide-céréale-arachide. Cependant, quelques résultats commencent à être disponibles pour d'autres successions culturales.

* Sauf dans le cas de l'essai « Sorgho-Engrais vert » implanté à Darou, sur sol rouge, où l'effet dépressif résiduel du labour est très marqué et atteint 445 kg/ha, soit 46 % du témoin.

EFFETS RÉSIDUELS DE DEUXIÈME ANNÉE SUR LE SOL

L'examen des profils culturaux effectués après la récolte de la seconde culture montre que l'action du labour d'enfouissement est encore plus ou moins marquée sur la structure du sol et l'ameublissement. Là encore, la nature des deux cultures qui se sont succédées après labour constitue le facteur dominant de l'état de conservation du profil cultural. A ce point de vue, les successions culturales se classent dans l'ordre décroissant suivant :

céréale-céréale,
céréale-arachide,
arachide-céréale,
arachide-arachide.

Le trop petit nombre d'observations qui ont été faites en deuxième année après cotonnier et niébé ne permet pas de situer ces deux plantes dans le classement ci-dessus ; il semble cependant que leur comportement soit proche de celui de l'arachide.

Les mesures de pénétrométrie effectuées pendant la saison sèche qui suit la deuxième culture confirment partout l'effet résiduel d'ameublissement du labour. Là encore, ces mesures s'avèrent plus sensibles que l'observation visuelle puisqu'elles font ressortir des différences importantes de cohésion, même dans le cas des successions comportant une arachide. Les mesures ont été réalisées uniquement sur les essais « Régénération du Profil », par NICOU (69). Les résultats en sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-32

EFFETS RÉSIDUELS D'AMEUBLISSEMENT DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT
DEUX ANS APRÈS EXÉCUTION DANS DIFFÉRENTES SUCCESSIONS CULTURALES

Localisation	Première culture	Deuxième culture	Année de la deuxième culture	Force de résistance à la pénétration à 15 cm (en kg)		
				Témoin	Labour	Coefficient cohésion (%)
Bambey - « dior »	Arachide	Mil	1966-1967	216	160	74
Bambey - « dek »	Arachide	Sorgho	1966	765	290	38
Bambey - « dior »	Mil	Arachide	1969	342	263	77
Sinthiou-Malème	Sorgho	Sorgho	1968	180	146	81
Sinthiou-Malème	Maïs	Sorgho *	1969	270	168	62
Séfa	Mil	Arachide	1969	472	270	57
Séfa	Maïs	Mil	1969	346	273	76

* Dans cette succession, après récolte du sorgho, a été effectuée une série de mesures de densités apparentes sur le sol. Celles-ci traduisent également la conservation de la structure créée par le labour. Les densités apparentes sont les suivantes :
Témoin : 1,46 ; moyennes des labours : 1,39 ; différence significative à P 0,01.

EFFETS RÉSIDUELS DE DEUXIÈME ANNÉE SUR LES CULTURES

Ces essais intéressent la troisième culture de la succession après réalisation du labour. Comme indiqué plus haut, les résultats disponibles dans ce domaine concernent presque uniquement la deuxième arachide de la rotation quadriennale : régénération-arachide-céréale-arachide.

On a recensé cinquante-six résultats annuels provenant d'essais implantés au Sénégal. Le détail est exposé dans le tableau IV-98, en annexe. Une vue d'ensemble synthétique en est fournie dans le tableau IV-33.

On note que cet effet résiduel est surtout sensible dans les zones « médianes » : Sine-Saloum et Sénégal oriental ; en Casamance, il est très peu accentué et, dans les zones Nord et Centre, il est même légèrement dépressif. Dans l'ensemble, il y a une proportion de 63 % de cas favorables au labour ; la plus-value moyenne est assez modeste : 157 kg/ha, soit 9 % en valeur relative.

Les essais IRHO au Sénégal fournissent des résultats quelque peu différents (tableau IV-100, en annexe) : la proportion de cas favorables au labour est seulement de 31 % et l'effet résiduel moyen est légèrement dépressif : — 102 kg/ha, soit — 5 % en valeur relative. Il y a très peu de variations, dans l'ensemble, entre les traitements, excepté dans la zone Nord où l'effet dépressif peut être plus marqué.

TABLEAU IV-33
RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS SUR LA DEUXIÈME ARACHIDE DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT
DANS LA ROTATION RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE

Sols et pluviométrie	Localisation	Type d'expérimentation	Nombre de résultats annuels		Rendements moyens (kg/ha) témoin	Plus-values sur labours	
			Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
Sols peu évolués sur sables d'origine dunaire 450-700 mm	Nord et Centre Sénégal	Essais statistiques	4	1	1.461	— 55	— 4
		Champs prévilgar.	9	3	1.065	— 14	— 4
FTL sur grès du CT sablo-argileux 700-1.000 mm	Sine-Saloum	Essais statistiques	11	7	1.757	+ 188	+ 11
		Champs prévilgar.	12	8	1.420	+ 374	+ 26
FTL sur grès du CT sablo-argileux 900-1.000 mm	Sénégal oriental	Essais statistiques	7	4	2.253	+ 43	+ 2
		Champs prévilgar.	5	5	1.940	+ 347	+ 18
Peu évolués hyd. sur nat. sablo-argileux gravillonnaire 1.300-1.400 mm	Sénégal oriental	Champs de prévilgarisation	2	2	1.123	+ 310	+ 28
		Essais statistiques	4	4	2.257	+ 143	+ 6
FTL sur grès du CT sablo-argileux 1.300-1.400 mm	Casamance	Champs prévilgar.	1	1	2.662	+ 7	0
		Ensemble (moyennes pondérées)	55	35	1.658	+ 172	+ 9

La deuxième arachide de la rotation peut être remplacée par un niébé. Trois essais installés dans la zone Nord et Centre du Sénégal (tableau IV-98, en annexe) fournissent quatre résultats annuels permettant de mesurer l'effet résiduel du labour d'enfouissement ; celui-ci est de 150 kg/ha pour un témoin de 989 kg/ha en moyenne, soit une plus-value relative de 15 % ; deux résultats sur quatre sont favorables au labour.

Enfin, il existe un résultat concernant l'effet résiduel de deuxième année du labour d'enfouissement sur l'arachide de la rotation « régénération-sorgho-sorgho-arachide » (69). Les résultats sont les suivants :

témoin : 2.489 kg/ha de gousses,
labours : 2.665 kg/ha de gousses.

La différence de 176 kg/ha ou 7 % du témoin est significative.

c) EVOLUTION PLURIANNUELLE DES EFFETS DU LABOUR D'ENFOUISSEMENT SUR LE SOL ET LES CULTURES

Les observations de profils culturaux associées à des mesures de résistance à la pénétration ont permis de noter que l'effet du labour sur la structure du sol persistait pendant deux ou trois ans après son exécution et s'atténuait progressivement au cours du temps. Le graphique IV-7 illustre bien cette disparition progressive de l'effet d'ameublissement et la reprise en masse du profil. Les mesures pénétrométriques ont été effectuées sur les différentes séries de l'essai « Régénération du profil » à Sinthiou-Malème, en mars 1970. Toutes les mesures sont rapportées à un même témoin, de façon à ce que les séries soient comparables entre elles.

Le rythme de disparition des effets résiduels du labour d'enfouissement sur le sol est assez variable suivant les sols et les rotations adoptées. La reprise en masse est parfois beaucoup plus rapide que dans l'exemple cité. Ceci est notamment le cas dans la rotation quadriennale autrefois couramment pratiquée : régénération-arachide-céréale-arachide.

Malgré cela, en grande culture motorisée, il a été noté que la pratique de l'engrais vert facilitait nettement les opérations de culture tout au long de cette rotation et en particulier :

- le labour en sec,
- les travaux d'entretien au cours de la saison des pluies, grâce à une meilleure portance des tracteurs,
- l'arrachage de l'arachide, grâce à un moindre durcissement des sols (TOURTE, GAUDEFROY-DEMOMBYNES, FAUCHÉ, 1954) (96).

Les effets résiduels sur les cultures évoluent également de façon assez variable suivant la rotation choisie. Le tableau IV-34 résume cette évolution pour les principales rotations.

TABLEAU IV-34

EVOLUTION DES PLUS-VALUES DE RENDEMENT APPORTÉES PAR LE LABOUR D'ENFOUSSEMENT
DANS DIFFÉRENTES ROTATIONS

Successions culturales	Nombre de résultats annuels		Rendement moyen témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours	
	Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
1. Arachide	113	81	1.661	+ 119	+ 7
2. Mil	56	38	971	+ 109	+ 11
3. Arachide	56	35	1.655	+ 157	+ 9
1. Mil	5	4	971	+ 365	+ 38
2. Arachide	4	3	1.810	+ 175	+ 10
1. Maïs	12	10	1.474	+ 970	+ 66
2. Sorgho	1	1	2.325	+ 590	+ 25
1. Sorgho	3	3	1.520	+ 359	+ 24
2. Sorgho	1	1	1.618	+ 705	+ 43
3. Arachide	1	1	2.489	+ 176	+ 7

Les données du tableau sont reprises sous forme graphique (IV-8). On voit, d'après ces résultats, qu'il y a tout intérêt à faire suivre le labour d'enfouissement par une céréale et non par une arachide, ainsi qu'il était de règle autrefois. Ceci ressort, en particulier, de la comparaison des deux rotations : arachide-mil-céréale et mil-arachide. Le gain est alors double :

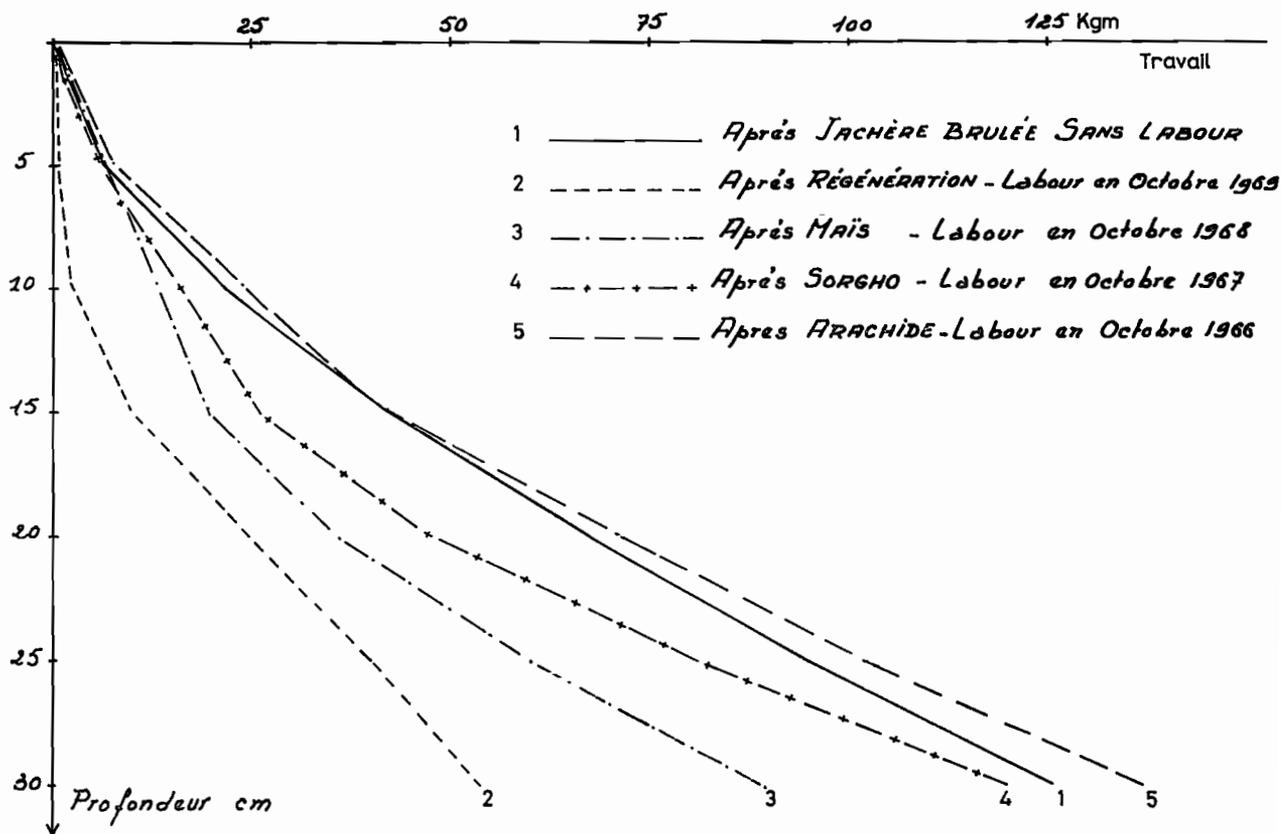
sur la céréale, où l'effet direct du labour d'enfouissement est plus important que l'effet résiduel de première année ;

sur l'arachide, où l'effet résiduel de première année est plus important que l'effet direct.

Ces facteurs doivent être pris en considération pour la définition de nouvelles rotations.

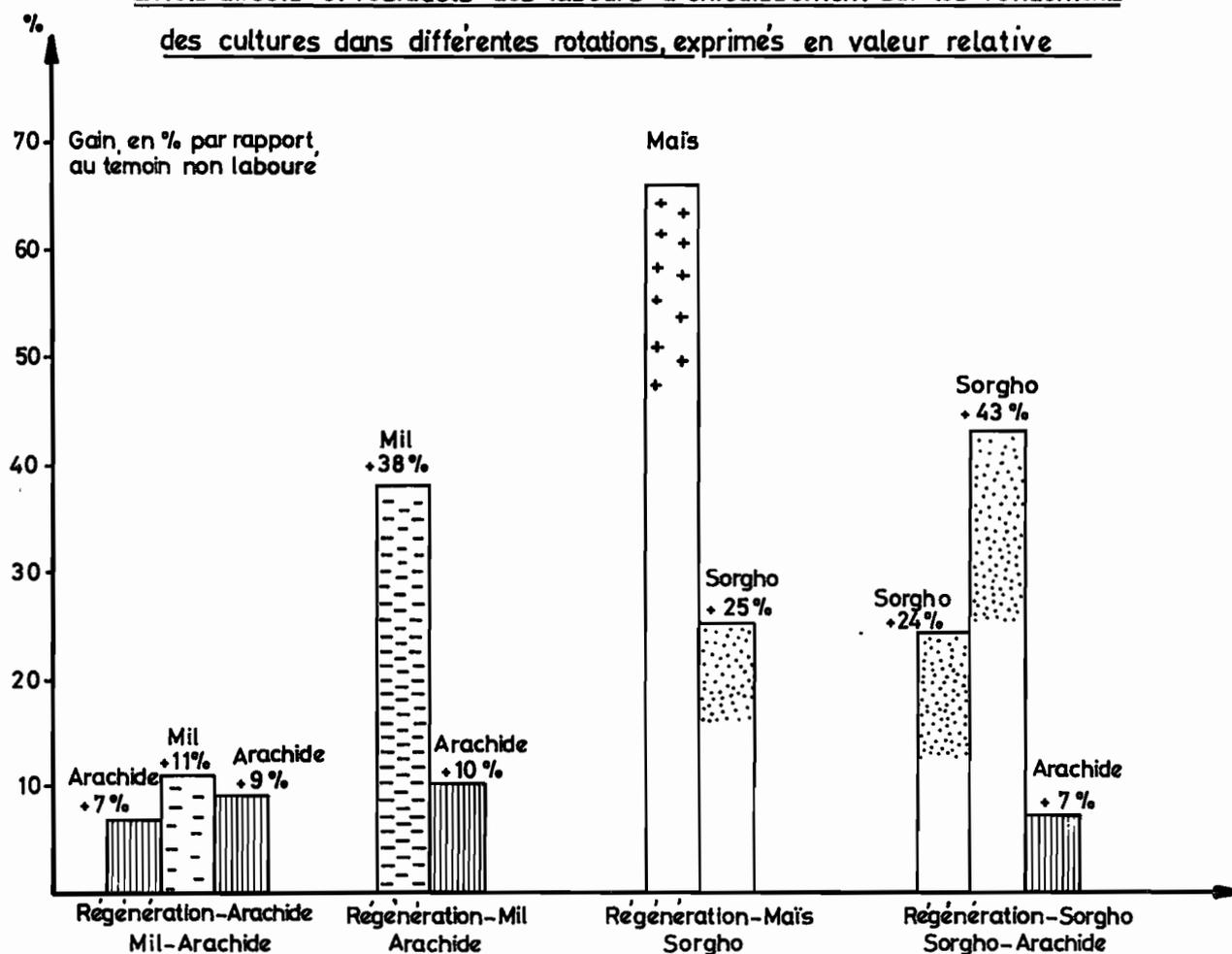
Graph. IV-7- Disparition progressive au cours du temps de l'effet d'ameublissement du labour d'enfouissement

(Relevés pénétrométriques de Mars 1970 à Sinthiou-Maïème, par NICOU)



GRAPHIQUE N° IV - 8

Effets directs et résiduels des labours d'enfouissement sur les rendements
des cultures dans différentes rotations, exprimés en valeur relative



d) CONCLUSION SUR LA REMANENCE D'ACTION DES LABOURS

On peut retenir, à ce sujet, les éléments suivants :

— Concernant les labours ordinaires, l'effet d'ameublissement sur le sol persiste normalement après la première culture, à condition que celle-ci ait été semée précocement. Le maïs semble faire exception à cette règle. Il y a peu de résultats sur les effets résiduels des labours sur les rendements de la deuxième culture et des cultures suivantes. Des effets importants sont observés dans la succession : riz-riz. Dans la succession mil-arachide, l'effet résiduel du labour de préparation sur mil est sensible sur arachide. Par contre, en arachide continue, on n'a pas noté d'influence sur les rendements, sinon une année, une influence négative.

— Concernant les labours d'enfouissement, la rémanence d'action sur le sol et les cultures est très différente suivant la nature de la culture-test succédant au labour d'enfouissement.

Après une arachide, les modifications apportées au profil cultural et à la structure paraissent très atténuées ; d'après les impressions visuelles et tactiles, il y a une nette tendance à la reprise en masse du profil. Les mesures de pénétrométrie et d'enracinement permettent cependant de déceler un certain effet résiduel qui peut persister pendant trois ans. Cet effet se traduit par des améliorations de rendements assez modestes sur les deuxième et troisième cultures.

Après une céréale, au contraire, le profil cultural est beaucoup mieux conservé. La conservation de l'ameublissement est nette ainsi que son incidence sur l'enracinement. D'après les quelques résultats disponibles, les effets sur les rendements de la deuxième culture peuvent être très importants, surtout lorsqu'il s'agit encore d'une céréale.

— Sur la comparaison des effets rémanents des labours ordinaires et labours d'enfouissement, il y a peu de données expérimentales disponibles. Toutes les observations et mesures faites sur le sol donnent cependant à penser que la rémanence doit être beaucoup plus marquée dans le cas des labours d'enfouissement.

4) EFFETS CUMULATIFS DES LABOURS SUR LE SOL ET LES CULTURES

La plupart des essais étudiant l'influence des labours ordinaires de préparation sur différentes cultures testent en fait non pas l'effet direct des labours (sauf l'année de mise en place de l'essai), mais leur effet cumulatif. Ces essais sont en effet en rotation et les mêmes traitements sont appliqués chaque année sur les mêmes parcelles ; seule la nature de la plante cultivée change d'une année à l'autre.

On a relaté plus haut (p. 921) les résultats de mesures et d'observations effectuées sur le sol après plusieurs années où les labours avaient été répétés chaque année. Ces observations et mesures n'avaient pas mis en évidence d'évolution défavorable du sol, au cours de ces périodes, à la suite des labours répétés ; en particulier, il n'y avait pas de variation significative du taux d'éléments fins (argile + limon).

Il y a, par contre, peu d'essais autorisant la comparaison entre les effets directs, résiduels et cumulatifs des labours. Deux résultats disponibles dans ce domaine ont été également mentionnés plus haut (p. 941) ; ils concernent les successions culturales : arachide continue à Bambey (82) et riz-riz en Casamance (90). On a vu que, dans les deux cas, l'effet cumulatif du labour était du même ordre que son effet direct, et qu'il lui était même légèrement supérieur en Casamance ; par contre, l'effet résiduel était nul ou négatif à Bambey, alors qu'il était positif et très important en Casamance.

Un autre résultat obtenu en culture continue d'arachide en 1969 à Bambey met par contre en évidence un effet cumulatif hautement significatif du labour (67).

L'essai travail du sol mis en place depuis 1961 a été transformé de manière à pouvoir comparer l'effet direct du labour effectué sur un terrain travaillé jusque-là à la dent, à l'effet cumulatif du labour effectué tous les ans depuis neuf ans.

Les résultats ont été les suivants (en kg/ha) :

Témoin	977
Effet direct	+ 351
Effet cumulatif	+ 638

Il y a donc intérêt à labourer tous les ans à Bambey alors que cela ne paraît pas obligatoire en Casamance.

Dans un cas, on a pu tester également l'effet cumulé d'un labour ordinaire s'ajoutant à un labour d'enfouissement réalisé un an auparavant. Il s'agit de l'essai « Régénération du profil » implanté à Séfa (74) dont une série a vu, à l'exception du témoin non travaillé, ses parcelles subir deux labours successifs : un labour d'enfouissement en octobre 1967 après la culture de maïs (après enlèvement des pailles). Une culture de mil a été effectuée ensuite en 1968. Les résultats des deux cultures figurent dans le tableau IV-35.

TABLEAU IV-35
EFFETS CUMULATIFS, SUR MIL, DE DEUX LABOURS SUCCESSIFS
COMPORTANT DIVERSES MODALITÉS DE RÉALISATION

Traitements de 1968	Rendements maïs 1967 (kg/ha)	Rendements mil 1968 (kg/ha)
Jachère brûlée (non travaillée)	709	2.030
Jachère enfouie	1.898	2.420
Jachère fauchée, mulchée, enfouie	2.169	2.222
Mil engrais vert	2.673	2.118
Mil EV, fauché exporté, repousses enfouies	2.454	2.064
Maïs, pailles enfouies	2.002	1.781

Il est intéressant de noter ici que, malgré l'action, que l'on pouvait croire à priori uniformisante du labour d'octobre 1967, les diverses modalités de réalisation des labours d'octobre 1966 conservent une nette influence sur les rendements du mil cultivé en 1968.

Les deux cultures successives de maïs ont eu un effet dépressif, par rapport au témoin, sur le mil suivant. La décomposition en contrastes orthogonaux met ici en évidence, sur le mil, la supériorité des enfouissements de matière verte (engrais vert et jachère) sur l'enfouissement de pailles (hautement significatif), des jachères sur l'engrais vert (hautement significatif) et de la jachère normale enfouie sur la jachère fauchée, mulchée et enfouie (significatif). On notera que, sur la première culture, le classement des traitements était très différent et que les engrais verts se montraient, au contraire, très supérieurs aux jachères (hautement significatif).

Les mesures de pénétrométrie effectuées après la culture de mil font également ressortir l'influence des différents traitements de 1966 sur l'ameublissement. Les coefficients de cohésion sont, en effet, les suivants (par rapport au témoin jachère brûlée, en %) :

jachère enfouie	58
jachère fauchée, mulchée enfouie	45
mil engrais vert	59
mil EV fauché, exporté, repousses enfouies	50
maïs, pailles enfouies	44

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, 1967. Quelques données pluviométriques de seize stations du Sénégal (Période 1932-1965).
Minist. du Plan et du Dévelop. Aménag. du Terr., Dakar.
- (2) BERGER (M.), BERTRAND (R.), 1967. Expérimentation relative à *Dolichos Lablab* (Antaka) en culture cotonnière intensive dans le périmètre irrigué du Bas-Mangoky.
Actes du Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, 118, II, 1472-89.
- (3) BERTRAND (R.), 1967. Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays baoulé (Côte-d'Ivoire).
Actes du Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, 106, II, 1281-95.
- (4) —. Observations de profils culturaux sur les essais de travail du sol (Station de Ferkessédougou).
IRAT/Côte-d'Ivoire, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.
- (5) BIRIE-HABAS (J.), THIROUIN (H.), 1965. Compte rendu d'un essai de techniques culturales sur maïs.
IRAT/Sénégal, rap. an., Station agron. de Séfa, 118-9.
- (6) BLONDEL (D.), 1964. Etude de l'évolution du profil cultural sous une rotation quadriennale et de l'influence du travail du sol sur les cultures.
IRAT/Sénégal, doc. miméo.
- (7) —, 1965. Influence du travail du sol sur le profil cultural et les cultures.
IRAT/Sénégal, rap. an., Div. d'Agropédologie, 427-36.
- (8) —, 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.
C.R. du Coll. OAU/STRC sur la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols, Khartoum, nov. 1965, 173-81.
- (9) —, 1966. Premiers résultats sur la dynamique de l'azote dans deux sols du Sénégal. Rap. de Recherches 1966.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 51 p.
- (10) BONFILS (P.), 1963. Evolution de la matière organique dans deux sols du Sénégal.
L'Agron. Trop., XVIII, 1254-79.
- (11) BOUFIL (F.), PÉLISSIER (J.), TOURTE (R.), 1950. Les terres à arachide du Sénégal. Premiers enseignements à tirer d'essais sur les façons culturales.
Ann. du CRA Bambey, 1950, 33-6.
- (12) BOUYER (S.), 1950. Phosphates et arachide.
Ann. du CRA Bambey, 1950, 19-32.
- (13) CGOT, 1954. Rapport annuel de la Station agronomique de Séfa.
- (14) CHARREAU (C.), 1963. Compte rendu de mission en Casamance et au Sénégal oriental.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 51 p.

- (15) —, 1969. Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
L'Agron. Trop., XXIV, 9, 836-42.
- (16) —, 1969. Projet « Erosion et ruissellement en Casamance ». Dispositifs de contrôle et lutte. Etudes à poursuivre.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 22 pages.
- (17) —, FAUCK (R.), 1970. Mise au point de l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance).
L'Agron. Trop., XXV, 2, 151-91.
- (18) —, NICOU (R.), 1964. Note sur le rôle et la nature de la sole de régénération dans la rotation. Résumé de la doctrine du CRA Bambey.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 16 pages.
- (19) —, —, THIROUIN (H.), 1964-1969. Comptes rendus d'un essai « Labour de fin de cycle » à Séfa.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales.
- (20) —, SÉGUY (L.), 1969. Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1968.
L'Agron. Trop., XXIV, 11, 1055-97.
- (21) CHOPART (J.-L.), 1970. Morphologie et croissance de l'enracinement du sorgho (*Sorghum vulgare*) en deux conditions de fertilité. Première étude.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 97 p.
- (22) COCHEMÉ (J.), FRANQUIN (P.), 1967. Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique occidentale.
Projet conjoint d'Agroclimatologie FAO/UNESCO/OMM-FAO, Rome.
- (23) COINTEPAS (J.-P.), 1958. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station expérimentale de Séfa.
ORSTOM, doc. miméo., 110 p.
- (24) CRA Bambey, 1960. Principaux résultats expérimentaux obtenus en Haute-Volta jusqu'en 1959. Essais de préparation du sol.
ORSTOM, doc. miméo., 9-10.
- (25) —, 1960. Principaux résultats obtenus en Haute-Volta jusqu'en 1959. Essais « Nature d'engrais vert à Saria » (1951-1957).
ORSTOM, doc. miméo., 11-2.
- (26) —, 1961. Compte rendu de l'essai de rotation de M'Pesoba (Mali).
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales.
- (27) DEFFONTAINES (J.-P.), 1964. Mission « Profil cultural », Sénégal, juin 1964.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 16 pages.
- (28) —, 1965. Observations sur le profil cultural du sol en conditions diverses.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 26 p.
- (29) DUPONT DE DINECHIN (B.), D'ARONDEL DE HAYES (J.), 1964-1965. Comptes rendus de l'essai « Mise au point d'une sole de régénération ».
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (30) —, —, 1967. Compte rendu de l'essai « Profondeur de labour » à Farako-Ba.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (31) —, —, 1968. Compte rendu de façons culturales sur sol faiblement ferrallitique à Farako-Ba.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (32) —, MALCOIFFÉ (C.), 1964. Compte rendu de travail du sol sur sorgho à Saria.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (33) —, —, 1964-1967. Compte rendu d'essais de façons culturales à Saria.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (34) —, —, 1965. Compte rendu d'essais de façons culturales à Saria.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (35) —, —, 1966. Compte rendu d'essai « Profondeur de labour » à Saria.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.
- (36) —, —, 1966-1968. Comptes rendus d'essais de façons culturales sur sol ferrugineux profond à Saria.
IRAT/Haute-Volta, rap. an. d'act.

- (37) FAUCHÉ (J.), 1960. Compte rendu de l'essai « Jachère-Engrais vert » 1955 à Bambey.
CRA Bambey, archives Div. Techniques culturales.
- (38) —, NICOU (R.), 1953-1968. Comptes rendus des essais « Rotation × Engrais » de Nioro-du-Rip et Sinthiou-Malème.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales.
- (39) —, —, 1962. Compte rendu de l'essai « Engrais vert "dior" 1960 ».
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales.
- (40) FAUCK (R.), SÉGUY (L.), TOBIAS (C.), 1969. Notice de la carte des sols de la région de Séfa (Casamance).
ORSTOM/IRAT, doc. miméo., 51 p.
- (41) FAURE (J.), 1956. Compte rendu des essais « Engrais vert LA N° 1 et LA N° 3 ».
Archives du CRA Bambey, Div. des Sols.
- (42) FERTÉ, LESCURE, 1966. Compte rendu d'essai de formes de jachères avec ou sans fumure minérale sur sol dunaire rouge à Kolo.
IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (43) GAUDEFROY-DEMOMBYNES (P.), CHARREAU (C.), 1961. Possibilité de conservation de l'humidité dans le sol pendant la saison sèche ; influence corrélative sur le degré d'ameublissement du sol.
L'Agron. Trop., XVI, 3, 238-54.
- (44) HÉNIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.
Masson et C^e éd., 2^e éd., Paris.
- (45) IRHO/Sénégal, 1956-1966. Comptes rendus de l'essai « Jachère 1 bis sur sol beige » à Darou.
IRHO/Sénégal, rap. an. d'act., Station de Darou.
- (46) —, 1960-1966. Comptes rendus de l'essai « Jachère-Engrais vert-Couverture » à Darou.
IRHO/Sénégal, rap. an. de campagne.
- (47) IRHO/Sénégal, 1961-1966. Comptes rendus de l'essai « Jachère-Engrais vert sur sol hydromorphe » à Darou.
IRHO/Sénégal, rap. an. d'act., Station de Darou.
- (48) —, 1965-1966. Comptes rendus de l'essai « Longueur optimum de jachère sur sol hydromorphe » à Darou.
IRHO/Sénégal, rap. an. d'act., Station de Darou.
- (49) —, 1966. Compte rendu de l'essai « Comparaison assolement » à Darou.
IRHO/Sénégal, rap. an., Station de Darou, 108-14.
- (50) JACQUINOT (L.), 1964. Phosphatage de fond avec phosphate naturel.
L'Agron. Trop., XIX, 12, 1033-72.
- (51) —, 1966. Utilisation de la valeur « L » dans l'étude du phosphate assimilable d'un sol.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 8 p.
- (52) LE MOIGNE (M.), 1965. Problèmes de sarclo-binage au Sénégal.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 6 p.
- (53) —, 1965-1966. Comptes rendus de travaux de préparation du sol.
IRAT/Sénégal, rap. an. de la Div. du Machinisme agricole.
- (54) —, 1966. Possibilité de travail en « sec » en culture attelée bovine.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 7 p.
- (55) —, 1967. Problèmes d'enfouissement de matière verte en traction animale au Sénégal.
Actes du Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, 144, II, 1774-9.
- (56) MAERTENS (C.), 1964. Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures.
Science du Sol, 2.
- (57) MONNIER (G.), 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.
Ann. Agron., 16, 4, 327-400 et 16, 5, 471-534.
- (58) —, 1967. Problèmes pratiques posés par le labour d'enfouissement d'engrais vert en culture attelée bovine au Sénégal.
Actes du Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 nov. 1967, 145, II, 1780-9.

- (59) —, 1970. Résultats de l'étude d'un modèle ou schéma d'exploitation valable pour le Sénégal oriental. IRAT/Sénégal, doc. miméo., 10 p.
- (60) MUNTZ (A.), FAURE (L.), LAINE (E.), 1905. Etude sur la perméabilité des terres, faite en vue de l'irrigation. *Ann. Dir. Hydraulique*, Paris, 33-45.
- (61) NABOS (J.) et coll., 1965-1968. Comptes rendus d'essais « Façons préparatoires de fin de saison sèche sur sols de banquettes incultes de la Maggia », à Kawara. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (62) —, —, 1968. Compte rendu d'essai « Mode de préparation en sol dunaire » à Magaria. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (63) —, HUBERT DE FRAISSE (C.), 1964-1966. Comptes rendus d'un essai « Nature d'engrais vert et mode d'enfouissement » à Tarna. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (64) —, —, 1964-1969. Comptes rendus des essais « Modalités de préparation du sol dunaire » à Tarna. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (65) —, —, 1967. Compte rendu d'un essai de façons préparatoires de début et de fin d'hivernage à Tarna. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (66) —, —, 1967-1968. Comptes rendus d'essais « Façons d'entretien sur arachide » à Tarna. IRAT/Niger, rap. an. d'act.
- (67) NICOU (R.), 1962-1969. Compte rendu des essais « Travail du sol × Fertilisation » de Bambey, Boulel et Nioro-du-Rip. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (68) —, 1963-1966. Comptes rendus de l'essai « Régénération × Traitements » à Bambey (2^e rotation). IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (69) —, 1965-1968. Compte rendu des essais « Régénération du profil » de Louga, Bambey et Sinthiou-Malème. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (70) —, 1965-1968. Compte rendu des essais « Conservation du profil » de Bambey et Boulel. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (71) —, 1967-1969. Compte rendu des essais « Mode de préparation × Dates de semis » de Nioro-du-Rip et Sinthiou-Malème. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (72) —, 1969. Action du labour sur la porosité. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (73) —, SÉGUY (L.), HADDAD (G.), 1970. Comparaison de l'enracinement de quatre variétés de riz pluvial en présence ou absence de travail du sol. IRAT/Sénégal, doc. miméo., 20 p.
- (74) —, THIROUIN (H.), 1964-1969. Comptes rendus des essais « Régénération du profil » de Séfa. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturelles.
- (75) —, —, 1968. Mesures sur la porosité et l'enracinement. Premiers résultats. IRAT/Sénégal, doc. miméo., 52 p.
- (76) NOURRISSAT (P.), 1965. Compte rendu d'essais de traction animale. IRAT/Sénégal, Div. des Etudes Agro-pastorales, 7-29.
- (77) PARÉ (J.), 1969. Etude de dispositifs anti-érosifs adaptés aux conditions de la Casamance. IRAT/Paris, doc. miméo., 63 p.
- (78) POCHTIER (G.) et coll., 1964-1969. Compte rendu des essais d'amélioration foncière (champs de pré-vulgarisation ou d'appréciation des potentialités). IRAT/Sénégal, rap. an. de la SARV.
- (79) POULAIN (J.-F.), 1965. Contribution à l'étude des mécanismes d'action de la fumure verte. Effets sur le sol et les rendements. Coll. sur la conserv. et l'amél. de la fert. des sols, OAU/STRC, Khartoum (nov. 1965), 131-48.
- (80) —, MARA (M.), 1960-1969. Comptes rendus de l'essai « Régénération du sol » à Thiénéba. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.
- (81) —, —, 1961-1969. Compte rendu des essais « Structure-Humus » de Thiénaba et Boulel. IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.

- (82) —, —, 1965-1969. Compte rendu des essais « S × P × K × Labours » à Bambey.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.
- (83) —, —, 1965-1969. Compte rendu des essais « Régénération × Phosphates » de Boulel.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.
- (84) —, —, 1965-1969. Compte rendu des essais « Doses Phosphore × Soufre » de Boulel.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. d'Agropédologie.
- (85) —, TOURTE (R.), 1969. Influence de la préparation profonde du sol en sec sur la réponse des mils et sorghos à la fumure azotée (sols sableux de la zone tropicale sèche).
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 25 p. Comm. à la Conférence OUA/STRC de Zaria sur les céréales (Nigeria, 13-16 oct. 1969).
- (86) RENAUT (G.), 1967-1968. Compte rendu d'essais de sous-solage sur riz et maïs à la Station de Ferkessédougou.
IRAT/Côte-d'Ivoire, rap. an. d'act., Div. d'Agronomie.
- (87) —, 1967-1968. Comptes rendus d'essais de travail réduit sur riz et maïs à la Station de Ferkessédougou.
IRAT/Côte-d'Ivoire, rap. an. d'act., Div. d'Agronomie.
- (88) REYNARD (A.), 1967. Compte rendu d'un essai « Travail du sol × Fertilisation sur mil » en sol de Diéri.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Secteur Fleuve.
- (89) ROOSE (E.), 1967. Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.
L'Agron. Trop., XXII, 2, 123-52.
- (90) SÉGUY (L.), 1970. Influence des facteurs pédologiques et des techniques culturales sur la croissance et la production du riz pluvial en Casamance (Sénégal méridional).
IRAT/Paris, doc. miméo., 2 tomes.
- (91) SILVESTRE (P.), 1961. Monographie des recherches conduites à Bambey sur l'arachide.
L'Agron. Trop., XVI, 6, 623-738.
- (92) TOURTE (R.), 1951. Préparation du sol et enfouissement de la végétation naturelle comme engrais vert. Leur influence sur les rendements du mil au Sénégal.
Ann. du CRA Bambey, 1951, 120-5.
- (93) —, 1961. Les instruments de désherbage à traction animale.
IRAT/Sénégal, doc. miméo., 7 p.
- (94) —, FAUCHÉ (J.), 1952. Note sur trois années d'essais de techniques culturales dans les centres expérimentaux hors Sénégal.
Ann. du CRA Bambey, 1952, 33-48.
- (95) —, —, BOUYER (S.), 1967. L'amélioration foncière des sols en Afrique occidentale sèche.
Ann. du CRA Bambey, 1957 (1^{re} partie), 55-103.
- (95 bis) —, —, NICOU (R.), 1951-1961. Comptes rendus de l'essai « Rotation "dior" » à Bambey.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales.
- (96) —, GAUDEFROY-DEMOMBYNES (P.), FAUCHÉ (J.), 1954. Perfectionnement des techniques culturales au Sénégal.
Ann. du CRA Bambey, 1954, 1-111.
- (97) —, NICOU (R.), BONLIBU (A.), 1961. Compte rendu d'essais de préparation du sol.
IRAT/Sénégal, rap. an. d'act., Div. des Techniques culturales, 55-61.
- (98) —, VIDAL (P.), JACQUINOT (L.), FAUCHÉ (J.), NICOU (R.), 1964. Bilan d'une rotation quadriennale sur sole de régénération au Sénégal.
L'Agron. Trop., XIX, 12, 1033-72.
- (99) THIROUIN (H.), 1965. Conduite de l'engrais vert en vue de son enfouissement.
IRAT/Sénégal, rap. an., Secteur Casamance.
- (100) VIDAL (P.), 1963. Croissance et nutrition minérale des mils *Pennisetum* cultivés au Sénégal.
Thèse Fac. des Sciences, Dakar.
L'Agron. Trop., XVIII, 6-7, 591-668.
- (101) WERTS (R.), 1960. Bilan sur quatre et six ans de l'effet d'une sole de régénération jachère ou engrais vert (Essai E 4, 1955).
CGOT, Station expérimentale de Séfa, Note technique n° 11.
- (102) —, 1961. Comptes rendus de l'essai de rotation 1965 (F1) et de l'essai « Influence du traitement de l'engrais vert », 1958 (F5).
CGOT, Station agronomique de Séfa, Note technique n° 19.

ANNEXES

TABLEAU IV-80

ÉVOLUTION DE LA DENSITÉ APPARENTE AU COURS DE LA SAISON DES PLUIES
DANS LES HORIZONS SUPERFICIELS DE SOLS CULTIVÉS, LABOURÉS OU NON

Localisation sol	Culture	Dates des prélèvements	Pluviométrie cumulée (mm) *	Valeurs de densité apparente sur :				Source	
				Témoins	Labours ordinaires **				Labour d'enfouissement ***
					Fin de cycle	En sec	Début d'hivernage		
Bambey Sol « dior »	Arachide	21-6-1965	6	1,64		1,47		BLONDEL (7)	
		21-7-1965	39	1,64		1,58			
		5-8-1965	179	1,64		1,64			
	Arachide	8-7-1967	52	1,57		1,51		NICOU (67)	
		7-8-1967	242	1,57		1,53			
		25-7-1968	92	1,54		1,54			
12-8-1968		137	1,55		1,55				
Mil	17-7-1968	72	1,53			1,42	NICOU (69)		
	12-8-1968	140	1,51			1,44			
Bambey Sol « dek »	Sorgho	18-7-1968	81	1,59			1,42	NICOU (69)	
		13-8-1968	139	1,58			1,46		
Nioro-du-Rip Sol FTL sur grès sablo-argileux du CT	Sorgho	22-6-1967	48	1,50	1,42	1,47	1,30	NICOU (71)	
		31-7-1967	316	1,53	1,48	1,49	1,44		
		10-7-1968	90	1,52	1,40	1,46	1,47		
	1-8-1968	186	1,49	1,39	1,48	1,46			
	11-7-1969	38	1,54	1,40	1,47	1,38			
	19-8-1969	598	1,44	1,45	1,44	1,38			
Sinthiou-Malème Sol FTL sur grès sablo-argileux du CT	Maïs	23-6-1967	148	1,52	1,54	1,58	1,37	NICOU (71)	
		20-7-1967	345	1,60	1,64	1,66	1,62		
	29-6-1968	89	1,53	1,45	1,60	1,49			
	23-7-1968	153	1,52	1,48	1,58	1,52			
	25-6-1969	59	1,49	1,42	1,53	1,48			
	23-7-1969	187	1,50	1,48	1,55	1,58			
	29-6-1968	89	1,57			1,49			
	23-7-1968	153	1,54			1,48			
Séfa - Sol FTL Sablo-argileux du CT	Maïs	30-6-1969	82	1,46			1,38	NICOU (74)	
		27-7-1969	464	1,53			1,44		

* Il s'agit de la pluviométrie cumulée aux dates de prélèvements. Elle correspond au total de pluie qu'ont reçu les labours après leur exécution, sauf pour les labours de début d'hivernage qui ont reçu un peu moins de pluie que les autres.

** Quand il y a plusieurs dates de semis, il s'agit toujours de la première.

*** Moyennes de différents traitements d'enfouissement.

TABLEAU IV-81

EFFETS DU LABOUR SUR L'ENRACINEMENT DE DIVERSES CÉRÉALES AU SÉNÉGAL

Culture	Type de labours	Localisation essai	Année	Nombre de traitements labours *	Variété	Densité d'occupation racinaire (g/dm ³) **								Référence
						0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		0-30 cm		
						Témoins	Labour	Témoins	Labour	Témoins	Labour	Témoins	Labour	
Sorgho	Ordinaires	Nioro-du-Rip Mode prép. × date semis	1967	3 (2, 4, 6)	51-69	3,24	3,85	0,49	0,48	0,15	0,08	1,29	1,47	NICOU (71)
			1968	3 (1, 3, 5)	51-69	1,97	1,65	0,42	0,35	0,16	0,15	0,85	0,72	
	Enfouissement	Sinthiou-Malème Régénération profil	1967	5 (8 à 12)	Locale	2,61	4,33	0,52	1,19	0,12	0,37	1,09	1,96	NICOU, THIROUIN (75)
Maïs	Ordinaires	Sinthiou-Malème Mode prép. × dates semis	1968	3 (1, 3, 5)	BDS	0,88	0,99	0,38	0,49	0,14	0,19	0,47	0,56	NICOU (71)
			1969	3 (1, 3, 5)	BDS	0,43	0,36	0,20	0,22	0,12	0,14	0,25	0,24	
	Enfouissement	Sinthiou-Malème Régénération profil	1968	5 (8 à 12)	BDS	1,05	0,92	0,46	0,45	0,32	0,16	0,61	0,51	NICOU (69)
			1969	5 (8 à 12)	BDS	0,53	0,50	0,41	0,25	0,14	0,13	0,36	0,29	
Riz pluvial	Ordinaires	Séfa Comparaison labour/grattage	1968	1	TN 1	0,65	0,61	0,15	0,30	0,07	0,15	0,29	0,35	SEGUY (90)
			1969	1	63-83	0,85	1,37	0,13	0,89	0,06	0,10	0,35	0,78	NICOU, SEGUY, HADDAD (73)
			1969	1	Iguape	1,20	2,26	0,22	1,04	0,07	0,14	0,50	1,15	
			1969	1	TN 1	1,04	1,35	0,08	0,96	0,04	0,05	0,39	0,79	
			1969	1	IR 8	0,93	1,42	0,27	0,49	0,08	0,26	0,43	0,72	

* Les chiffres entre parenthèses indiquent les numéros des traitements « labours » qui ont été retenus pour le calcul de la moyenne.

** Pour les densités d'occupation racinaire, on a considéré seulement les prélèvements perpendiculaires à la ligne.

TABLEAU IV-82
INFLUENCE DU LABOUR DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU MIL

Sol et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendement Témoin (kg/ha)	Plus-value sur labour		Comp. statistique	Source
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)		
Sols peu évolués sur sables d'origine dunaire 300 à 700 mm	MAURITANIE Kaédi	Travail du sol	1967	Iler	Tracteur Soc en sec	150 kg/ha 14-7-7	1.472	+ 342	+ 23	+	REYNARD (88)
	SÉNÉGAL	Travail du sol X fertilisation	1961	Cover Crop	Tracteur disques en sec	150 kg/ha 14-7-7	445	+ 405	+ 91	—	TOURTE, NICOU, BONLIEU (97) NICOU (67)
			1964	Iler	Bœufs Soc en sec	600 kg/ha 10-13-10	562	+ 144	+ 26	+	
	Bambey	Conservation du profil	1967	Iler	Bœufs Soc - LFC humide	Fumure forte étalée	1.530*	+ 428	+ 28	+	NICOU (70)
			1967				783**	+ 171	+ 22	0	
	1968	474**	+ 200				+ 42	0			
1968	1.316*	+ 61	+ 5				0				
	Profondeur de travail X azote « dior »	1966	Iler	Tracteur Soc Moyenne 2 profond.	Forte Moyenne doses d'azote	1.035	+ 242	+ 23	+	POULAIN, TOURTE (85)	
NIGER	Tarna	Techniques culturales	1966	Nettoyage manuel	Bœufs Soc En humide	Non précis.	796	+ 358	+ 45	++	NABOS, H. DE FRAIS, (64)
		1967	45 kg/ha d'urée +			1.159	+ 361	+ 31	++		
		1967	45 kg/ha			1.476	+ 224	+ 15	++		
		1968	Sup. triple			173	+ 484	+ 280	—		
		1968		470	+ 879	+ 187	++				
FT Intergrade Vertisol sur sables et calcaires 650 mm	SÉNÉGAL Bambey	Profondeur de travail X azote	1966	Iler	Tracteur Soc Moyenne 2 profond.	Fumure forte Moyennes doses d'azote	1.536	+ 105	+ 7	0	POULAIN, TOURTE (85)
FTL sur grès du CT 800-1.000 mm	SÉNÉGAL (Sine-Sal.) Boulel	Conservation du profil	1967	Iler	Bœufs - Soc LFC, humide	Forte étalée	1.779	+ 130	+ 7	0	NICOU (70)
			1968				776	+ 92	+ 12	0	
	Nioro-du-Rip	Travail du sol X fertilisation	1965	Iler	Bœufs Soc En sec	Forte	1.090	+ 101	+ 9	0	NICOU (67)
FTL sur grès du CT 1.000-1.400 mm	SÉNÉGAL (Casamance) Vélingara	Champs de prévilgarisation	1968	Daba	Bœufs Soc LFC, humide	Forte étalée	2.358	+ 487	+ 21	—	POCHIER (78)
			1969				2.333	— 352	— 15	—	
			1967				2.827	+ 115	+ 4	—	
			1968				1.546	+ 623	+ 40	—	
	N'Diéba		1968	Daba			1.433	+ 23	+ 2	—	

* Mil Souna.
** Mil Sanio.

TABLEAU IV-83
INFLUENCE DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VÉGÉTALE SUR LES RENDEMENTS DU MIL AU SÉNÉGAL

Sol et pluviométrie	Localisation (Sénégal)	Nom de l'essai	Année	Précédent culturel sur témoin	Nature et nombre des labours d'enfouissement				Rendement témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comp. statistique	Source
					Ja-chère	EV	Pailles	Total		(kg/ha)	(%)		
Sols peu évolués sur sables dunaires 400-700 mm	Louga	Régénération du profil	1968	Jachère brûlée	2	2	1	5	294	+ 235	+ 80	—	NICOU (69)
			1969		2	2	1	5	810	+ 868	+ 107	+	
	Bambey (« dior »)	1968	2		2	1	5	711	— 61	— 9	0		
		1969	2		2	1	5	1.496	+ 162	+ 11	0		
Sol FTL sur grès du CT 1.300 mm	Séfa	Champs de prévilgarisation	1968	Maïs	0	0	1	1	1.546	+ 623	+ 40	—	POCHIER (78)

TABLEAU IV-84
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VÉGÉTALE
SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Sol et pluviométrie	Localisation (Sénégal)	Nom de l'essai	Année	Précédent culturel sur témoin	Nature et nombre des labours d'enfouissement				Rendement témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comp. statistique	Source
					Ja-chère	EV	Pail-les	Total		(kg/ha)	(%)		
FT Intergrade Vertisols sur sables et calcaires sablo-argileux 650 mm	Bambey (« dek »)	Régénération du profil	1968	Jachère brûlée	2	2	1	5	481	+ 14	+ 3	0	NICOU (69)
FTL sur grès du CT sablo-argileux 1.000 mm	Sinthiou-Malème	Régénération du profil	1967	Jachère brûlée	2	2	1	5	1.441	+ 626	+ 43	++	NICOU (69)
FTL sur grès du CT sablo-argileux 800 mm	Maka	Champs de prévilg-risation	1969	Maïs (pailles exportées)	0	0	1	1	2.637	+ 438	+ 17	—	POCHIER (78)

TABLEAU IV-85
INFLUENCE DES LABOURS ORDINAIRES DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Sol et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendements Témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)		
Peu évolués sur sables dunaires 650 mm	SÉNÉGAL Bambey	Profondeur de travail × azote	1967	Iler	Tracteur en sec Très profond	Forte Moyenne des doses d'azote	386	+ 546	+ 141	+	POULAIN, TOURTE (69)
Ferrugineux Tropical Intergrade Vertisol sur sables et calcaires 650 mm	SÉNÉGAL	Travail du sol × ferti-lisation	1961	Iler	Tracteur Disques en mouillé 14-7-7	150 kg/ha	550	+ 600	+ 109	—	NICOU (67)
			1962	Iler	Tracteur Disques en mouillé 14-7-7	300 kg/ha	1.484	+ 449	+ 30	++	
			1963	Iler	Tracteur Disques en mouillé 10-13-10	600 kg/ha	1.217	+ 529	+ 43	++	
			1964	Iler	Bœufs - Soc en humide 10-13-10	600 kg/ha	1.428	+ 668	+ 47	++	
	Bambey (« dek »)	Profondeur de travail × azote	1967	Iler	Tracteur labour très profond	Fumure forte Moyenne doses azote	2.090	+ 402	+ 19	++	POULAIN, TOURTE (69)
			1964 1965 1966 1967 1968	Iler Iler Iler Iler Iler	Bœufs Labour au soc en humide	Fumure forte étalée	1.455 2.221 2.956 1.945 522	+ 1.122 — 487 — 10 + 431 + 1.164	+ 77 — 22 0 + 22 + 223	— — — — —	POCHIER (78)
Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés à taches sur grès du Continental Sablo-argileux 700-1.000 mm	SÉNÉGAL (S.-Saloum) Boulel	Travail du sol × fertilisation	1966	Iler	Bœufs - Soc en humide	Fumure forte étalée	1.592	+ 354	+ 22	++	NICOU (67)
			1968	Iler	Bœufs - Soc en humide	Fumure forte étalée	1.727	+ 413	+ 24	++	
	Boulel	Champs de prévilg-risation	1967	Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	2.706	— 20	— 1	—	POCHIER (78)
			1968 1969	Iler Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	1.645 1.663	+ 515 + 903	+ 31 + 54	— —	
	Niouro-du-Rip	Travail du sol × fertilisation	1967	Iler	Bœufs - Soc en humide	Fumure forte étalée	2.719	+ 639	+ 24	++	NICOU (67)
	Niouro-du-Rip	Modes préparatoires × dates semis	1967	Iler Iler	Bœufs - Soc Moyenne Labours	Fumure forte étalée	2.378 2.054	+ 1.381 + 525	+ 58 + 26	++ ++	NICOU (71)
	K. Yorodou Toubacouta K.Samba	Champs de prévilg-risation	1967	Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	3.139	+ 484	+ 15	—	POCHIER (78)
1968			Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	2.555	+ 453	+ 18	—		
1969			Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	2.098	+ 1.128	+ 54	—		
1969			Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	1.550	— 75	— 5	—		
1967 1968 1969			Iler Iler Iler	Bœufs Soc en humide	Fumure forte étalée	1.800 2.380 2.426 2.287	+ 500 + 108 + 100 + 615	+ 28 + 5 + 4 + 27	— — — —		

TABLEAU IV-85 (suite)
INFLUENCE DES LABOURS ORDINAIRES DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendements témoins (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)		
Sols Ferrugineux Tropicaux Lessivés avec ou sans concrétions sur granites Sablo-limoneux 850 mm	HAUTE-VOLTA Saria	Façons culturales *	1950-1956	Daba	Tracteur plat	Néant	554	+ 88	+ 16	—	C.R.A. BAMBEY (24) DUPONT DE DINECHIN, MALCOIFFE (32) DUPONT DE DINECHIN, MALCOIFFE (34) DUPONT DE DINECHIN, MALCOIFFE (36)
	Saria	Travail du sol sur sols beiges profonds	1964	Daba	Bœufs Soc en humide	30 N, 40 P ₂ O ₅ , 30 K ₂ O	1.143	+ 328	+ 29	+	
	Saria	Façons culturales sur sols beiges profonds	1965	Daba	Labours en humide Moyenne	22 N 31 P ₂ O ₅	1.764	+ 627	+ 35	+	
	Saria	Façons culturales sur sols ferrugineux profonds	1966 1968	Daba Daba	Labours en humide Moyenne	Non précis. Non précis.	1.261 1.216	+ 593 + 231	+ 47 + 19	+ +	
	Saria	Façons culturales sur sols gravillon.	1967	Daba	Moyenne Labours en humide	22 N 31 P ₂ O ₅	843	+ 314	+ 37	0	
Ferrugineux Tropicaux Lessivés à taches sur grès argileux du Continental Terminal Sablo-argileux 900-1.100 mm	SÉNÉGAL Sinthiou	Travail du sol x fertilisation	1967	Iler	Bœufs - Soc en humide	Forte étalée	1.798	+ 995	+ 55	++	NICOU (67)
	Sinthiou	Champs de prévilgarrisation	1967	Iler	Bœufs Soc en humide	Forte étalée	2.234	+ 270	+ 12	—	POCHTIER (78)
	Missirah		1968	Iler			1.250	+ 1.415	+ 113	—	
			1969	Iler			1.337	+ 2.042	+ 153	—	
	Maka		1967	Iler			2.805	+ 912	+ 33	—	
			1968	Iler			3.249	+ 761	+ 23	—	
	Kotiari		1969	Iler			2.573	+ 648	+ 25	—	
			1967	Iler			2.271	+ 249	+ 11	—	
	Vélingara		1968	Iler			2.367	+ 161	+ 7	—	
			1968	Iler			1.848	+ 803	+ 43	—	
1969	Iler		2.009	+ 662			+ 33	—			
1967	Iler	2.216	+ 153	+ 7	—						
1968	Iler	2.059	- 48	- 2	—						
Désaturés sur grès Cambriens sablo-limoneux 1.160 mm	HAUTE-VOLTA Farakoba	Façons culturales	1967	Daba	Tracteur et bœufs en humide Moyenne	Non précisée	1.010	+ 256	+ 25	+	DUPONT DE DINECHIN, D'ARONDEL DE HAYES (30)

* Conditions de réalisation imprécises. Rendements faibles (moyenne sur sept ans). Essai non comptabilisé dans la moyenne générale.

TABLEAU IV-86
EFFETS DES LABOURS ORDINAIRES DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU MAÏS

Sol et pluviométrie	Localisation (SÉNÉGAL)	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendements témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)		
Ferrugineux Tropicaux Lessivés à taches sur grès du C Terminal Sablo-argileux 800-100 mm	Sinthiou-Malème	Modes préparatoires x dates de semis	1967	Dent en sec	Bœufs Soc	Forte étalée	1.747	+ 591	+ 33	+	NICOU (71)
			1968	Daba	Moyenne des labours	Forte étalée	1.322	+ 438	+ 33	+	
			1969	Daba	Moyenne des labours	Forte étalée	4.116	+ 478	+ 12	+	
	Maka	Champs de prévilgarrisation	1966	Daba	Bœufs Soc	Forte étalée	1.830	+ 456	+ 25	—	POCHTIER (78)
			1967	Daba	Bœufs Soc	Forte étalée	1.977	+ 525	+ 27	—	
			1968	Daba	en humide	Forte étalée	1.567	+ 921	+ 59	—	

TABLEAU IV-87
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUSSEMENT SUR LES RENDEMENTS DU MAÏS

Sol et pluviométrie	Localisation (SÉNÉGAL)	Nom de l'essai	Année	Précédent cultural sur témoin	Nature et nombre des labours d'enfouissement				Rendement témoin (kg/ha)	Plus-value sur labour		Comp. statistique	Source
					Jachère	EV	Pailles	Total		(kg/ha)	(%)		
Sols ferrugineux tropicaux à taches sur grès du Continental Terminal Sablo-argileux 800-1.300 mm	Sinthiou-Malème	Régénération du profil	1968	Jachère brûlée	2	2	1	5	2.177	+ 1.006	+ 47	++	NICOU (69)
			1969	Jachère brûlée	2	2	1	5	3.714	+ 1.109	+ 30	++	
		Régénération du profil	1967	Jachère brûlée	2	2	1	5	709	+ 1.530	+ 216	++	
Séfa	1968	Jachère brûlée	2	2	1	5	715	+ 630	+ 88	++			
	1969	Jachère brûlée	2	2	1	5	2.119	+ 1.499	+ 71	++			
	Séfa	Champs de prévilgarr.	1967	Jachère brûlée	1	0	0	1	901	+ 1.729	+ 192	—	POCHTIER (78)
			1968	Jachère brûlée	1	0	0	1	725	- 101	- 15	—	
			1969	Jachère brûlée	1	0	0	1	1.338	+ 2.726	+ 208	—	
	Sindian	Champs de prévilgarr.	1966	Jachère brûlée	1	0	0	1	1.187	+ 100	+ 8	—	
			1967	Jachère brûlée	1	0	0	1	649	- 432	- 67	—	
			1968	Jachère brûlée	1	0	0	1	1.176	+ 68	+ 6	—	
	Maka	Champs de prévilgarr.	1969	Jachère brûlée	1	0	0	1	2.283	+ 1.775	+ 78	—	

TABLEAU IV-88

EFFETS DES LABOURS DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU RIZ PLUVIAL
(Paddy)

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Variétés	Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours		Source
						(kg/ha)	(%)	
FTL sur grès du C Terminal Sablo-argileux 1.100-1.600 mm	Vélingara	Champs de prévilgar. Labour/grattage Enracinement	1969	IKP 63-83	3.064	+ 257	+ 8	POCHIER (78) SEGUY (90) NICOU, HADDAD, SEGUY (73) SEGUY (90)
			1969		0	+ 2.950	—	
	Néma	Labour/grattage	1969	63,83, TN1 Iguape, IR8	890	+ 2.900	+ 326	
			1968		TN1	750	+ 500	
Ferrallitique moyennement désaturé sur grès du C Terminal Sablo-argileux 1.300-1.600 m	Séfa	Labour/grattage (Sol rouge de trans.)	1969	63-83	800	+ 1.200	+ 150	SEGUY (90)
			1969		1.800	+ 1.620	+ 90	
	Séfa	Labour/grattage RC (Sol rouge de crête)	1969	63-83	1.570	+ 1.065	+ 68	
			1968		TN1	1.250	+ 1.000	
Néma	Labour/grattage	1969	63-83	300	+ 1.150	+ 303		
		1969		63-83	0	+ 2.170	—	
Sol gris hydromorphe sur colluvions argileuses 1.300 mm	Séfa	Labour/grattage	1969	63-83	0	+ 2.170	—	SEGUY (90)

Conditions de réalisation :

- 1) Essai de Vélingara : témoin à la daba; labour aux bœufs en humide, fumure forte étalée.
- 2) Autres essais : témoin à la daba (travail très superficiel); labour au tracteur à la charrue à soc (versoir court cylindrohélicoïdal) en humide à 30 cm de profondeur; labour dressé et fermé. Fumure : 300 kg/ha de 6-20-10 + 100 kg d'urée.
- 3) Pas de comparaison statistique : uniquement champs de prévilgarisation et comportement.

TABLEAU IV-89

EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LES RENDEMENTS DU RIZ PLUVIAL

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Précédent cultural sur témoin	Nature du labour d'enfouissement	Variété de riz	Rendement témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours		Source
								(kg/ha)	(%)	
FTL à taches sur grès du CT Sablo-argileux 1.300 mm	Séfa	Champs de prévilgarisation	1969	Maïs - Pailles exportées	Maïs - Pailles enfouies	63-83	1.547	+ 705	+ 46	POCHIER (78)

TABLEAU IV-90

EFFETS DES LABOURS ORDINAIRES DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DU COTONNIER
(Coton-grain)

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)		
Sols ferrugineux tropicaux à taches sur grès du CT Sablo-argileux 800-1.000 mm	SÉNÉGAL Thyssé-Kayemor	Travail du sol × fertilisation	1969	Daba	Bœufs - Soc en humide	Forte étalée	1.364	+ 679	+ 50	++	NICOU (67)
				Daba	Bœufs - Soc en humide	Forte étalée	1.666	+ 652	+ 39	—	POCHIER (78)
	Sinthiou-Malème	Modes de prép. × dates semis	1967 1968 1969	Daba	Bœufs - Soc Moyenne labours	Forte étalée	2.642 1.594 1.395	+ 373 + 241 + 558	+ 14 + 15 + 40	+	NICOU (71)
FTL à taches sur granites Sablo-argileux 850 mm	HAUTE-VOLTA Saria	Façons culturales	1967	Daba	Labour en humide	Non précisée	1.593	+ 59	+ 4	0	DUPONT DE DINECHIN, MALCOIFFE (36)
Ferallitiques moyennement désaturés sur grès Sablo-argileux 1.100-1.200 mm	HAUTE-VOLTA Farako Ba	Façons culturales	1969	Daba	Labour en humide	Non précisée	1.148	+ 467	+ 32	++	DUPONT DE DINECHIN, D'ARONDEL DE HAYES (31)

TABLEAU IV-91
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VÉGÉTALE
SUR LES RENDEMENTS DU COTONNIER
(Coton-grain)

Sols et pluviométrie	Localisation (Sénégal)	Nom de l'essai	Année	Précédent culturel sur témoin	Nature et nombre des labours d'enfouissement				Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours		Comp. statistique	Source
					Jachère	EV	Pailles	Total		(kg/ha)	(%)		
Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches sur grès du Continental Terminal Sablo-argileux 800-1.100 mm	Maka	Champs de prévilgar.	1966	Jachère	1	0	0	1	1.606	+ 316	+ 20	—	POCTHIER (78)
			1967	brûlée	1	0	0	1	1.240	+ 280	+ 23	—	
			1968	brûlée	1	0	0	1	1.622	+ 447	+ 28	—	
	Sinthiou-Malème	Champs de prévilgar.	1968	Jachère	1	0	0	1	1.170	+ 354	+ 30	—	
			1969	brûlée	1	0	0	1	376	+ 1.166	+ 310	—	
			1967	Jachère	1	0	0	1	1.654	+ 797	+ 48	—	
	Missirah	Champs de prévilgar.	1968	brûlée	1	0	0	1	1.515	+ 480	+ 32	—	
			1969	brûlée	1	0	0	1	1.111	+ 500	+ 45	—	
			1967	Jachère	1	0	0	1	418	+ 502	+ 120	—	
	Kotiar	Champs de prévilgar.	1967	brûlée	1	0	0	1	512	— 101	— 20	—	
			1968	brûlée	1	0	0	1	2.006	— 204	— 10	—	
			1969	brûlée	1	0	0	1	1.654	+ 542	+ 33	—	

TABLEAU IV-92
EFFETS DES LABOURS ORDINAIRES DE PRÉPARATION SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE
(Gousses)

Sols et pluviométrie	Localisation	Nom de l'essai	Année	Conditions de réalisation			Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours		Comp. statistique	Source		
				Témoin	Labour	Fumure		(kg/ha)	(%)				
Sols peu évolués sur sables d'origine dunaire 600-700 mm	SÉNÉGAL	Bambey (« dior »)	1961	Cover crop	Tracteur disq. en sec	150 kg/ha 6-20-10	1.300	+ 400	+ 30	—	TOURTE, NICOU, BONLIEU (67)		
												1962	Iler
			1963	Iler	Bœufs - Soc en sec	335 kg/ha 3-24-15	1.636	+ 624	+ 38	++			
												1964	Iler
			1965	Iler	Bœufs - Soc en sec	335 kg/ha 3-24-15	714	+ 311	+ 44	++			
												1967	Iler
		1968	Iler	Bœufs - Soc en sec	335 kg/ha 3-24-15	846	+ 315	+ 37	+				
										1969		Iler	Bœufs - Soc en sec
		Tarna	Modalités et profondeur de différentes façons préparatoires	1964	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	150 kg/ha 6-20-10	2.153	+ 43				
										1965		Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide
				1966	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	Non préc.	2.183	+ 352				
										1967		Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide
1968	Nettoyage manuel			Bœufs - Soc en humide	75 kg/ha Sup. Simp.	1.030	— 4	—	0				
										1967	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	75 kg/ha Sup. Simp.
1967	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	75 kg/ha Sup. Simp.	2.021	+ 80	+ 4	+						
								1968	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	75 kg/ha Sup. Simp.	1.480	— 343
1966	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	Non précisée	348	+ 614	+ 176	+						
								1967	Nettoyage manuel	Bœufs - Soc en humide	Non précisée	983	+ 518
SÉNÉGAL	Boulel	Travail du sol × fertilisation	1965	Iler	Bœufs disq. en sec	Forte étalée	1.736						
								1967	Iler	Bœufs - Soc en humide	Forte étalée	1.155	+ 383
	1966	Iler	Bœufs - Soc en sec	Forte étalée	2.178	+ 113	+ 5						
								1967	Iler	Bœufs - Soc en humide	335 kg/ha 3-24-15	1.855	+ 524
	1968	Iler	Bœufs - Soc en humide	335 kg/ha 3-24-15	2.296	+ 99	+ 4						
								1969	Iler	Bœufs - Soc en humide	335 kg/ha 3-24-15	1.704	+ 169
	1965	Daba	Travail du sol × fertilisation	1965	Daba	Bœufs - Soc en sec	Forte étalée						
								1968	Daba	Bœufs - Soc en sec	Forte étalée	2.754	— 183

TABLEAU IV-93
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE
(Gousses)

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Nombre de résultats annuels		Rendements témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin Jachère brûlée	Labours d'enfouissement.		Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)		
					Jachère enfouie ou EV	Pailles							
Sols peu évolués sur sables d'origine dunaire 450-700 mm	SÉNÉGAL NORD ET CENTRE Louga Forbot Thiénaba N Thiénaba S Tip	Champ de prévil.	1967-69	1	1	0	3	3	996	+ 187	+ 19	—	(78)
		Champ de prévil.	1966-69	1	1	0	4	4	1.165	+ 114	+ 10	—	
		Champ de prévil.	1966-68	1	1	0	3	2	1.293	+ 19	+ 2	—	
		Champ de prévil.	1966-69	1	1	0	4	4	770	+ 209	+ 27	—	
		Champ de prévil.	1964-69	1	1	0	6	5	1.414	+ 25	+ 2	—	
	Rotation « dior » Tech. culturales (1) Tech. culturales (1) Tech. culturales (1) Jach. × E. vert (2) Jach. × E. vert (2) Eng. vert « dior » Régén. × traitem. Régén. × traitem. Régénération profil Régénération profil	1956-61	2	3	0	6	1	1.558	— 145	— 9	—	(95 bis)	
		1950	1	1	0	1	1	1.059	+ 167	+ 19	++	(92)	
		1950	1	1	0	1	1	980	+ 234	+ 25	++	(92)	
		1950	1	1	0	1	1	748	+ 159	+ 21	0	(92)	
		1956	1	3	0	1	1	1.888	+ 242	+ 13	+	(37)	
		1958	1	3	0	1	0	2.117	— 227	— 10	+	(37)	
		1961	1	7	0	1	1	1.111	+ 380	+ 34	++	(39)	
		1960	1	2	0	1	1	2.203	+ 459	+ 21	++	(98)	
		1964	1	2	0	1	1	1.679	+ 211	+ 12	0	(68)	
		1965	1	4	1	1	0	1.711	— 226	— 13	+	(69)	
		1966	1	4	1	1	1	845	+ 93	+ 11	0	(69)	
		NIGER Kolo	Formes de jach.	1966	1	2	0	1	0	2.199	— 406	— 18	—
FT Intergrade Vertisols sur sables et calcaires 650 mm	SÉNÉGAL CENTRE Bambey (« dek »)	Régénération profil (8) Champs de prévulgarisation	1965 1965-68	1 1	4 1	1 0	1 4	0 3	1.508 1.031	— 225 + 246	— 15 + 24	0 —	(69) (78)
FTL sur granites 850 mm	HAUTE-VOLTA Saria	Engrais vert (3)	1951-57	1	4	0	7	5	624	+ 57	+ 11	—	(25)
FTL sur grès du Continental Terminal Sablo- argileux 900-1.100 mm	SÉNÉGAL (S.-Saloum) Boulel K. Samba K. Yorodou Nloro Nloro Toubacouta	Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Rotation × engrais Champ de prévil.	1964-69 1964-69 1965-69 1964-69 1958-68 1964-68	1 1 1 1 2 1	1 1 1 1 2 1	0 0 0 0 0 0	6 6 5 6 11 5	5 5 4 3 10 1	1.757 1.852 1.918 2.075 1.805 1.297	+ 152 + 334 + 165 — 85 + 205 — 98	+ 9 + 18 + 9 — 4 + 11 — 8	— — — — + —	(78) (78) (78) (78) (38) (78)

TABLEAU IV-93 (Suite et fin)
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE
(Gousses)

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Nombre de résultats annuels		Rendements témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours		Comp. statistique	Source
				Témoin jachère brûlée	Labours d'enfouis.		Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)		
					Jachère enfouie ou EV	Pailles							
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 900-1.100 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Sinthiou-M. Maka Kotiari Missirah Sinthiou-M. Sinthiou-M.	Champs de prévil. Champs de pré. (4) Champs de prévil. Champs de prévil. Rot. x Engrais (5) Phosphate P 54 (6)	1964-67	1	1	0	4	2	2.294	+ 209	+ 9	—	(78)
			1968	1	0	1	1	1	1.717	+ 101	+ 6	—	(78)
			1965-68	1	1	0	4	4	1.815	+ 239	+ 13	—	(78)
			1965-66	1	1	0	2	2	2.425	+ 375	+ 15	—	(78)
			1962-68	2	2	0	6	3	2.299	+ 16	+ 1	0	(38)
			1959	1	2	0	1	1	1.570	+ 59	+ 4	0	(95)
Peu évolués hyd. sur matériau sablo-argil. gravillon. 1.300-1.400 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Kédougou	Champs de prévil.	1964-68	1	1	0	5	4	1.031	+ 371	+ 36	—	(78)
FTL sur grès Cambrien sablo-argil. 1.000-1.100 mm	MALI M'Pesoba M'Pesoba	Rotation (7) Engrais vert (3)	1955-61	1	1	0	7	?	2.099	+ 60	+ 3	0	(26)
			1951	4	4	0	1	1	?	?	+ 3	0	(94)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 1.300 mm	SÉNÉGAL (Casamance) Séfa Séfa Séfa Séfa	Rotation F1 Jachère et EV E4 Jachère et EV E4 Champs de prévil. Régénér. du profil Régénér. du profil	1956-59	2	3	0	4	3	1.887	+ 188	+ 10	—	(102)
			1956	1	3	0	1	1	2.255	+ 328	+ 15	—	(101)
			1958	1	3	0	1	1	2.960	+ 80	+ 3	+	(101)
			1964-66	1	1	0	3	1	2.245	— 116	— 5	—	(78)
			1965	1	4	1	1	0	2.755	— 197	— 7	0	(74)
			1966	1	4	1	1	0	3.177	— 165	— 5	0	(74)

REMARQUES :

- (1) Pas d'apport d'engrais sur les traitements.
- (2) Résultats à dose d 2 de fumure minérale.
- (3) Conditions de réalisation imprécises. Rendements faibles. Résultats non compris dans le tableau récapitulatif et le calcul des moyennes.
- (4) Le précédent cultural témoin est ici un maïs, avec pailles exportées et non une jachère brûlée.
- (5) Année 1963 non récoltée.
- (6) La comparaison intéresse la dose d 2 de phosphate (500 kg/ha) et la moyenne de 2 compléments minéraux C1 et C2.
- (7) Années d'installation comprises dans la rotation. Conditions de réalisation imprécises. Résultats non compris dans le calcul des moyennes.
- (8) Essai très hétérogène. Résultats non compris dans le calcul de la moyenne.

TABLEAU IV-94
EFFETS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE OU D'ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE (gousses)
d'après les résultats de l'IRHO/Sénégal (Rapports annuels)

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Durée de la sole de régénération		Nombre de résultats annuels		Rendement témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours	
				Jachère brûlée	Labour d'enfouis.		JB	JE ou EV	Totaux	Positifs		(kg/ha)	(%)
					JE	EV							
Peu évolués sur sables dunaires 450-600 mm	Tivaouane Tivaouane Louga	Enfouissem. jachère Mil Engrais vert Jachère 1 bis, 2 ^e Rép.	1958-64	1	1	0	2	2	7	4	1.225	+ 135	+ 11
			1958-65	2	0	2	1-2	1	6	3	1.295	— 197	— 15
			1960-66	1	1	0	4	4	7	1	1.465	— 150	— 10
			Ensemble (moyennes pondérées)								19	8	1.343
FTL sur grès du CT Sablo-argileux à bion drainé 700-900 mm	Darou Darou Darou Darou	Comp. d'asst. et d'enfouis. Mil EV * Couverture Jachère EV Sorgho EV ** Jachère pâturée	1964-68	1	5	0	2	1	5	0	2.442	— 146	— 6
			1961	1	1	1	2	2	1	1	2.030	+ 135	+ 7
			1965	1	1	1	2	2	1	0	3.050	— 25	— 1
			1959-68	1	0	1	2	1	10	2	2.570	— 270	— 11
			1967	1	1	0	2	2	1	1	1.965	+ 85	+ 4
Ensemble (moyennes pondérées)								18	4	2.489	— 180	— 7	
FTL sur grès du CT Sablo-argileux à carac. d'hyd. 700-900 mm	Darou Darou	Jachère 1 bis Brûlis jachère ***	1959-68	1	1	0	2	2	10	2	2.484	— 164	— 7
			1959-68	1	1	0	3	3	10	2	2.507	— 168	— 5
			1959-68	1	1	0	6	6	10	1	2.542	— 170	— 7
			1967	4	4	0	12	12	1	1	2.440	+ 45	+ 2
			Ensemble (moyennes pondérées)								31	6	2.509
Totaux et moyennes générales pondérées								68	18	2.180	— 146	— 7	

* Comparaison en fumure annuelle.

** Elimination de l'année 1964.

*** Effet principal du labour : moyenne des autres traitements.

TABLEAU IV-95

MESURES COMPARATIVES DES FORCES DE RÉSISTANCE A LA PÉNÉTRATION
APRÈS DIFFÉRENTES CULTURES PRÉCÉDÉES OU NON D'UN LABOUR

Plante	Localisation	Sol	Désignation de l'essai	Type de labour	Année de culture	Forces de résistance à la pénétration sur 15 cm (kg/ha)			Comparaison statistique	Source
						Té-moin	Labour	Coef. de cohésion (%)		
Mil	Bambey	« Dior »	Régénération du profil Régénération du profil	Enfouis. Enfouis.	1968 1969	548 142	260 106	45 75	— —	NICOU (74)
	Bambey	« Dek »	Profondeur de travail × azote	Ordinaire	1966	533	373	70	—	POULAIN, TOURTE (85)
	Séfa	FTL	Régénération du profil	Ordinaire	1966-67	387	306	79	—	NICOU, THIROUIN (74)
Sorgho	Bambey	« Dek »	Régénération du profil	Enfouis.	1968	430	185	43	+	NICOU (69)
	Nioro	FTL	Travail du sol × fertil. Mode de préparation × date de semis	Ordinaire Ordinaire Ordinaire	1967 1967 1969	239 266 132	184 133 111	77 50 84	— — —	NICOU (67) NICOU (71)
	Sinthiou-Malème	FTL	Travail du sol × fertil. Régénération du profil	Ordinaire Enfouis.	1967 1967	239 191	105 139	44 73	— +	NICOU (67) NICOU (69)
Maïs	Sinthiou-Malème	FTL	Modes de préparation × dates de semis	Ordinaire Ordinaire	1967-68 1969	200 245	270 268	135 109	— —	NICOU (67)
			Régénération du profil Régénération du profil	Enfouis. Enfouis.	1968 1969	255 272	133 124	52 46	++ —	NICOU (69)
	Séfa	FTL	Régénération du profil Régénération du profil	Enfouis. Enfouis.	1968 1969	268 472	134 270	50 57	++ —	NICOU, THIROUIN (74)
Riz	Séfa	Rouge Beige Rouge de T Gris	Techniques culturales	Ordinaire	1969	384	133	35	—	SÉGUY (90)
			Techniques culturales	Ordinaire	1969	251	101	40	—	
			Techniques culturales	Ordinaire	1969	384	53	14	—	
			Techniques culturales	Ordinaire	1969	272	80	29	—	
Cotonnier	Sinthiou-Malème	FTL	Modes de préparation × dates de semis	Ordinaire	1967-68	185	164	89	—	NICOU (71)
			S×P×K×Labours S×P×K×Labours	Ordinaire Ordinaire	1966 1967	140 420	80 265	57 63	— +	POULAIN (82)
Arachide	Bambey	« Dior »	Travail du sol × fertil. Travail du sol × fertil.	Ordinaire Ordinaire	1967-68 1969	96 57	77 66	79 115	+ —	NICOU (67)
			Régénération du profil	Enfouis.	1966-67	66	55	84	—	NICOU (69)
	Bambey	« Dek »	Régénération du profil	Enfouis.	1966	211	116	55	—	NICOU (69)
	Séfa	FTL	Régénération du profil	Enfouis.	1966-67	389	288	74	—	NICOU, THIROUIN (74)

TABLEAU IV-96

EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE DU LABOUR SUR LA DEUXIÈME CULTURE
DES SUCCESSIONS SORGHO-ARACHIDE ET SORGHO-SORGHO

Nature de la culture après sorgho	Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Type de labour avant sorgho	Année de la 2 ^e culture	Rendement témoin (kg/ha)	Effet résiduel du labour		Comparaison statistique	Source														
							(kg/ha)	(%)																
Arachide	FTL sur grès du CT Sablo-argileux 700-1.000 mm	SINE-SALOM Boulel Boulel Nioro-du-Rip Nioro-du-Rip Toubacouta K. Samba K. Samba	Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil.	Ordin. Ordin. Ordin. Ordin. Ordin. Ordin. Ordin.	1968 1969 1968 1969 1968 1968 1969	1.726 1.384 2.341 1.570 1.892 1.975 1.758	+ 30 — 31 — 137 + 325 + 125 + 187 + 148	+ 2 — 2 — 6 + 21 + 7 + 9 + 8	— — — — — — —	POCTHIER (78)														
											Ensemble (moyennes)	1.807	+ 92	+ 5										
											FTL sur grès du CT Sablo-argileux 1.000-1.200 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL (HAUTE-CASAMANCE) Sinthiou-M. Sinthiou-M. Vélingara Vélingara	Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil. Champs de prévil.	Ordin. Ordin. Ordin. Ordin.	1968 1969 1968 1969	2.565 1.778 2.575 2.847	+ 112 — 129 + 537 + 71	0 — 7 + 21 + 2	— — — —	POCTHIER (78)				
																					Ensemble (moyennes)	2.441	+ 123	+ 5
																					Ensemble (moyennes)	2.037	+ 104	+ 5
											Sorgho	FTL sur grès du CT Sablo-argileux 2.000 mm	Sinthiou-Malème	Régénération du profil	En-fouissement	1968	1.618	+ 705	+ 43	++	NICOU (69)			

TABLEAU IV-97

EFFETS RÉSIDUELS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LA CÉRÉALE
SUCCÉDANT A L'ARACHIDE DANS LA ROTATION : RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Année de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Nature de la céréale	Nombre de résultats annuels		Rendement du témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comparaison statistique	Source
				Témoin jachère brûlée	Labours d'enfouis.			To-taux	Posi-tifs		(kg/ha)	(%)		
					Jachère	Pail-les ou EV								
Sols peu évolués sur sables d'origine dunaire 450-700 mm	SÉNÉGAL N. et Centre Louga Forbot Thiénaba S Thiénaba N Tip	Champs de prévilgarisation	1968-69	1	1	0	M	2	2	426	+ 183	+ 43	—	(78)
			1967-69	1	1	0	M	3	2	1.266	+ 249	+ 20	—	
			1967-68	1	1	0	M	2	2	597	+ 130	+ 22	—	
			1967-69	1	1	0	S-M	3	2	593	+ 83	+ 14	—	
			1965-69	1	1	0	M	5	3	1.277	+ 33	+ 3	—	
	Bambey (« dior »)	Rotation « dior » Tech. culturales (2) Tech. culturales Jachère EV (3) Eng. V « dior » Rég. x trait. Rég. x trait. Régénér. profil Régénér. profil	1956-61	1	2	0	M	6	1	732	- 72	- 10	—	(95 bis)
			1959	1	1	0	M	1	1	525	+ 195	+ 27	++	(92)
			1951	1	1	0	M	1	1	510	+ 110	+ 22	++	(92)
			1951	1	1	0	M	1	1	685	+ 250	+ 36	++	(92)
			1957	1	3	0	M	1	0	862	- 2	0	0	(37)
			1962	1	7	0	M	1	1	683	+ 124	+ 18	0	(39)
			1961	1	2	0	M	1	1	1.565	+ 326	+ 21	+	(98)
			1965	1	2	0	M	1	0	1.037	- 53	- 5	0	(68)
			1966	1	4	1	M	1	1	995	+ 381	+ 38	+	(69)
			1967	1	4	1	M	1	1	751	+ 187	+ 25	0	(69)
FT Interg. Vertisols sur sables et calcaires 650 mm	Bambey (« dek »)	Régén. profil (8) Champs prévil.	1966	1	4	1	S	1	0	2.072	- 295	- 14	—	(69)
			1965-66	1	1	0	S	2	0	2.588	- 248	- 10	—	(78)
FTL sur granites 850 mm	HAUTE-VOLTA Sarria	Engrais vert	1951-57	1	4	0	M	7	4	510	+ 9	+ 2	—	(25)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 700-1.000 mm	SÉNÉGAL (S.-Saloum) Boulel K. Samba K. Yorodou Tombacout: Nioro Nioro	Champs prévil. Champs prévil. Champs prévil. Champs prévil. Champs prévil. Rotat. x Engrais	1965-66	1	1	0	S	2	2	1.321	+ 557	+ 42	—	(78)
			1965-66	1	1	0	M-S	2	2	1.243	+ 513	+ 41	—	(78)
			1965-68	1	1	0	S	4	4	1.320	+ 272	+ 21	—	(78)
			1965-68	1	1	0	S	3	3	1.233	+ 359	+ 29	—	(78)
			1965-66	1	1	0	S	2	1	2.207	+ 123	+ 6	—	(78)
			1958-68	2	2	0	M-S	11	6	777	+ 97	+ 12	0	(38)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 900-1.000 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Sinthiou-M. Kotiari Missirah Sinthiou-M. Sinthiou-M. Sinthiou-M	Champs prévil. Champs prévil. Champs prévil. Rotat. x Eng. (5) P 54 (6) P 54	1966-67	1	1	0	M-S	2	2	1.318	+ 208	+ 16	—	(78)
			1966-67	1	1	0	M	2	2	623	+ 206	+ 33	—	(78)
			1966	1	1	0	M	1	1	1.175	+ 275	+ 23	—	(78)
			1962-67	2	2	0	M-S	5	4	818	+ 169	+ 21	0	(38)
			1956	1	2	0	M	1	1	751	+ 13	+ 2	0	(95)
1960	1	2	0	M	1	1	1.029	+ 42	+ 4	0	(95)			
Peu évolués hyd. sur mat. Sablo-argil. grav. 1.300 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Kédougou	Champs de prévilgarisat.	1965-68	1	1	0	S-M	4	3	441	+ 311	+ 71	—	(78)
FTL sur grès du CT Sablo-argil. 1.300 mm	MALI M'Pesoba M'Pesoba	Rotation (7) Engrais vert (4)	1955-61	1	1	0	S	7	?	1.674	+ 164	+ 10	++	(26)
			1952	4	4	0	S	1	1	?	?	6	0	(94)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 1.300 mm	SÉNÉGAL (CASAMANCE) Séfa Séfa Séfa Séfa Séfa	Jach. et EV - E4 Jach. et EV - E4 Champs prévil. Régénér. profil Régénér. profil	1957	1	3	0	R	1	1	1.490	+ 2	+ 0	0	(101)
			1959	1	3	0	R	1	1	1.165	+ 380	+ 33	+	(101)
			1965	1	1	0	M	1	1	3.130	+ 202	+ 6	—	(78)
			1966	1	4	1	M	1	0	2.159	- 147	- 7	0	(74)
			1967	1	4	1	M	1	1	2.499	+ 51	+ 2	0	(74)

REMARQUES :

- (1) M : mil; S : sorgho; R : riz.
- (2) Pas d'apport d'engrais sur les traitements.
- (3) Résultats à la dose d 2 de fumure minérale.
- (4) Conditions de réalisation imprécises. Pas d'engrais. Rendements faibles. Résultats non compris dans le tableau récapitulatif et le calcul des moyennes.
- (5) Année 1963 non récoltée.
- (6) La comparaison intéresse la dose d 2 de phosphate (500 kg/ha) et la moyenne de 2 compléments minéraux C1 et C2.
- (7) Années d'installation comprises dans la rotation. Conditions de réalisation imprécises. Résultats non compris dans le calcul des moyennes.
- (8) Essai très hétérogène. Résultats non compris dans le calcul de la moyenne.

TABLEAU IV-98

EFFETS RÉSIDUELS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LA LÉGUMINEUSE
SUCCÉDANT A LA CÉRÉALE DANS LA ROTATION : RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-LÉGUMINEUSE

Sols et pluviométric	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Nature de la légumineuse (1)	Nombre de résultats annuels		Rendement du témoin (kg/ha)	Plus-value sur labours		Comparaison statistique	Source
				Témoin jachère brûlée	Labours d'enfouis.			To-taux	Posi-tifs		(kg/ha)	(%)		
					JE ou EV	Pail-les								
Sols peu évolués sur sables d'origine dunnaire 450-700 mm	SÉNÉGAL N. et Cent. Louga Forbot Thiénaba N Thiénaba S Tip	Champ de pré vulgarisation	1969	1	1	0	N	1	1	700	+ 225	+ 32	—	(78)
			1968	1	1	0	N	1	0	647	— 124	— 19	—	
			1968	1	1	0	A	1	0	2.075	— 298	— 14	—	
			1968-69	1	1	0	A	2	2	487	+ 222	+ 46	—	
			1966-69	1	1	0	A	4	0	1.296	— 155	— 12	—	
	Bambey (« dior »)	Jachère EV (2)	1958	1	3	0	A	1	0	1.838	— 8	0	0	(37)
	Régén. × trait.	1959	1	2	0	A	1	1	1.923	+ 28	+ 2	0	(98)	
	Régénérat. profil	1967	1	4	1	A	1	0	1.194	— 238	— 20	0	(69)	
	Régénérat. profil	1968	1	4	1	A	1	0	987	+ 1	0	0	(69)	
FT Interg. Vertisols sur sabl. calcair. 650 mm	Bambey (« dek »)	Régén. profil (4) Champs de pré vulgarisat.	1967	1	4	1	A	1	0	1.489	+ 416	— 20	—	(69)
			1966-67	1	1	0	N	2	1	1.304	+ 249	+ 19	—	(78)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 700-1.000 mm	SÉNÉGAL (S.-Saloum) Boulé K. Samba K. Yorodou Toubaouta Niore Niore	Champs de prév. Rotat. × engrais	1966-67	1	1	0	A	2	1	1.365	+ 122	+ 9	—	(78)
			1966-67	1	1	0	A	2	2	1.998	+ 459	+ 23	—	(78)
			1966-69	1	1	0	A	4	3	1.568	+ 70	+ 4	—	(78)
			1966-67	1	1	0	A	2	2	1.480	+ 257	+ 17	—	(78)
			1966-67	1	1	0	A	2	0	2.023	— 216	— 11	—	(78)
			1958-68	1	1	0	A	11	7	1.757	+ 188	+ 11	—	(38)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 900-1.000 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Sinthiou-M. Kotiari Missirah Sinthiou-M. Sinthiou-M. Sinthiou-M.	Champs de prév. Champs de prév. Champs de prév. Rotat. × eng. (3) P 54'' P 54	1967-68	1	1	0	A	2	2	2.066	+ 102	+ 5	—	(78)
			1967-68	1	1	0	A	2	2	1.582	+ 668	+ 42	—	(78)
			1967	1	1	0	A	1	1	2.401	+ 197	+ 8	—	(78)
			1962-67	1	1	0	A	5	3	2.234	+ 66	+ 3	—	(38)
			1957	1	2	0	A	1	1	2.375	+ 10	+ 1	—	(95)
			1961	1	2	0	A	1	0	2.224	— 37	— 2	0	(95)
Peu év. hyd. sur matériau Sablo-argil. gravillon. 1.300-1.400 mm	SÉNÉGAL ORIENTAL Kedougou	Champs de pré vulgaris.	1967-68	1	1	0	A	2	2	1.123	+ 310	+ 28	—	(78)
FTL sur grès du CT Sablo-argileux 1.300 mm	SÉNÉGAL (Casam.) Séfa Séfa Séfa Séfa Séfa	Jach. et EV - E4 Jach. et EV - E4 Champs de prév. Régénér. profil Régénér. profil	1958	1	3	0	A	1	1	2.620	+ 348	+ 13	+	(101)
			1960	1	3	0	A	1	1	2.410	+ 22	+ 1	0	(101)
			1966	1	1	0	A	1	1	2.662	+ 7	0	—	(78)
			1967	1	4	1	A	1	1	1.772	+ 105	+ 6	0	(74)
			1968	1	4	1	A	1	1	2.226	+ 96	+ 44	0	(74)

REMARQUES :

- (1) N : niébé ; A : arachide.
- (2) Résultats à la dose d 2 de fumure minérale.
- (3) Pas de résultats en 1963.
- (4) Essai très hétérogène. Résultats non compris dans le calcul de la moyenne.

TABLEAU IV-99
EFFETS RÉSIDUELS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LA CÉRÉALE
DE LA ROTATION : RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE
DANS LES ESSAIS DE L'IRHO AU SÉNÉGAL

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Durée de la sole de régénération		Nature de la céréale	Nombre de résultats annuels		Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours	
				Jachère brûlée	Labours d'enfouissement		Jachère brûlée	JE ou EV		Totaux	Positifs		(kg/ha)	(kg/ha)
					JE	EV								
Peu évolués sur sables dunaires 450-600 mm	Tivaouane	Enfouis. jachère	1958-64	1	1	0	2	2	M	Rendements très faibles non pris en considération				
	Tivaouane	Mil Engrais vert	1958-65	2	0	2	1-2	1	M					
	Louga	Jach. 1 bis, 2 ^e régénér.	1961-66	1	1	0	4	4	M					
FTL sur grès du CT Sablo-argileux bien drainés 700-900 mm	Darou	Comp. d'asst. et d'enfouissement.	1965-68	1	5	0	2	1	S	4	3	1.085	+ 56	+ 5
	Darou	Couv. jach. EV	1966	1	1	1	2	2	S	1	0	605	- 78	- 13
	Darou	Sorgho EV	1959-68	1	0	1	2	1	S	10	0	975	- 445	- 46
	Ensemble (moyennes pondérées)									S	15	3	980	- 287
FTL sur grès du CT Sablo-argileux à caract. d'hyd. 700-900 mm	Darou	Jachère 1 bis	1960-68	1	1	0	2	2	S	9	5	1.077	+ 74	+ 7
	Darou	Jachère 1 bis	1960-68	1	1	0	3	3	S	9	6	1.135	+ 144	+ 13
	Darou	Jachère 1 bis	1960-68	1	1	0	6	6	S	9	5	1.318	+ 51	+ 4
	Ensemble (moyennes pondérées)									S	27	16	1.177	+ 90
Ensemble (moyennes pondérées)									S	42	19	1.107	- 45	- 4

TABLEAU IV-100
EFFETS RÉSIDUELS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT SUR LA DEUXIÈME ARACHIDE
DE LA ROTATION : RÉGÉNÉRATION-ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE
DANS LES ESSAIS DE L'IRHO AU SÉNÉGAL

Sols et pluviométrie	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec			Durée de la régénération		Nombre de résultats annuels		Rendements témoins (kg/ha)	Plus-values sur labours	
				Jachère brûlée	Labours d'enfouissement		JB	JE ou EV	Totaux	Positifs		(kg/ha)	(kg/ha)
					JE	EV							
Peu évolués sur sables dunaires 450-600 mm	Tivaouane	Enfouis. jachère	1959-63	1	1	0	2	2	3	2	1.465	+ 70	+ 5
	Tivaouane	Mil Engrais vert	1960-65	1	0	1	2	1	6	0	1.230	- 360	- 29
	Louga	Jachère 1 bis	1962-66	1	1	0	4	4	5	2	1.470	- 140	- 10
Ensemble (moyennes pondérées)									14	4	1.366	- 189	- 14
FTL sur grès du CT Sablo-argileux bien drainés 700-900 mm	Darou	Comp. d'asst. et d'enfouissement	1966-68	1	5	0	2	1	3	1	1.865	- 18	- 1
	Darou	Sorgho Eng. vert	1960-68	1	0	1	2	1	8	2	2.275	- 155	- 7
Ensemble (moyennes pondérées)									11	3	2.163	- 118	- 5
FTL sur grès du CT Sablo-argileux à caract. d'hyd. 700-900 mm	Darou	Jachère 1 bis	1959-68	1	1	0	2	2	10	1	2.264	- 147	- 7
		Jachère 1 bis	1959-68	1	1	0	3	3	10	5	2.121	+ 14	+ 1
		Jachère 1 bis	1959-68	1	1	0	6	6	10	4	2.250	- 32	- 1
	Ensemble (moyennes pondérées)									30	10	2.122	- 55
Ensemble (moyennes pondérées)									55	17	1.938	- 102	- 5

5) MODALITES DE REALISATION DES LABOURS

On examinera successivement :

- les facteurs communs aux deux types de labours : avec ou sans enfouissement,
- les facteurs propres aux labours d'enfouissement,
- le problème de la reprise des labours et de la préparation du lit de semence.

a) FACTEURS COMMUNS AUX DEUX TYPES DE LABOURS

les instruments utilisés,
 les forces de traction,
 la profondeur de travail,
 l'humidité du sol,
 l'époque des labours et l'interaction avec les dates de semis,
 le modelé du terrain par les labours.

INSTRUMENTS UTILISÉS

Les instruments utilisés pour l'exécution des labours sont les charrues à soc et versoir et les charrues à disques. Il n'y a pas eu, à notre connaissance, d'expériences systématiques pour comparer les effets sur le sol et les cultures de ces deux types d'instruments. Cependant, de nombreuses observations faites sur le terrain, il ressort que le travail réalisé au soc est, dans l'ensemble, supérieur à celui réalisé à la charrue à disques. Cette dernière, même travaillant à faible vitesse, a tendance à trop pulvériser le sol et à faire, en sol sableux, des labours trop fondus. Elle reste cependant parfaitement utilisable et convient bien, en particulier pour les labours d'enfouissement. Elle présente, par ailleurs, d'indéniables avantages pratiques sur le soc dans des terrains qui sont insuffisamment dessouchés, ce qui est un cas fréquent.

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

Pour les charrues à soc, la forme du versoir influe sur la qualité du travail réalisé. SÉGUY (90), travaillant en Casamance, recommande, dans ces sols, l'adoption du versoir type « Corps Universel Américain », corps court cylindro-hélicoïdal. Un corps long présente l'inconvénient de comprimer fortement la bande de terre retournée sur la précédente, ce qui amène un émiettement assez poussé du sol, même lorsqu'on travaille dans des conditions d'humidité adéquate et à vitesse modérée.

La charrue de culture attelée vulgarisée au Sénégal est une charrue-support avec une roue unique en bout d'âge, près du régulateur de traction. Sa longueur nominale est de 9 pouces à 10 pouces ; le versoir est du type cylindro-hélicoïdal. C'est un matériel robuste, mais de dimensions assez réduites. Beaucoup d'autres matériels ont été utilisés, présentant des caractéristiques voisines, généralement des versoirs hélicoïdaux.

Tels quels, ces matériels peuvent donner satisfaction, mais il est certain qu'il serait possible de mettre au point des charrues de culture attelée beaucoup mieux adaptées au travail demandé, en particulier pour l'enfouissement de matière verte. Il faudrait pour cela faire appel à du matériel plus lourd, de gabarit plus important, avec un âge plus long, permettant un maniement plus facile.

En misant, à l'origine, sur du matériel de petit gabarit, on cherchait à diminuer à la fois l'effort de traction et le prix de revient. On s'aperçoit maintenant que l'effort de traction est beaucoup plus influencé par le rapport sol/machine que par une faible variation de poids du matériel tracté ; d'autre part, l'analyse des budgets d'exploitation fait ressortir que la part tenue par l'amortissement et l'entretien du matériel est encore très faible en comparaison des autres postes, et pourrait, sans dommage, augmenter (LE MOIGNE, 1967 [55]). D'importantes marges de progrès existent dans ce domaine.

Pour les labours d'enfouissement, une amélioration très sensible consiste à adapter, sur la charrue standard, un rabatteur-convoyeur, de fabrication très simple, solidaire de l'âge et situé devant le versoir. Ce rabatteur couche la matière verte devant la machine et la dirige ensuite vers la raie de labour. Des essais de ce matériel ont été très satisfaisants ; les bourrages sont nettement diminués, en particulier entre la roue-support et le versoir ; l'enfouissement est nettement amélioré, le supplément d'effort de traction est pratiquement nul (LE MOIGNE, 1967 [55]).

FORCES DE TRACTION

Le problème de la réalisation des labours pose avant tout celui de la force de traction. Dans la plupart des pays de la zone tropicale sèche, et en particulier au Sénégal, on considère, pour de multiples raisons évoquées plus haut, que la culture motorisée est encore prématurée. L'accent est mis, en vulgarisation, sur la traction animale : asine, équine ou bovine.

Or, les forces de traction susceptibles d'être fournies par les attelages en zones tropicales ne sont pas considérables. Ces forces sont en effet grossièrement proportionnelles aux poids des attelages et les animaux de ces régions sont, comparativement à ceux des zones tempérées, de formats assez réduits, même lorsqu'ils sont convenablement nourris toute l'année (ce qui est l'exception).

Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur, pour le Sénégal, des forces de traction développées par différents attelages.

Les efforts « normaux » sont les efforts moyens qu'on peut demander à un attelage pendant plusieurs heures de travail consécutives sans qu'il s'ensuive de fatigue ou de baisse de poids excessives pour l'attelage. Les efforts instantanés ont été mesurés par NOURRISSAT (76) dans des conditions artificielles (câbles tendus brutalement). Comme on le voit, les chevaux et les ânes sont susceptibles de fournir des efforts instantanés très élevés proportionnellement à leur poids. Cependant, en condition de travail normal, ils se fatiguent beaucoup plus vite que les bovins et les efforts moyens qu'on peut leur demander sont sensiblement moins élevés.

TABLEAU IV-35
EFFORTS DE TRACTION NORMAUX ET INSTANTANÉS FOURNIS PAR DIFFÉRENTS ATTELAGES
d'après NOURRISSAT (76) et HAMON

Attelages	Poids des animaux (kg)	Effort normal		Effort instantané		Effort instantané maximum	
		F (kg)	% du poids	F (kg)	% du poids	F (kg)	% du poids
1 âne	150	50	33	200	133	300	200
2 ânes	300	80	27	350	117	450	150
1 cheval	260	60	23	400	154	500	192
1 paire de vaches	640	100	16	370	58	500	78
1 paire de bœufs	800	120	15	500	63	630	79

Il convient maintenant de confronter les possibilités de traction offertes par les attelages et les efforts nécessités par la réalisation des labours. Ce sont avant tout les caractéristiques du sol qui déterminent le niveau de ces efforts pour un labour à une profondeur donnée. Contrairement à une opinion assez couramment répandue, les labours d'enfouissement se distinguent assez peu, en effet, des labours ordinaires à ce point de vue. Les particularités qu'ils présentent seront cependant examinées plus loin.

Le problème des forces de traction nécessitées par les labours dans les différents sols a été précédemment évoqué. Nous rappellerons seulement ici que le niveau moyen des forces requises pour le labour avec les charrues habituellement utilisées en culture attelée est, dans tous les cas, assez élevé et de l'ordre de 100 kg au moins. En rapprochant cette valeur de celles des efforts normaux fournis par les attelages (tableau IV-35), on voit que seuls les attelages de bovins peuvent convenir pour la réalisation des labours. Les attelages asins et équinés conservent tout leur intérêt pour les travaux de semis et d'entretien.

PROFONDEUR DE TRAVAIL

Il s'agit là d'une question très controversée. Beaucoup d'agronomes travaillant en zone tropicale sèche considéraient autrefois qu'il fallait travailler le sol le moins possible et, quand ce travail s'avérait indispensable, se cantonner aux horizons les plus superficiels. En fait, l'expérience acquise permet maintenant d'affirmer que cette opinion est doublement erronée : non seulement le travail du sol peut, comme nous l'avons vu, se révéler un puissant facteur de productivité agricole, mais encore il est souhaitable, dans la plupart des cas, de chercher à travailler le plus profondément possible : jusqu'à 25 cm ou 30 cm, par exemple. Cette dernière affirmation peut surprendre mais s'explique cependant assez aisément si l'on songe à ce qui a été dit plus haut, concernant le développement racinaire dans la couche labourée et le rôle d'écran joué parfois par le fond du labour. On conçoit alors l'intérêt d'offrir aux racines le plus de hauteur de sol possible pour leur développement. Cela est d'autant plus vrai que ce rôle d'écran joué par le fond du labour est plus net.

Le labour à grande profondeur (25 cm à 35 cm) ne paraît pas poser de problèmes particuliers pour les sols dont le profil est assez homogène et chez lesquels les horizons superficiels ne sont pas très contractés par rapport aux horizons sous-jacents, qu'il s'agisse de texture, structure, matière organique ou teneur en éléments minéraux. C'est le cas de toute la zone Nord et Centre Sénégal et, en particulier, de Bambey. Par contre, pour les sols originellement forestiers ou fortement lessivés, comme en Casamance, il peut y avoir un contraste marqué entre l'horizon de surface sablo-argileux, assez riche en matière organique et éléments minéraux, et l'horizon situé entre 20 cm et 40 cm, plus argileux mais plus pauvre en

matière organique et 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 travailler à grande profondeur dès la première année. Il y a malheureusement peu d'expériences systématiques dans ce domaine.

A Bambeï, POULAIN et TOURTE (85) ont mis en place, en sol « dior » et en sol « dek », deux essais combinant trois profondeurs de travail et cinq modalités d'apport d'azote.

Les traitements « Profondeur de travail » étaient les suivants :

- P 1 : grattage superficiel à l'iler ;
- P 2 : sous-solage à 40 cm en sol « dior », à 30 cm en sol « dek » ; labour à la charrue bidisques à 25 cm ; passage de la houe rotative ;
- P 3 : sous-solage à 70 cm en sol « dior », 60 cm en sol « dek » ; passage du pulvériseur lourd (Mamouth) travaillant à 25 cm de profondeur en sol « dior » et 20 cm en sol « dek » ; labour à la charrue bidisques à 40 cm ; passage du rouleau cross-kill en sol « dek » et de la houe rotative en sol « dior ».

Comme on le voit, le facteur profondeur n'est pas seul en cause ; pour travailler le sol en sec à la profondeur voulue, des opérations complexes ont été nécessaires pour réduire les énormes blocs de terre disloqués par le sous-solage. Les traitements P 2 et P 3 diffèrent non seulement par la profondeur de travail mais aussi par les modalités d'exécution de ce travail*.

Par ailleurs, les profondeurs choisies sont très grandes et ne correspondent pas à la pratique courante.

Les essais ont été cultivés en mil, en 1966, et en sorgho, en 1967. Les rendements sur les traitements P 1, P 2 et P 3 ont été calculés pour la moyenne des trois doses d'azote. Ils figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-36
INFLUENCE DE LA PROFONDEUR DE TRAVAIL SUR LES RENDEMENTS DU MIL ET DU SORGHO A BAMBEÏ
d'après POULAIN et TOURTE (85)

Traitements « Profondeur »	Mil 1966 (kg/ha)		Sorgho 1967 (kg/ha)	
	Sol « dior »	Sol « dek »	Sol « dior »	Sol « dek »
P 1	1.200	1.794	421	2.615
P 2	1.481	2.160	780	2.727
P 3	1.492	1.900	1.513	2.828

Les traitements P 2 et P 3 se différencient peu entre eux, sauf en ce qui concerne le sorgho en sol « dior ».

Compte tenu des réserves formulées plus haut, on ne saurait généraliser ces résultats et les tenir pour caractéristiques des essais de profondeur de travail.

Plus caractéristiques à cet égard sont des essais de techniques culturales réalisés en Haute-Volta.

Le premier essai a été implanté en 1955 à Saria, sur sol ferrugineux tropical lessivé à caractères d'hydromorphie en profondeur, formé sur colluvions dérivées de granodiorites.

Il comporte six traitements qui sont indiqués dans le tableau ci-dessous ainsi que les résultats correspondants, obtenus sur sorgho en présence d'une fertilisation légère.

TABLEAU IV-37
INFLUENCE DE LA PROFONDEUR DE LABOUR SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO EN HAUTE-VOLTA (35)

Traitements Caractéristiques	Profon- deur de travail	Rend. sorgho (kg/ha)	
		Grains	Pailles
Labour tracteur fin d'hivernage	21	2.319	8.786
Labour tracteur début d'hivernage	21	2.491	9.384
Labour bœufs début d'hivernage	15	2.364	8.243
Labour ânes début d'hivernage	9	2.129	7.953
Scarifiage à la houe Manga	superficiel	2.130	6.286
Préparation traditionnelle à la daba	superficiel	1.764	6.014

* Cette remarque vaut d'ailleurs pour tous les essais de profondeurs de labours ; on ne modifie pas seulement le facteur profondeur mais, obligatoirement, d'autres caractéristiques (largeur attaquée, notamment).

On note une décroissance assez régulière des rendements allant de pair avec une diminution de la profondeur de travail. L'analyse statistique sur les rendements en grains met en évidence, par les décompositions orthogonales, une supériorité des labours au tracteur sur les autres traitements, ainsi qu'une infériorité du travail à la daba sur tous les autres traitements.

En 1966, un essai * a comparé à un témoin travaillé à la daba trois profondeurs de labours :

- labour à l'âne : 7 cm,
- labour aux bœufs : 12 cm,
- labour au tracteur : 20 cm.

L'effet, sur les rendements du sorgho, du labour à 7 cm est très faible et non significatif. Les labours à 12 cm et 20 cm ont, par contre, des effets sensibles et procurent des augmentations de rendement de 30 % à 40 % par rapport aux témoins ; l'action du labour à 20 cm est légèrement supérieure. D'autre part, le salissement des parcelles est moindre par la suite.

Un autre essai de ce type a été mis en place à Saria, en 1967, sur sol gravillonnaire ; il a malheureusement été attaqué par le *Striga* et on ne peut en tirer de conclusion valable.

Enfin, un essai implanté à Farako-Ba sur sol ferrallitique moyennement désaturé sur grès cambriens a testé, en 1967, l'effet de façons culturales sur sorgho après une culture à cycle long (cotonnier), ne permettant pas de labour de fin d'hivernage. En 1966, l'effet positif du labour sur cotonnier avait été mis en évidence **. Parmi les traitements figuraient des labours réalisés soit aux bœufs, soit au tracteur, à des profondeurs différentes ***. L'ensemble des traitements et des rendements leur correspondant, pour le sorgho en 1967, figure dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-38
INFLUENCE DE LA PROFONDEUR DE LABOUR ET DIVERSES MODALITÉS DE TRAVAIL DU SOL
SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO EN HAUTE-VOLTA (30)

Traitement de préparation du sol			Rendements grains sorgho 1967 (kg/ha)
Fin hivernage 1965	Début hivernage 1966	Début hivernage 1967	
Labour tracteur	Scarifiage	Labour tracteur + scarifiage	1.375
Labour tracteur	Scarifiage	Scarifiage	1.305
Labour tracteur	Pulvérisage	Pulvérisage	1.288
Labour bœufs	Scarifiage	Labour bœufs + scarifiage	1.156
Labour bœufs	Scarifiage	Scarifiage	1.034
Néant	Daba	Daba	1.010

L'analyse statistique fait ressortir, outre un effet global du labour et un effet cumulatif du labour, un effet positif de la profondeur de labour.

Outre ces résultats d'essais, l'observation des résultats obtenus en grande culture plaide également en faveur de la profondeur du labour. C'est ainsi qu'à la station de Séfa, en Casamance, les améliorations notables constatées depuis 1963, tant en ce qui concerne la structure des sols que les rendements agricoles, paraissent largement imputables à une modification radicale dans les techniques culturales intervenue à cette époque et impliquant notamment le remplacement des labours, ou plutôt des pseudo-labours superficiels (10 cm) à la déchaumeuse, par de véritables labours aux disques ou au soc à une profondeur de 25 cm à 35 cm. Il faut également y ajouter une plus grande précocité dans les dates de semis.

Ajoutons pour terminer que l'attitude de défense de certains agronomes vis-à-vis du travail du sol en zone tropicale sèche paraît pouvoir s'expliquer en grande partie par une certaine confusion qui a manifestement été faite entre les notions de profondeur de travail et d'intensité de travail. Or, sans aller jusqu'à dire que ces notions sont contradictoires, on peut cependant reconnaître qu'elles sont largement indépendantes : on peut, en travaillant à 30 cm ou 40 cm de profondeur, faire un labour motteux, n'émiettant pas le sol et, au contraire, en opérant sur 2 cm, détruire complètement la structure, pulvériser le sol et le réduire en poudre (cas du rotavator travaillant à grande vitesse ou de certains pulvérisages trop poussés). L'intensité de travail du sol, dans les sols tropicaux sableux, est à proscrire absolument : détruisant la structure, déjà peu développée de ces sols, elle ouvre la voie à la dégradation du profil cultural et au développement de l'érosion. La profondeur de travail du sol est au contraire à rechercher dans toute la mesure

* Sur lequel nous ne possédons pas de renseignements détaillés.

** Nous ne possédons pas d'autres renseignements sur cette culture.

*** Non précisées.

du possible. Il est certain qu'à ce point de vue la traction motorisée est nettement plus avantageuse que la traction bovine. Il est difficile, en effet, avec des animaux de format médiocre, de labourer à plus de 15 cm à 20 cm en sol sableux et 10 cm à 15 cm en sol sablo-argileux, même lorsque le sol est humide. Il faudrait pouvoir atteindre 25 cm, qui paraît être la profondeur optimum dans la plupart des cas. Cela n'est possible, en traction bovine, qu'en attelant deux paires de bœufs et avec d'autres charrues.

HUMIDITÉ DU SOL

Pour les labours ordinaires, la première question qui se pose, à ce sujet, est de savoir si l'on doit opérer en sec ou en humide. Il n'est pas douteux que la qualité du travail sera meilleure si l'on opère en humide, à un taux d'humidité du sol convenable.

Le labour en sec dans les terrains sablo-argileux aboutit en effet à la formation de très grosses mottes noyées dans un matériel plus ou moins pulvérulent. D'autre part, il exige une force de traction très élevée ; en culture attelée bovine, il ne peut être envisagé que sur les terrains les plus sableux ou qui ont été déjà travaillés.

Enfin, le matériel s'use beaucoup plus rapidement dans ces conditions, le pouvoir abrasif du sable sec étant particulièrement élevé. Pour toutes ces raisons, le labour en sec ne doit être pratiqué qu'à défaut de pouvoir utiliser une autre méthode. Bien que son utilisation ait amené, en essais, de substantielles augmentations de rendements, il est difficile de recommander sa vulgarisation.

Sur sol humide, il est possible, pour des terres de texture moyenne, 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 (44). Ceci est souvent difficile dans les sols de la zone tropicale Ouest-africaine 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 en dessous de la capacité de rétention, soit entre 10 % et 15 % d'humidité pondérale pour la plupart des sols sablo-argileux.

Ces valeurs sont faibles ; compte tenu du fort pouvoir évaporant de l'air, l'humidité du terrain 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).

L'ÉPOQUE DES LABOURS ET L'INTERACTION AVEC LES DATES DE SEMIS

Le problème se pose différemment pour les labours ordinaires de préparation et pour les labours d'enfouissement. On examinera donc séparément ces deux cas.

CAS DES LABOURS ORDINAIRES

Dans la majeure partie de la zone tropicale sèche, la saison des pluies est de courte durée (trois à cinq mois) et l'agriculteur dispose de fort peu de temps pour combiner, en début de saison des pluies, 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 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 part 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 jours à 105 jours). Derrière toutes ces cultures, il est donc 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 en 1963 par CHARREAU, NICOU et THIROUIN (19) 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.

TABLEAU IV-39
INFLUENCES COMBINÉES DE L'ÉPOQUE DU LABOUR ET DE LA DATE DE SEMIS
SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE ET DU MAÏS A SÉFA (CASAMANCE) (19)

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	Moyenne	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 cet essai que le labour de fin de cycle 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 certains cas, 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 intéressant à tous les points de vue.

Par la suite, on a cherché à voir s'il n'était pas possible d'étendre cette pratique à d'autres régions du Sénégal un peu moins favorisées que la Casamance du point de vue pluviométrique, mais présentant cependant une saison des pluies suffisamment étalée : Sine-Saloum et Sénégal oriental. On a cherché à comparer son intérêt à celui des labours réalisés à d'autres époques. Tel fut le but des **essais « Mode de préparation × Dates de semis »** mis en place par NICOU (71) à Nioro-du-Rip et Sinthiou-Malème. Ces essais combinent, entre autres traitements, trois modalités de labour, différant par l'époque de réalisation et trois dates de semis. Les modalités de labours sont les suivantes :

- labour de fin de campagne (ou de fin de cycle),
- labour de saison sèche,
- labour de début d'hivernage.

Le témoin consiste en une préparation superficielle traditionnelle ; elle est réalisée à l'iler à Nioro-du-Rip et à la daba à Sinthiou-Malème.

Les dates de semis sont définies de la façon suivante :

- première date : à la première pluie utile (environ 30 mm) ;
- deuxième date : dès la fin des préparations du sol en humide ;
- troisième date : quinze jours environ après la deuxième date.

Les résultats des trois années ont été rassemblés dans le tableau IV-101, en annexe. Les moyennes de rendements pour les trois années figurent dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-40
INFLUENCES COMBINÉES DE L'ÉPOQUE DES LABOURS ET DES DATES DE SEMIS
SUR LES RENDEMENTS DE DIVERSES CULTURES AU SÉNÉGAL
d'après NICOU (71)

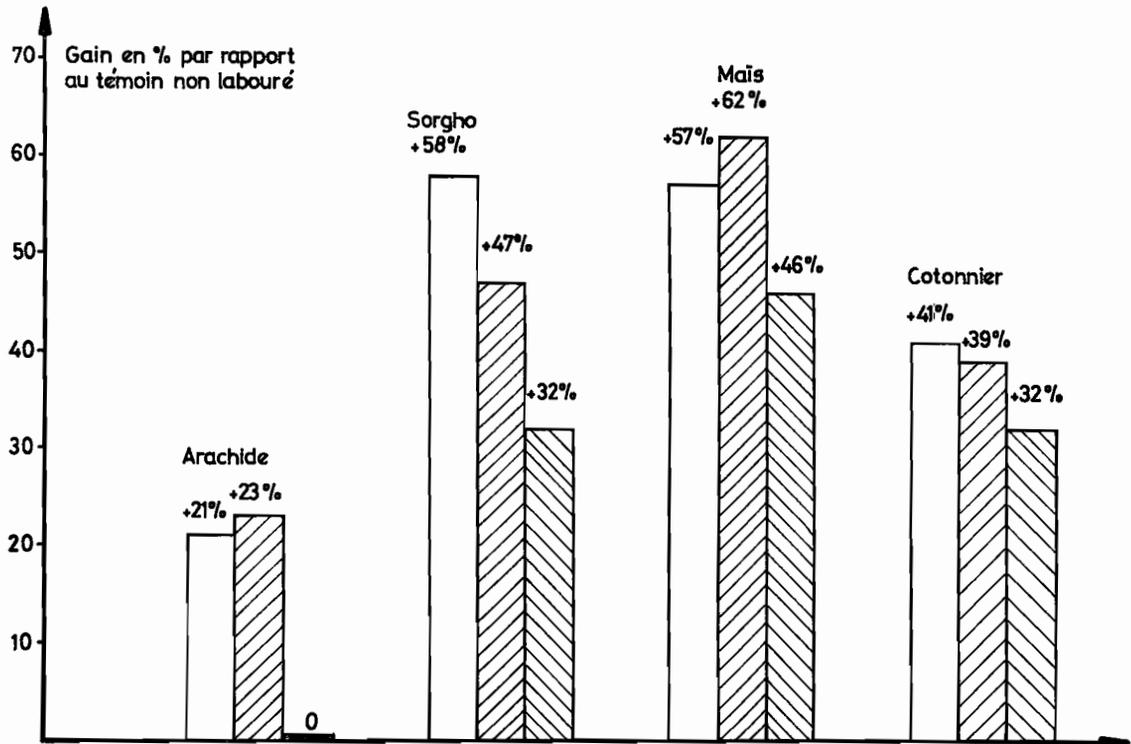
Localisation	Culture	Labour de fin de cycle		Labour de saison sèche		Labour de début d'hivernage		Témoin
		Semis 1 ^{re} date	Semis 3 ^e date	Semis 1 ^{re} date	Semis 3 ^e date	Semis 2 ^e date	Semis 3 ^e date	Semis 1 ^{re} date
Nioro-du-Rip	Arachide	2.257	1.974	2.312	1.883	2.282	1.817	2.086
	Sorgho	3.500	2.764	3.136	2.819	3.258	2.920	2.216
Sinthiou-Malème	Maïs	3.045	3.436	2.658	2.647	2.989	3.392	2.031
	Cotonnier	2.316	1.908	2.207	1.820	2.280	2.169	1.643

GRAPHIQUE IV - 9

**Influences conjuguées de l'époque de réalisation des labours de
préparation et des dates de semis sur les rendements des cultures**

Moyenne Générale des résultats obtenus au Sénégal depuis 1964

Labour de fin de cycle Semis précoce
 Labour de début d'hivernage Semis précoce
 Labour de début d'hivernage Semis retardé



A l'examen de ces résultats, plusieurs constatations peuvent être faites :

— Supériorité très nette des semis précoces pour toutes les cultures, à l'exception du maïs qui donne fréquemment de meilleurs rendements lorsque la date de semis est un peu retardée. Ceci peut tenir à une sensibilité particulière du maïs à la sécheresse pendant la première phase de sa croissance.

On note que le paysan, dans ces régions, a intérêt, pour toutes les cultures, sauf pour l'arachide, à effectuer un labour de préparation même s'il doit pour cela retarder la date de semis de deux à trois semaines (à condition de ne pas dépasser le 15 juillet).

— Différences assez faibles, pour une même date de semis, entre les diverses époques de labours. Le labour en sec est toutefois inférieur aux labours en humide, sauf pour l'arachide.

La meilleure technique pour l'arachide, le cotonnier et le sorgho est celle d'un labour en humide semé précocement. Pratiquement, pour le paysan, il est difficile de labourer à la première pluie et de semer immédiatement. Dans la majorité des cas, c'est donc le labour de fin de cycle qui paraît la solution la plus avantageuse.

Pour l'arachide, c'est même la seule possibilité en dehors du cas, assez rare au Sénégal, de pluies précoces permettant d'effectuer le labour avant que le cycle des pluies se soit réellement installé.

Les données du tableau IV-40, concernant les résultats obtenus au Sénégal, sont reprises sous forme graphique (IV-9).

En Haute-Volta, trois essais installés à Saria sur différents sols permettent de comparer les effets des labours de fin de cycle et de début d'hivernage sur les rendements du sorgho (33). De ces essais sont extraits les résultats figurant dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-41
COMPARAISON DES EFFETS DES LABOURS DE FIN ET DE DÉBUT D'HIVERNAGE
SUR LES RENDEMENTS DU SORGHO A SARIA (HAUTE-VOLTA)
(en kg/ha de grain) (33)

Préparation du sol	Années		
	1964	1965	1967
Préparation superficielle à la daba	1.143	1.764	843
Labour de fin d'hivernage	1.598	2.398	1.298
Labour de début d'hivernage	1.305	2.491	938

Les deux modalités de labours manifestent leur supériorité par rapport au témoin non travaillé. Dans deux cas sur trois, le labour de fin d'hivernage se trouve supérieur au labour de début d'hivernage. La différence est statistiquement significative en 1964.

Au Niger, également, on a comparé des dates de réalisation des labours de préparation (65). L'essai implanté en 1967 à Tarna, en sol dunaire, combinait factoriellement trois objets :

- labour de fin d'hivernage,
 - labour de début d'hivernage,
 - fumure minérale faible de type économique,
- chacun, à deux niveaux : absence et présence.

On a retenu seulement ici les effets des labours en présence de fumure minérale, soit quatre traitements. Les résultats, concernant les rendements en gousses et en fanes d'arachides, figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-42
COMPARAISON DES EFFETS SIMPLES ET COMBINÉS DES LABOURS DE FIN ET DE DÉBUT D'HIVERNAGE
SUR LA PRODUCTION DE L'ARACHIDE A TARNA, NIGER (65)

Préparation du sol	Gousses (kg/ha)	Fanes (kg/ha)
Superficielle	1.688	3.423
Labour de fin d'hivernage	1.804	3.431
Labour de début d'hivernage	1.724	3.280
Combinaison des deux labours	1.780	3.224

L'action des labours est ici assez faible. On note une légère supériorité du labour de fin d'hivernage.

Le principal intérêt du labour de fin de cycle réside dans le fait qu'il autorise dans tous les cas, en milieu paysan, la précocité des semis.

En dehors de cet avantage pratique important, le labour de fin de cycle présente, par rapport au labour de début d'hivernage, quelques particularités qui peuvent expliquer que, dans certains cas, il ait un effet plus important sur les rendements des cultures. Ces particularités sont les suivantes :

- conservation de l'humidité dans le sol par création d'un mulch superficiel, freinant ou arrêtant l'évaporation ;
- meilleure infiltration des premières pluies et moindres pertes d'eau par rapport au labour de début d'hivernage ;
- développement de la stabilité structurale au cours de la saison sèche.

Les deux premières raisons correspondent à des faits d'observation courante. Leur incidence agronomique peut être importante lorsque le début de saison est caractérisé par des pluies irrégulières, ce qui est fréquent en zone tropicale sèche, et lorsque les sols sont peu perméables ou situés sur une pente plus ou moins accentuée : elle se traduit alors, pour la plante, par de meilleures possibilités d'alimentation en eau.

Concernant la stabilité structurale, on a mentionné plus haut les résultats trouvés à Madagascar sur la diminution de l'indice d'instabilité structurale au cours de la saison sèche, après réalisation des labours de fin de cycle.

Pour terminer, on notera que la combinaison des labours de fin de cycle et des semis précoces a une incidence importante sur le ruissellement et l'érosion. Cette combinaison a été testée à Séfa en parcelles d'érosion par rapport à un système cultural témoin caractérisé par un travail du sol superficiel (déchaumeuse et pulvérisateurs à disques), réalisé en début d'hivernage et entraînant un certain retard de semis. Ainsi que le rapporte CHARREAU (15), le nouveau système (labours de fin de cycle) diminue sensiblement le ruissellement et l'érosion : respectivement de 35 % et 63 % en moyenne sur trois ans. Ceci traduit une nette amélioration de l'adaptation des techniques culturales au milieu pédoclimatique. Les rendements augmentent en conséquence.

CAS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT

Il convient de distinguer ici les labours d'enfouissement de pailles de ceux d'enfouissement de matière verte (engrais vert ou jachère).

Pour les premiers, la date de réalisation des labours est fixée à quelques jours près et se situe obligatoirement entre la date de récolte et celle de la fin de la saison des pluies, cette dernière date correspondant à une conservation des réserves hydriques des horizons superficiels du sol encore suffisante pour que le labour puisse être exécuté dans de bonnes conditions. Comme on l'a vu, cet intervalle est assez court et ne dépasse pas deux à trois semaines pour les diverses céréales à court cycle ; il est parfois nettement moindre (cas du mil hâtif dans les zones Nord et Centre Sénégal).

Par contre, les labours d'enfouissement de matière verte peuvent être effectués à une époque très variable de la saison des pluies. C'est donc pour ce type de labour que se posent les problèmes de dates de réalisation.

Au début de l'utilisation de la technique d'engrais vert, l'opinion des agronomes était généralement en faveur d'un enfouissement précoce, vers la mi-août. Cette opinion était fondée par le souci d'assurer à la matière végétale enfouie une bonne décomposition et l'on estimait nécessaire, pour cela, que le sol reçût une certaine quantité d'eau après l'enfouissement. A cette époque, on accordait un rôle essentiel, dans l'effet améliorateur de l'engrais vert, à l'accroissement supposé des taux de matière organique et d'humus du sol. Il était donc logique que l'on se préoccupât tout particulièrement des conditions de décomposition et d'humidification de la matière végétale enfouie.

Depuis lors, on a pu s'apercevoir que dans la technique fumure verte des mécanismes d'action autres que l'amélioration du bilan humique entraînent en jeu et que, parmi ceux-ci, la modification de la structure du sol jouait un rôle essentiel. Par ailleurs, diverses études montrèrent que la **décomposition de la matière végétale** n'exigeait pas de grandes quantités de pluies après enfouissement pour s'effectuer correctement.

VIDAL (10) réalise, le 18 septembre 1959, des enfouissements de mil et de jachère dont les rapports C/N sont respectivement de 45 et 64. Au moment de l'enfouissement, l'humidité du sol est au voisinage de la capacité de rétention. Le 30 mars 1960, il ouvre le sillon d'enfouissement, observe que les différents organes végétaux sont encore identifiables mais présentent des signes évidents d'altération. Les C/N sont tombés à 25 pour le mil et 31 pour la végétation naturelle. DOMMERMUES, qui a procédé à l'analyse microbienne des échantillons prélevés, souligne l'abondance des germes cellulolytiques et de la microflore totale. Or, la pluviométrie entre le 18 septembre et le 30 mars a été seulement de 30 mm. Ceci prouve bien que les phénomènes biologiques ne sont pas stoppés en cours de saison sèche malgré la faible humidité des horizons superficiels. DOMMERMUES attribue un rôle primordial aux champignons, dans la dégradation de la matière végétale, lorsque l'humidité de l'horizon d'enfouissement se situe à un pF supérieur à 4,2.

BONFILS (10) a étudié, en bacs de végétation, la décomposition de feuilles et tiges de mil et plantes de jachère dans deux sols différents. Pour les plantes de jachère, il comparait à un témoin recevant seulement la pluie un traitement comportant un apport supplémentaire d'eau en début de saison sèche (novembre-décembre). L'expérience a débuté le 18 septembre 1960 (enfouissement de la matière verte placée par lots de 200 g dans des sacs de treillis de nylon, sous 5 cm de terre). La pluviométrie, après l'enfouissement, a été de 180 mm. L'apport d'eau supplémentaire a été de 50 mm. En fin de saison sèche (2 juin 1961), la proportion de matière végétale décomposée était la suivante (en %) :

	Sol « dior »	Sol « dek »
Témoin	72	78
Apport d'eau supplémentaire	78	78

Les apports d'eau supplémentaires n'ont donc pas eu d'influence nette, sauf peut-être sur sol « dior » en deuxième année.

De nombreuses observations de profils culturaux faites depuis sont venues confirmer le fait qu'une bonne partie de la matière végétale se décompose dans le mois qui suit l'enfouissement ; elle est par ailleurs très attaquée par les termites et autres animaux du sol. Cette décomposition s'effectue même lorsque le labour d'enfouissement ne reçoit que peu ou pas d'eau de pluie. Il faut toutefois, semble-t-il, que deux conditions soient remplies :

- humidité du sol au moment du labour proche de la capacité de rétention,
- humidité du végétal enfoui suffisante et dépassant 65 % à 70 % ; lignification pas très avancée et rapport C/N inférieur à 70.

De nouvelles études, récemment entreprises sur ces questions, devraient permettre d'apporter bientôt de nouvelles précisions. Quoi qu'il en soit, l'argument de la décomposition de la matière végétale apparaît maintenant tout à fait insuffisant pour justifier, à lui seul, un enfouissement précoce.

Or, il y a de sérieux inconvénients, du point de vue du profil cultural, à réaliser cet enfouissement précocement, en pleine saison des pluies. Le sol est alors exposé sans protection aux pluies violentes de l'hivernage. Celles-ci, battant le sol, détruisent l'effet du labour en le tassant et provoquent une érosion plus ou moins grave. Le labour n'est protégé que par la matière végétale enfouie qui joue un rôle mécanique d'armature et empêche un tassement complet. Mais par ailleurs, lorsque le sol est suffisamment argileux en surface, le tassement et la fermeture du labour par les pluies peuvent amener des conditions anaérobies dans le fond du sillon et induire des fermentations de la matière organique aboutissant, dans certains cas, à la formation d'un véritable gley. Ce phénomène a été observé à plusieurs reprises à Séfa.

A Bambeï, BLONDEL (6) a pu faire, en terrain « dek », une série d'observations précises sur les labours d'enfouissement de mil engrais vert réalisés à des dates différentes sur des bandes voisines :

- labour avec enfouissement du 1^{er} septembre 1963 : 175 mm de pluie après labour ;
- labour avec enfouissement du 15 septembre 1963 : 100 mm de pluie après labour ;
- labour avec enfouissement du 30 septembre 1963 : 80 mm de pluie après labour ;
- labour sans enfouissement du 30 septembre 1963 : 80 mm de pluie après labour.

Les observations ont été faites en mars 1964, soit six mois environ après réalisation des labours, au cœur de la saison sèche. Elles étaient accompagnées de mesures de pénétrométrie et de relevés de profils hydriques (graphiques IV-10 et IV-11). Les labours ont été réalisés à la charrue à disques.

L'examen des profils culturaux permet de noter :

— une microérosion en surface d'autant plus développée que le labour est plus précoce ; il y a ségrégation de particules et de sables, développement d'une structure lamellaire dans le premier centimètre, colmatage des interstices créés par le labour ; les traces de battance sont faibles sur le labour du 30 septembre ;

— une reprise en masse du profil d'autant plus marquée que le labour est plus précoce ; sur le profil du labour du 1^{er} septembre il n'y a pratiquement plus trace de la structure créée par le labour d'enfouissement ; au contraire, pour le labour d'enfouissement du 30 septembre, on retrouve des mottes, parcourues de nombreuses galeries d'animaux, ainsi que des éléments polyédriques soufflés ;

— une décomposition de la matière végétale enfouie, satisfaisante dans tous les cas ;

— une conservation de l'humidité en profondeur d'autant meilleure que le labour est réalisé plus tardivement.

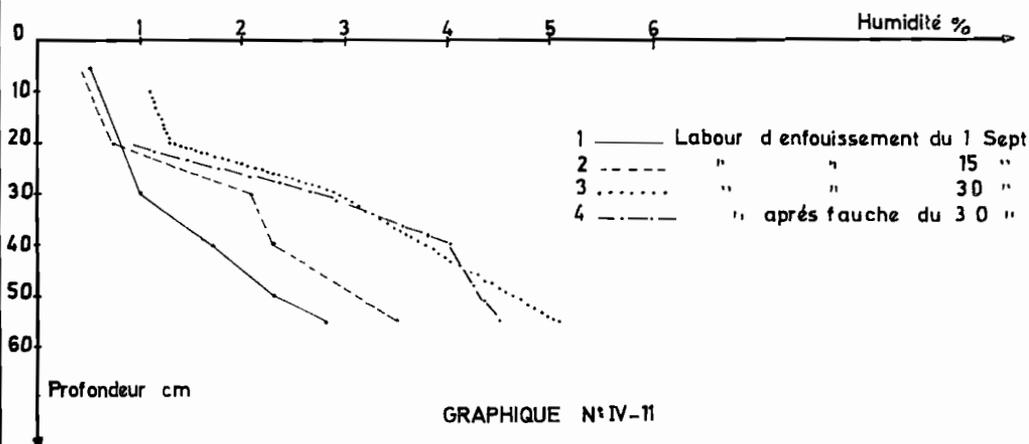
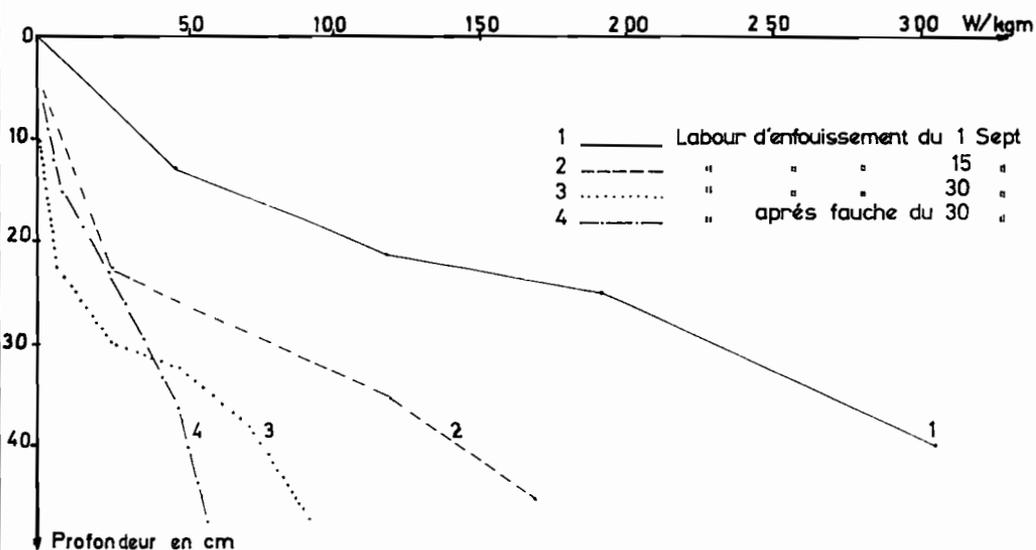
La comparaison des labours du 30 septembre, avec et sans enfouissement, montre en outre qu'en l'absence de matière verte incorporée au sol il ne se développe pas de microporosité tubulaire caractéristique de l'activité de la mésofaune.

Les courbes de pénétrométrie (graphique IV-10) traduisent bien la reprise en masse du sol sur les labours ayant reçu de fortes quantités de pluies. Le travail nécessaire à la pénétration est d'autant plus grand, pour une profondeur donnée, que le labour a été réalisé plus précocement. Les forces de résistance à la pénétration sur les 20 cm sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les coefficients de cohésion ont été calculés en prenant pour base 100 le labour d'enfouissement du 1^{er} septembre.

Le graphique IV-11 met en évidence la discontinuité créée, dans les profils hydriques, par le fond du labour, ainsi que la meilleure conservation d'humidité sous les labours les plus tardifs.

GRAPHIQUE N° IV-10

Courbes de Résistance à la Pénétration sur des Labours d'Enfouissement Réalisés à des Dates Différentes



GRAPHIQUE N° IV-11

Profils Hydriques des Terrains Labourés à des Dates Différentes

(D'après D. Blondel 1964)

TABLEAU IV-43

FORCES DE RÉSISTANCE A LA PÉNÉTRATION SUR 20 CM
POUR LES LABOURS EXÉCUTÉS A DIFFÉRENTES DATES

Numéro du traitement	Type de labour	Date de réalisation	Pluies après labour (mm)	Forces de résistance à la pénétration sur 20 cm	
				Kg	Coef. de cohésion (%)
1	Enfouissement ...	1 ^{er} septembre	175	320	100
2	Enfouissement ...	15 septembre	100	96	18
3	Enfouissement ...	30 septembre	88	26	5
4	Ordinaire	30 septembre	87	87	17

Cet ensemble d'observations et de mesures montre bien le danger qu'il y a, pour le sol, à effectuer des enfouissements très précoces. Ceci est à rapprocher des observations faites par FAUCK et COINTEPAS, en Casamance, et reprises par ROOSE (89) sur le danger érosif de l'engrais vert ; l'érosion mesurée en parcelles expérimentales est en effet de 7,82 t/ha en moyenne sur dix ans, sous l'engrais vert, alors qu'elle est seulement de 4,88 t/ha sous jachère ; les maxima observés au cours de cette période (1954-1963) sont de 10,14 t/ha pour la jachère et 22,71 t/ha pour le sorgho engrais vert. On aurait pu, en s'en tenant à ces résultats bruts, conclure que l'engrais vert était une pratique favorisant l'érosion. En fait, l'analyse détaillée des résultats montre, comme on pouvait s'y attendre, qu'il y a une reprise très nette de l'érosion lorsque l'engrais vert est enfoui et que le sol est exposé nu aux pluies. Cette reprise est naturellement d'autant plus marquée que le labour d'engrais vert reçoit davantage de pluies, c'est-à-dire qu'il est réalisé plus précocement. En reculant la date d'exécution du labour aussi tard que possible vers la fin de la saison des pluies, on diminue, jusqu'à l'annuler, le risque d'érosion.

Il y a **assez peu d'essais** ayant mis en comparaison des dates de réalisation du labour d'enfouissement.

A Séfa (13), il est mentionné que des enfouissements précoces ayant reçu 338 mm de pluies ont donné de meilleurs résultats que des enfouissements tardifs (114 mm de pluie), mais il n'est fourni aucune indication sur les rendements et la manière dont a été réalisé l'essai.

A **Bambey**, FAURE (41) a mis en place, en 1954, un essai factoriel combinant 3 dates d'enfouissement, 3 natures de matière verte enfouie et 2 doses d'engrais.

Les dates choisies pour l'enfouissement étaient les suivantes :

- première date : début épiaison du mil souna (40 jours après la levée) ;
- deuxième date : fin floraison du mil souna (60 jours à 70 jours après la levée) ;
- troisième date : après récolte du mil souna (80 jours à 90 jours après la levée).

Les résultats sur arachide en 1965 ont été les suivants :

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| première date : 1.278 kg/ha] | |
| deuxième date : 1.534 kg/ha] | Significatif à P 0,01. |
| troisième date : 1.538 kg/ha] | |

Les enfouissements les plus tardifs se sont donc montrés nettement supérieurs à l'enfouissement précoce sur cette première culture. L'année suivante, il n'apparaît plus de différence sur le sorgho succédant à l'arachide.

En 1962, l'essai de régénération implanté à **Thiénaba** (80) permettait de comparer, sur arachide, les effets des deux labours d'enfouissement de jachère, l'un réalisé précocement, le 21 août 1961, l'autre tardivement, le 26 septembre de la même année. Le premier labour reçut 262 mm de pluies après exécution, le second une dizaine de millimètres seulement. Les rendements en gousses sont de 945 kg/ha pour le premier labour et de 979 kg/ha pour le second ; ils se situent donc tous les deux à un niveau médiocre et ne présentent pas, entre eux, de différence significative. Le développement végétatif, par contre, a été nettement favorisé par le labour tardif puisque les rendements en pailles sont de 1.734 kg/ha pour le premier labour et de 2.386 kg/ha pour le second ; la différence est ici significative à P 0,01.

Au Niger, un essai combinant 5 formes d'engrais vert ou jachère et 3 dates d'enfouissement a été mis en place en 1964 à Tarna sur sol dunaire (63). Les traitements ont été testés par une arachide en 1965, à laquelle a succédé un mil en 1966. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous. Ils concernent la moyenne des formes de fumure verte.

Dans les deux cas, l'influence de la date d'enfouissement est statistiquement significative. Il est curieux de constater qu'elle joue en sens inverse pour l'arachide et pour le mil. Pour l'arachide, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, le report de la date d'enfouissement en fin de saison des pluies favorise nettement la production en gousses. L'effet résiduel du labour d'enfouissement sur mil est, par contre, un peu plus marqué sur enfouissement précoce. Ce dernier point est difficilement explicable.

TABLEAU IV-44

INFLUENCE DE LA DATE D'ENFOUISSEMENT DE L'ENGRAIS VERT OU DE LA JACHÈRE
SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE ET DU MIL A TARNA (NIGER) (63)

Date d'enfouissement 1964	Pluie après labour (mm)	Arachide 1965 Gousses (kg/ha)	Mil 1966 Grains (kg/ha)
25 août	265	2.424	1.210
10 septembre	32	2.600	1.194
25 septembre	0	2.712	1.040

Les quelques résultats agronomiques disponibles viennent donc, dans l'ensemble, confirmer les conclusions de l'analyse des effets sur le sol. Il est permis d'affirmer, maintenant, que les enfouissements précoces sont condamnables et dangereux pour le sol et que la date d'exécution du labour doit être reculée aussi tard que possible vers la fin de la saison des pluies, de façon à ce que le labour ne reçoive pas plus d'une cinquantaine de millimètres de pluies après son exécution. En se fondant sur l'analyse fréquentielle des pluies, on peut estimer que cet objectif peut être atteint huit ou neuf années sur dix au Sénégal en labourant vers le 15 septembre dans la zone Nord, le 25 septembre dans la zone Centre et le 1^{er} octobre dans les zones méridionales et orientales. Le problème sera de concilier cet impératif de la date d'exécution du labour et les difficultés pratiques de l'enfouissement d'une masse végétale ayant atteint un stade de développement et de lignification avancé. Ce point sera examiné plus loin.

PRÉPARATION DES TERRES ET MODELÉ DU TERRAIN

Les labours peuvent, suivant leur mode de réalisation, influencer plus ou moins le modelé du terrain. Ils peuvent être réalisés à plat, en planches ou en billons ; être dirigés suivant la pente ou suivre les courbes de niveau. Ces deux points seront examinés successivement.

LABOURS A PLAT, EN PLANCHES ET EN BILLONS

Ce point concerne essentiellement les labours ordinaires de préparation, car les labours d'enfouissement sont pratiquement toujours réalisés à plat.

Les labours en planches larges ou étroites sont principalement utilisés dans les cas de drainage déficient. Leur emploi est peu courant dans la zone étudiée et n'a pas fait, à notre connaissance, l'objet de recherches spéciales.

La culture en billons ne doit pas être confondue avec la technique de buttage ; dans ce dernier cas, les plantes sont semées à plat et le buttage n'intervient qu'en milieu de saison, lorsqu'elles ont atteint un certain développement. Cette technique de buttage sera donc étudiée plus loin, avec les travaux d'entretien. Les billons sont au contraire réalisés avant le semis, et les plantes semées, habituellement, au sommet des billons. Les billons sont confectionnés manuellement avec des outils de formes variables suivant les ethnies *. En Afrique anglophone, et en particulier en Nigeria du Nord et Gambie, les agronomes recommandent la pratique du billonnage en culture mécanisée, surtout sous forme de billons cloisonnés, et proposent à la vulgarisation des charrues munies de corps billonneurs.

On s'accorde en effet couramment à reconnaître à la culture en billons un certain nombre d'avantages par rapport aux labours à plat :

- meilleure infiltration de l'eau dans le sol, surtout lorsqu'il s'agit de billons cloisonnés ;
- meilleure protection contre ruissellement et érosion ;
- meilleure maîtrise de l'herbe.

Concernant le premier point, on peut considérer qu'il intéresse surtout les régions Nord de la zone et intervient principalement en début de saison des pluies. L'accroissement de l'infiltration peut, dans ces conditions, avoir en effet une incidence agronomique importante. Mais il ne faut pas oublier qu'un labour à plat, suffisamment profond et correctement réalisé, peut également se montrer très efficace pour l'amélioration de l'infiltration (CHARREAU, 1969 [15]).

Le deuxième argument, touchant au rôle du billon en matière de conservation du sol, est celui qui est le plus couramment utilisé pour souligner l'intérêt de cette pratique. Il est de fait que des billons suivant fidèlement les courbes de niveau entravent efficacement le ruissellement et diminuent donc, jusqu'à les annuler, les pertes en terres. C'est ce qu'ont montré, en particulier, les études menées en cases d'érosion tant au Sénégal qu'en Côte-d'Ivoire (3). Mais, à ce sujet, il faut faire remarquer que ces études,

* Principalement : « daba », « daremba » ou « kayendo ».

réalisées sur parcelles de dimensions modestes (de l'ordre de 250 m²), ont une portée limitée et ne rendent qu'imparfaitement compte de ce qui se passe en plein champ. La réalisation rigoureuse d'un dispositif de billons en courbes de niveau sur de vastes superficies est en effet 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 tous les billons se trouvant en aval et pouvant ainsi entraîner des dégâts très sérieux.

En parcelles de mesures d'érosion on a affaire, dans ce cas, à une loi de « tout ou rien » ;

ou les billons tiennent, et ruissellement et érosion sont quasi nuls,

ou ils cèdent et les quantités d'eau et de terre entraînées dans les cuves peuvent être très importantes.

Pour être réellement valable, cette étude doit donc se faire en plein champ, sur petits bassins versants ou portions de versants.

On notera, par ailleurs, qu'en culture traditionnelle la pratique du billonnage ne paraît pas répondre à un souci de lutte contre l'érosion car, la plupart du temps, les billons sont orientés dans le sens de la pente. Cette pratique pourrait, par contre, être motivée par un souci d'amélioration du drainage au niveau des racines.

Enfin, dans ces études sur le rôle du billon en matière de conservation du sol, il y a un point qui est généralement négligé et qui nous paraît pourtant fort important : celui de la dégradation du sol se produisant *in situ* entre deux billons. Même lorsqu'il permet d'entraver le ruissellement, le microrelief créé par le billonnage présente, en effet, dans ces sols à texture grossière, le très grave inconvénient 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. SÉCUIY (90) a souligné, à juste titre, la part prépondérante qui pouvait être attribuée à la pratique répétée du billonnage dans la dégradation des sols de cette région.

Ainsi que l'ont montré les études réalisées en Casamance (15), une des meilleures méthodes de lutte contre l'érosion consiste à créer, par le travail profond du sol, un profil cultural satisfaisant, à conserver par la suite ce profil en s'assurant, grâce à un semis précoce et une bonne fertilisation, un développement rapide de la végétation des cultures. Cet objectif peut, à notre avis, être atteint en culture à plat.

En ce qui concerne le dernier point, celui de la maîtrise de l'herbe, il est certain qu'en culture traditionnelle, le billonnage fait preuve d'une incontestable supériorité sur la culture à plat pratiquée avec les outils manuels.

La préparation du terrain est souvent, en effet, assez tardive et intervient quand la saison des pluies est déjà bien installée et que le terrain est couvert d'herbes. En cultivant à plat avec ses outils traditionnels, le paysan effectue un certain retournement de la terre, mais celui-ci est insuffisant pour lutter contre l'envahissement ultérieur par l'herbe. Si, au contraire, il pratique la culture en billons, les mottes sont beaucoup mieux retournées et l'herbe soigneusement enterrée dans le billon, ceci constituant une sorte d'engrais vert dérobé. La maîtrise de l'herbe sera par la suite beaucoup mieux assurée et l'entretien plus facile. C'est, croyons-nous, la raison prédominante expliquant l'extension de la culture en billons dans la partie méridionale de la zone.

En passant au stade de la culture attelée et en adoptant la charrue comme instrument de préparation du sol, le paysan s'assurera, du même coup, par un labour à plat correctement réalisé, une maîtrise de l'herbe comparable à celle qu'il avait en culture manuelle sur billons. On a vu, en effet, plus haut, le rôle important joué par le labour dans ce domaine. On peut donc dire que s'il y avait un avantage certain du billon, à ce point de vue, en culture manuelle, cet avantage disparaît en culture mécanisée.

Notons, enfin, que la technique du billonnage présente de nombreux inconvénients pratiques en culture motorisée et plus encore en culture attelée : difficultés de réaliser mécaniquement les semis, les travaux d'entretien et la récolte.

Il y a malheureusement, à notre connaissance, fort peu d'essais permettant la comparaison des effets, sur les rendements des cultures, de la culture en billons et de la culture à plat.

Un essai implanté en Casamance par BIRIE-HABAS et THIROUIN (5), en 1965, fournit quelques renseignements à ce sujet. Il s'agit d'un essai de techniques culturales sur maïs. La nature des traitements et les rendements obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Les traitements ne diffèrent pas significativement entre eux. On peut cependant constater le bon comportement des semis à plat et l'intérêt du buttage dans le cas d'un semis à plat. Le premier buttage intervient une trentaine de jours après le semis. Des observations de profils culturaux effectuées en hivernage ont par ailleurs montré l'effet favorable du buttage sur l'enracinement du maïs. Les réalisateurs de l'essai notent, par contre, que l'effet du billonnage est plutôt défavorable : en cas de sécheresse, une croûte se forme au sommet du billon, gênant la levée du plant ; d'autre part, les pluies très violentes de début de saison érodent les billons et déchaussent les plantes, obligeant à une réfection continuelle des billons.

TABLEAU IV-45
INFLUENCES COMPARÉES DES SEMIS A PLAT, SUR BILLONS ET SUR PLANCHES,
ET DE DIFFÉRENTES FAÇONS D'ENTRETIEN SUR LES RENDEMENTS DU MAÏS A SÉFA (5)

Mode de semis	Mode de préparation du terrain	Mode d'entretien	Rendements grains (kg/ha)
A plat	Mécanique	Manuel	2.830
A plat	Mécanique	Buttage mécanique progressif	3.018
Sur billons	Manuel (daremba)	Manuel	2.394
Sur billons	Mécanique (disques)	Manuel	2.891
Sur planches de 6,60 m	Mécanique	Manuel	2.548

Pour conclure, on peut dire que si, dans certains cas particuliers, la technique du billonnage avec cloisonnement peut se révéler intéressante pour l'ensemble des sols à dominante sableuse de la zone, la pratique des labours en billons ne paraît pas recommandable. Celle des labours à plat, convenablement réalisés, lui semble bien préférable, car elle réunit sensiblement les mêmes avantages que ceux classiquement dévolus aux billons : amélioration de l'infiltration, réduction de la dégradation, amélioration de la maîtrise de l'herbe, sans présenter les mêmes inconvénients.

Cette conclusion ne saurait naturellement, sans étude préalable, être généralisée à d'autres conditions de sols et de climats.

ORIENTATION DES LABOURS PAR RAPPORT A LA PENTE

Même en cas de pente faible (moins de 2 %), l'agressivité climatique et les risques d'érosion sont tels dans cette zone qu'il y a toujours intérêt à orienter les labours parallèlement aux courbes de niveau.

Le mode de culture le plus indiqué pour ces régions, spécialement pour les régions méridionales, plus arrosées, paraît être celui de la culture en bandes alternées, de largeurs variables suivant la pente, séparées par des ados réalisés à la charrue et complantés d'herbes vivaces.

Ce système a été essayé en différents endroits et notamment à Séfa, en Casamance, où il fonctionne de façon satisfaisante (16, 77). L'adoption de charrues réversibles facilite considérablement l'exécution des labours dans ce type d'aménagement. Ce modèle de charrue est malheureusement très peu répandu en Afrique de l'Ouest.

b) FACTEURS PROPRES AUX LABOURS D'ENFOUISSEMENT

Ils sont les suivants :

- nature du matériel végétal enfoui,
- durée de la sole de régénération,
- quantité de matière végétale enfouie,
- conditionnement de la plante avant enfouissement,
- modalités pratiques de l'enfouissement.

NATURE DU MATÉRIEL VÉGÉTAL ENFOUI

Il y a ici deux questions à considérer :

- l'enfouissement de pailles comparé à l'enfouissement de matière verte,
- dans le cas de la fumure verte : le choix de la plante.

COMPARAISON DE L'ENFOUISSEMENT DE PAILLES ET DE MATIÈRE VERTE

Cette comparaison est effectuée, au Sénégal, dans les essais « Régénération du profil » implantés à Bambey (deux essais), Sinthiou-Malème par NICOU (69) et à Séfa par NICOU et THIROUIN (74). On étudie, dans ces essais, diverses modalités de réalisation de la sole de régénération. Les traitements sont les suivants :

- témoin : jachère brûlée, non travaillée ;
- jachère enfouie ;
- jachère fauchée fin août (mulch ou exportation) ; enfouissement du regain ;
- mil ou sorgho engrais vert ;
- mil ou sorgho engrais vert fauché fin août (mulch ou exportation des produits de la fauche) ; enfouissement du regain ;
- céréale à court cycle ; enfouissement des pailles.

Pour ce dernier traitement, la céréale choisie est le mil « Souna » ou le sorgho hâtif à Louga et Bambey, le maïs à Sinthiou-Malème et Séfa. L'enfouissement est réalisé après récolte des grains. Il y a donc, en comparaison avec le témoin, quatre modalités de réalisation de fumure verte (2 de jachère et 2 d'engrais vert) et un enfouissement de pailles. Ces essais ont été mis en place à partir de 1964.

L'enfouissement des pailles de maïs ne pose pas de problèmes particuliers à Sinthiou-Malème et Séfa ; il est effectué à la même date que l'enfouissement des jachères et de l'engrais vert.

La qualité du labour est alors satisfaisante et des observations faites au cours de la saison sèche qui suit sa réalisation révèlent un profil cultural assez proche de ceux obtenus après enfouissement de fumure verte ; il y a également développement d'une structure particulière et d'une macroporosité biologique ; le développement de cette structure est toutefois moindre que dans le cas des enfouissements de matière verte en quantité importante. Le sol est souvent également plus émietté. La décomposition des pailles, due pour une large part à l'action de la faune du sol (termites), se fait sans difficulté.

A Bambey, par contre, en raison de la brièveté de la saison des pluies et de l'irrégularité de son démarrage, l'enfouissement des pailles de mil ou de sorgho hâtif ne peut être effectué en même temps que celui des jachères et de l'engrais vert ; il faut attendre pour la récolte et l'enfouissement jusqu'au début ou à la mi-octobre. Le sol est alors plus sec et il peut arriver que l'enfouissement se révèle impossible à réaliser (essai Bambey « dek », année 1964). La qualité du labour, dans ces conditions, est beaucoup plus variable que celle des labours de fumure verte ; elle est très dépendante de la pluviométrie de fin de saison. Quand le sol est trop sec, on aboutit à la formation de grosses mottes noyées dans un matériel pulvérulent. Même en conditions d'humidité favorables, le sol est souvent plus émietté que pour l'enfouissement des jachères et engrais vert ; pour cette raison, le « mulch » ainsi créé est parfois plus efficace et la conservation de l'humidité en profondeur, supérieure.

L'influence comparée, sur les rendements des cultures suivantes, de ces deux systèmes de labours d'enfouissement : pailles ou matière verte, est illustrée par les chiffres des tableaux IV-102, IV-103 et IV-104, en annexe, qui concernent respectivement les effets directs, les effets résiduels de première année et les effets résiduels de deuxième année. Toutes les données proviennent exclusivement des essais « Régénération du profil » (69, 74).

Les données du tableau IV-102 concernant les effets directs ont été résumés dans le tableau ci-dessous.

On constate que les résultats sont assez voisins pour les deux types de labours ; les différences ne sont pas systématiques et, suivant les cultures, les localisations et les années sont en faveur tantôt de l'un, tantôt de l'autre type. Cependant, pour le maïs on note une supériorité assez nette de la fumure verte qui se manifeste quatre fois sur cinq, dont deux fois de façon statistiquement significative.

Il y aurait lieu d'élucider la raison de cette baisse de rendement sur le maïs, succédant à un maïs enfoui. Il ne semble pas que le profil cultural et les propriétés physiques du sol soient ici en cause. Il faudrait donc rechercher d'autres facteurs, peut-être d'ordre sanitaire. Quoi qu'il en soit, par rapport au témoin non travaillé, il y a malgré tout un effet positif, parfois très important.

TABLEAU IV-46

INFLUENCE COMPARÉE DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTE ET DE PAILLES
DANS LEURS EFFETS DIRECTS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES

Culture	Localisation	Nombre d'années de comparaison	Rendements moyens (kg/ha)			Rapport C/A (%)
			Témoin A	Fumure verte B	Pailles C	
Arachide (Gousses) ..	Bambey «dior» Séfa	2	1.278	1.252	1.049	84
		2	2.966	2.786	2.973	106
Mil (Grains)	Bambey «dior»	2	1.103	1.179	1.058	90
Sorgho (Grains) ...	Sinthiou	1	1.441	2.048	2.147	105
Maïs (Grains) ...	Séfa	3	1.181	2.421	2.320	96
	Sinthiou	2	2.946	4.134	3.481	84

En ce qui concerne les effets résiduels de première et de deuxième année, les conclusions qui se dégagent de l'examen des tableaux IV-103 et IV-104 sont à peu près les mêmes : peu de différences d'action, sur la production en grains ou gousses, entre les deux types de labours ; résultats variables suivant les années, les cultures et les emplacements. On note seulement, en effet résiduel de première année, une différence significative en faveur de la fumure verte sur un mil venant après maïs à Séfa.

Sur le développement végétatif des cultures, traduit par le poids de pailles, on ne note pas non plus de différences systématiques entre enfouissement de pailles et fumure verte.

NATURE DE LA PLANTE DANS LE CAS DE LA FUMURE VERTE

La notion d'engrais vert a été souvent associée à celle de légumineuse, les agronomes cherchant ainsi à accroître gratuitement le stock d'azote du sol. Cette conception paraissait particulièrement séduisante en Afrique où le prix des engrais minéraux azotés était et reste encore très élevé. C'est pourquoi dès le début des expérimentations sur l'engrais vert on pensa à comparer les avantages respectifs des légumineuses, de la jachère et des céréales. L'objectif était d'associer les avantages suivants :

- développement végétatif rapide et important, tonnage de matière verte enfouie dépassant 20 t/ha ;
- système racinaire agissant sur la structure du sol ;
- enfouissement facile ;
- richesse en azote de la plante aussi grande que possible.

On a recensé en Afrique de l'Ouest 26 essais mis en place, principalement au Sénégal, pour étudier cette comparaison. Sur les 26 essais, 21 furent implantés par le CRA de Bambey, 3 par la CGOT, 2 par l'IRHO. Cependant, la plupart de ces essais mettaient en comparaison jachère et engrais vert-céréale ; il y en a seulement 3, à notre connaissance, qui, ayant étudié l'utilisation de légumineuses comme engrais vert, ont abouti à des résultats exploitables.

On comparera d'abord les légumineuses aux céréales puis les céréales à la jachère.

Comparaison légumineuses/céréales.

Avant de passer rapidement en revue les résultats des essais, on peut noter que :

- les tonnages de matière verte produite sont en général nettement supérieurs pour les graminées que pour les légumineuses ;
- parmi les légumineuses utilisées comme engrais vert, très peu présentent des nodosités ; on peut s'interroger sur leur capacité à fixer l'azote de l'air ; cependant, les analyses révèlent des teneurs en azote dans les feuilles et les tiges, qui sont de l'ordre de 3 % à 4 %, soit environ le double de celles des graminées ;
- le système racinaire des légumineuses est pivotant ; le pivot descend souvent à grande profondeur, ce qui peut être intéressant pour atténuer les effets du lessivage (remontées d'éléments minéraux) ; par contre, l'action structurante des racines sur le sol paraît beaucoup plus faible que celle des racines des graminées.

D'un point de vue théorique, les avantages respectifs des deux familles de plantes semblent se contre-balancer. L'examen des résultats d'essai vient confirmer cette impression.

Dans un premier essai implanté à M'Pesoba (Mali), en 1952 (94), deux crotalaires : *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa*, et le pois d'Angol (*Cajanus indicus*) sont comparés au mil utilisé comme engrais vert. Le témoin est constitué par la jachère brûlée. La comparaison est faite dans 4 rotations différentes (2 triennales, 2 biennales) et la culture succédant à l'engrais vert est soit l'arachide, soit le sorgho. Dans 3 essais sur 4, des plus-values significatives sont enregistrées après engrais vert, mais l'influence de la plante engrais vert n'apparaît pas nettement puisque c'est tantôt le mil, tantôt les crotalaires qui arrivent en tête quelle que soit la culture-test qui vient après (sorgho ou arachide).

Par la suite, quelques autres essais du même type furent mis en place au Sénégal. Les résultats en sont présentés dans le tableau IV-104 bis, en annexe. La légumineuse choisie est habituellement une crotalaire, le plus souvent *Crotalaria juncea*. Mais certains essais font intervenir également : *Cajanus indicus*, *Mucuna* sp., *Stylosanthes gracilis* et *Stylosanthes erecta*.

La culture-test qui a suivi l'enfouissement a toujours été une arachide, sauf dans l'essai de Farako-Ba (29) où ce fut un sorgho. Or, c'est précisément dans cet unique essai qu'on observe une différence d'action significative sur la légumineuse (crotalaire) par rapport à la jachère*.

Dans les autres essais, on observe assez souvent une supériorité des deux engrais verts par rapport à la jachère enfouie, mais pas de différence sensible entre l'engrais vert céréale et l'engrais vert légumineuse.

D'autres essais menés tant à Bambey qu'à Séfa, mais dont les résultats sont incomplets, confirment l'absence de supériorité nette de l'engrais vert légumineuse sur l'engrais vert céréale. Ce sont donc des raisons pratiques qui ont conduit les agronomes à préférer l'engrais vert céréale à l'engrais vert légumineuse :

- plus grande facilité de se procurer des graines et coût du semis moins élevé ;
- tonnage de matière verte supérieur ;
- absence de repousses l'année suivant l'enfouissement ; ces repousses constituent non seulement une gêne, mais un danger pour la culture, du fait qu'elles peuvent servir de relais aux parasites ; les repousses de crotalaires sont particulièrement abondantes.

Par ailleurs, certaines légumineuses présentent d'autres inconvénients ; tel le pois d'Angol qui a donné de bons résultats en Casamance mais nécessite un véritable défrichement au moment de la remise en culture. L'utilisation de légumineuses comme engrais vert a donc très tôt cédé la place à celle des céréales comme le mil et le sorgho.

Il serait certainement intéressant de réexaminer maintenant cette question en faisant appel à des légumineuses fixatrices d'azote (nouvelles plantes introduites ou ensemencement de *Rhizobium*) et en testant l'engrais vert légumineuse non plus par une arachide, mais par une céréale.

Comparaison engrais vert céréales/jachère enfouie.

Les teneurs en azote de la jachère et des céréales utilisées comme engrais vert étant comparables, ces deux types de fumure verte ne peuvent se différencier, dans leur action sur le sol, que par l'intermédiaire des trois mécanismes suivants :

- couverture du sol,
- tonnage de matière verte produit,
- action du système racinaire.

A ce sujet, les nombreuses observations faites tant en essais qu'en grande culture permettent de noter que :

— la couverture du sol est assurée, en général, de façon correcte aussi bien par la jachère que par l'engrais vert ; il faut toutefois que celui-ci soit réussi, c'est-à-dire qu'il ait reçu les mêmes soins qu'une autre culture : préparation du sol soignée, semis à bonne date et à bonne densité, fertilisation azotée, entretien et éclaircissage ; dans ces conditions, son démarrage est souvent plus rapide que la jachère et la couverture du sol plus précocement assurée ; dans le cas contraire (engrais vert souffreteux), les risques d'érosion et de lessivage sont élevés ;

— le tonnage de matière végétale produite est normalement plus élevé pour l'engrais vert (mil, sorgho) que pour la jachère : en moyenne 2,5 t/ha de matière sèche pour la jachère et 5,0 t/ha pour le mil ; les maxima observés sont respectivement de 9 t/ha et 15 t/ha ;

* Le traitement crotalaire est également significativement supérieur au traitement *Stylosanthes*, mais les réalisateurs de l'essai notent que le développement de cette dernière plante avait été très médiocre.

— les mesures de poids racinaires sont assez rares ; à Bambey, les valeurs trouvées s'étagent entre 0,8 t/ha et 1,7 t/ha pour la jachère (production de matière sèche : 2 t/ha à 6 t/ha), entre 1,3 t/ha et 2,3 t/ha pour le mil engrais vert (3 t/ha à 6 t/ha pour l'appareil végétatif).

A Séfa, les chiffres sont sensiblement plus élevés jusqu'à 3,3 t/ha pour le mil et 7,7 t/ha pour la jachère (production de 8 t à 10 t) (75). Dans de bonnes conditions, l'enracinement de la jachère peut donc être très important et presque équivaloir, en poids, la production des tiges et feuilles. L'insuffisance de données ne permet cependant pas de généraliser ces résultats.

La colonisation par les racines est homogène et intéresse toute la superficie du champ pour la jachère et le mil engrais vert semé à la volée. Elle est moins homogène dans le cas du mil semé en ligne, la densité d'occupation racinaire étant un peu moindre dans la partie centrale de l'interligne (mais la différence est peu sensible). La profondeur de l'enracinement est généralement un peu moindre pour la jachère, mais cette caractéristique est très influencée par le mode de préparation du sol.

Pour autant que l'on puisse en juger visuellement, l'action d'agrégation et de division sur le sol des racines est comparable dans les deux cas.

Au total, il ne paraît donc pas y avoir de différence essentielle entre les deux types de fumure verte quant à leur mode d'action sur le sol.

Il importe de voir si cette différence ne se marque pas sur les rendements des cultures. Pour cela, on a rassemblé dans les tableaux IV-105, IV-106 et IV-107, en annexe, les résultats concernant les influences comparées de la jachère enfouie et du mil ou sorgho engrais vert sur les rendements des première, deuxième et troisième cultures succédant à la sole de régénération. Ces résultats sont extraits de 19 essais pluriannuels (17 au Sénégal et 2 au Niger) autorisant cette comparaison.

Il sera fait également mention des données de deux essais implantés par l'IRHO au Sénégal.

L'examen des tableaux révèle que les résultats sont assez variables d'un essai à l'autre, et pour un même essai, d'une année à l'autre. Ceci s'explique assez bien après ce qui vient d'être dit concernant la « réussite » de l'engrais vert qui était, il y a quelques années encore, assez aléatoire. Par ailleurs, les conditions d'enfouissement, déterminantes pour l'effet de cette technique, peuvent varier assez largement et les comptes rendus d'essais ne donnent qu'une idée très imprécise de cette variation.

On peut cependant tenter d'effectuer un bilan pour les différentes cultures de la rotation.

Pour la première culture succédant à la sole de régénération, ou culture-test, les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-47

TABLEAU RÉSUMÉ DES INFLUENCES COMPARÉES DE LA JACHÈRE ET DU MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT SUR LES RENDEMENTS DE LA CULTURE-TEST

Nature de la culture-test	Nombre de résultats annuels		Rendements moyens après (kg/ha)		Rendements indiciaires	
	Totaux	Favorables à EV	Jachère enfouie	Engrais vert	Jachère enfouie	Engrais vert
Arachide	36	22	1.737	1.802	100	104
Mil	4	3	1.110	1.174	100	106
Sorgho	2	0	1.401	1.162	100	83
Maïs	5	2	3.114	3.098	100	99

On note que les résultats sont très voisins pour l'arachide, le mil et le maïs. Il n'y a d'ailleurs, sur un ensemble d'une cinquantaine de résultats, que quatre d'entre eux présentant des différences statistiquement significatives : deux sont à l'avantage de l'engrais vert et deux de la jachère.

Pour le sorgho, par contre, l'enfouissement de jachère paraît être nettement préférable à celui de l'engrais vert. Ceci peut s'expliquer par le fait que, dans ces essais, la plante choisie comme engrais vert a été le sorgho. On aboutit ainsi à la succession sorgho sur sorgho dont le médiocre intérêt agronomique, sur sol à dominante sableuse, a été montré par ailleurs.

On retrouve cet effet dépressif, sur sorgho, de l'engrais vert par rapport à la jachère enfouie, dans un essai implanté par l'IRHO à Darou **. En moyenne, sur sept ans, le sorgho derrière engrais vert a un rendement de 857 kg/ha contre 981 kg/ha derrière jachère enfouie, soit 87 % de valeur relative. L'engrais vert est inférieur à la jachère quatre fois sur sept. Dans cet essai, on a utilisé, les dernières années, le sorgho comme engrais vert et l'on pourrait être tenté de voir, dans la succession sorgho-sorgho, la raison de l'effet dépressif de l'engrais vert par rapport à la jachère enfouie.

** Essai Jachère-Engrais vert 1 ter sur sol hydromorphe.

En fait, cette hypothèse ne peut être retenue, car l'examen détaillé de l'évolution des rendements montre que l'engrais vert devient nettement supérieur à la jachère enfouie à partir de 1965, date à laquelle les modalités d'enfouissement de l'engrais vert ont été modifiées. Il ne s'agit probablement pas là d'une simple coïncidence.

Un autre essai, implanté également à Darou **, ne montre pas, sur arachide, de différence d'action entre engrais vert et jachère enfouie.

Pour les deuxième et troisième cultures de la rotation, les résultats sont résumés dans les tableaux ci-après (IV-48 et IV-49). Comme on le voit, les résultats des deux techniques sont très voisins. Il n'y a d'ailleurs que deux cas, sur une cinquantaine, où les différences soient statistiquement significatives. On notera cependant l'effet légèrement dépressif de l'engrais vert par rapport à la jachère sur les deuxième et troisième cultures de la succession : arachide-sorgho-arachide. Ce phénomène se retrouve dans un essai implanté à Darou par l'IRHO et précédemment mentionné **: sur le sorgho venant en deuxième culture de la rotation, le rendement après jachère enfouie est de 595 kg/ha contre 460 kg/ha seulement pour l'engrais vert ; la différence est ici significative. Les autres résultats de l'IRHO à Darou ne montrent pas de différences entre jachère et engrais vert dans leurs effets résiduels sur les deuxième et troisième cultures.

Les résultats des essais confirment donc ce que laissait prévoir l'analyse théorique des mécanismes d'action sur le sol : les deux types de fumure verte sont à peu près équivalents du point de vue agronomique.

Cependant, sur le plan pratique, les deux techniques présentent chacune des avantages et des inconvénients :

— La culture du mil engrais vert demande un travail de préparation et de semis ; ce travail représente un coût supplémentaire par rapport à la jachère. Remarquons que le travail de nettoyage n'est pas considérable et doit être réalisé en sec ; le semis peut lui-même être effectué en sec s'il s'agit de mil ; dans ces conditions, il n'y a pas de goulot d'étranglement pour les autres opérations culturales et le coût est négligeable.

Il faudra, par la suite, compter sur deux opérations d'entretien : un sarco-binage entre les lignes et un éclaircissage réalisé au canadien ainsi que deux épandages d'engrais azoté (un sur-sarclage, l'autre un mois après).

TABLEAU IV-48
RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS COMPARÉS DE L'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE ET DE MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE LA DEUXIÈME CULTURE DE LA ROTATION

Nature de la culture	Précédent cultural	Nombre de résultats annuels		Rendements moyens après (kg/ha)		Rendements indiciaires	
		Totaux	Favorables à EV	Jachère enfouie	Engrais vert	Jachère enfouie	Engrais vert
Mil	Arachide ..	16	10	1.209	1.212	100	100
	Maïs	2	1	2.246	2.179	100	97
Sorgho	Arachide ..	11	4	1.966	1.791	100	91
	Sorgho	1	1	2.217	2.520	100	114
	Maïs	1	0	2.987	2.883	100	97
Riz	Arachide ..	2	1	1.420	1.523	100	107
Arachide ..	Mil	2	2	1.684	1.743	100	103

TABLEAU IV-49
RÉSUMÉ DES EFFETS RÉSIDUELS COMPARÉS DE L'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE ET DE MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE LA TROISIÈME CULTURE DE LA ROTATION : L'ARACHIDE

Nature de la culture	Précédent cultural	Nombre de résultats annuels		Rendements moyens après (kg/ha)		Rendements indiciaires	
		Totaux	Favorables à EV	Jachère enfouie	Engrais vert	Jachère enfouie	Engrais vert
Arachide ..	Mil	11	8	1.701	1.722	100	107
	Sorgho ...	7	2	1.483	1.303	100	88
	Riz	2	2	2.595	2.755	200	106
Maïs	Mil	1	0	1.973	1.849	100	94
Sorgho ...	Sorgho ...	1	1	2.642	2.650	100	100
Ensemble (moyennes pondérées).		21	13	1.726	1.687	100	98

** Essai Couverture-Jachère-Engrais vert.

Au total, si l'on exclut le labour d'enfouissement qui exige le même travail, qu'il s'agisse d'engrais vert ou de jachère, le nombre de jours de travail supplémentaires à l'hectare, nécessité par l'engrais vert est peu élevé (2 journées d'attelage et 5 journées de travailleur) et le coût est faible.

— La répugnance naturelle que manifeste le paysan à enfouir une céréale en vert constitue un obstacle psychologique réel, mais non irréductible. L'expérience prouve que si la vulgarisation de cette technique est intelligemment menée, son application en milieu paysan ne soulève pas de difficultés particulières.

— Le labour d'enfouissement est, comme on le verra plus loin, plus difficile à réaliser sur jachère que sur mil engrais vert lorsque la jachère est bien fournie. Par ailleurs, la jachère enfouie a la réputation de salir le terrain l'année suivante et de nécessiter des travaux de sarclo-binages considérablement plus importants qu'après mil engrais vert. Cette réputation est partiellement fondée mais elle peut être due aussi, dans beaucoup de cas, au fait que le labour d'enfouissement est plus difficile à réaliser sur jachère : les retournements incomplets et les labours insuffisamment fermés facilitent la reprise de l'herbe.

On voit donc que, même sur le plan pratique, les avantages et inconvénients respectifs des deux techniques paraissent se contre-balancer. En culture à caractère nettement intensif, on donnera la préférence au mil engrais vert ; par contre, pour amorcer la vulgarisation des labours d'enfouissement en milieu traditionnel, il sera sans doute plus commode de commencer par la jachère enfouie. De toute manière, l'examen qui sera fait plus loin des modalités de traitement de la fumure verte (conditionnement de la plante avant enfouissement) amènera à nuancer sensiblement ces considérations.

Jusqu'à présent, on a traité indistinctement sous le vocable « engrais vert-céréale », du mil et du sorgho. C'est qu'en fait il n'y a pas d'essais permettant la comparaison entre ces deux plantes ; bien souvent elles ont été employées indifféremment dans les mêmes essais : une année l'engrais était constitué par du sorgho, l'année suivante par du mil. Des tests de comportement ont cependant eu lieu en grande culture et ont montré qu'il y avait peu de différence entre ces plantes quant à leur utilisation en engrais vert. Le choix entre les deux sera essentiellement fonction des considérations écologiques : on donnera la préférence au mil sur terre sableuse et sous pluviométrie faible et peu étalée, au sorgho sur terres lourdes et pluviométrie plus abondante et mieux répartie.

Cependant, les résultats mentionnés plus haut amènent à nuancer cette opinion : il paraît préférable d'éviter le retour trop fréquent du sorgho sur le même terrain. Dans le cas où le sorgho intervient dans la rotation, il vaut donc mieux utiliser le mil à la place du sorgho comme engrais vert.

Sur le plan pratique, le sorgho offre un avantage sur le mil au moment de l'enfouissement ; le plateau de tallage du mil, souvent très développé, est une cause fréquente de bourrage et de résistance à l'avancement de la charrue ; ceci n'intervient pas, ou peu chez le sorgho. Par contre, les repousses après enfouissement sont plus fréquentes et plus importantes dans le cas du sorgho.

Notons pour terminer qu'une graminée, utilisée comme céréale en Afrique de l'Est, mais très peu répandue dans l'Ouest-africain, a paru, pendant un certain temps, devoir apporter une solution satisfaisante au problème de l'engrais vert. Il s'agit d'*Eleusine coracana*.

Cette plante associe en effet plusieurs caractéristiques intéressantes :

- hauteur de végétation régulière, ne dépassant pas 1 m, ce qui est de nature à faciliter l'enfouissement ;
- couverture du sol et production de matière verte satisfaisantes (jusqu'à 11 t/ha de pailles sèches dans de bonnes conditions) ;
- capacité de fixation de l'azote par la rhizosphère présumée, d'après certains indices, assez importante.

Cependant, à l'usage, les espoirs que l'on fondait sur elle ont été déçus, car il s'est révélé que cette plante démarrait assez mal, qu'elle était très sensible à la nature du terrain (hétérogénéité) et qu'elle était très salissante.

DURÉE DE LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION

L'une des principales raisons qui ont incité les agronomes à expérimenter l'engrais vert et l'enfouissement de la jachère était le souci d'accélérer la régénération du sol et d'essayer d'obtenir en un an ce qui, avec la jachère brûlée, nécessitait deux années et plus. Ce souci s'expliquait aisément par l'accroissement de la pression démographique et la réduction, dans les régions de vieilles cultures, de la superficie cultivable par habitant. Il paraissait donc paradoxal, dans cette perspective, d'étudier l'influence de la répétition dans le temps du traitement engrais vert ou jachère enfouie.

Six essais, cependant, étudient cette question. Ils ont été implantés au Sénégal en 1952 et 1956 (3 sur les stations IRAT, 3 sur les stations IRHO) et sont de types assez divers. Il est malaisé de présenter leurs résultats sous une forme synthétique. Nous avons pourtant tenté de le faire en ayant recours à deux tableaux distincts.

Dans le tableau IV-50, sont comparés les rendements des cultures de la rotation après une durée variable de la sole de régénération (fumure verte). Les rendements de base (indice 100) concernent la durée de la régénération la plus faible (un ou deux ans suivant le cas). Tous les essais figurant dans ce tableau sont des essais en série, où toutes les phases de la rotation sont représentées chaque année. Ce mode de comparaison ne serait pas possible autrement.

Dans le tableau IV-51, la comparaison porte sur l'enfouissement et le brûlis, en fonction de la durée de la sole de régénération : pour chaque durée étudiée, le rendement de la culture après brûlis a été affecté de l'indice 100 ; il y a donc un indice différent par rotation, ce qui permet de juger si l'effet de l'enfouissement augmente ou non, en valeur relative, quand la durée de la sole de régénération augmente. On a fait figurer, à titre indicatif, la valeur des rendements moyens après jachère brûlée pour donner une idée de la réussite des cultures ; mais il ne s'agit pas là du rendement de base correspondant à l'indice 100, puisque celui-ci varie avec chaque rotation. Ce mode d'expression a permis d'inclure dans le tableau, outre les essais précédents, deux autres essais qui ne sont pas des essais en série.

Il y a lieu de faire ici une distinction entre engrais vert et jachère enfouie : dans le premier cas, les labours d'enfouissement sont exécutés tous les ans ; pour la jachère, au contraire, il n'y a qu'un labour d'enfouissement précédant la mise en culture.

De l'examen du tableau IV-50 ne se dégage pas une loi générale de variation des rendements des cultures de la rotation en fonction de la durée de la sole de régénération (fumure verte). Les différences sont peu accentuées et les résultats varient d'un essai à l'autre et d'une culture à l'autre. La répétition dans le temps de l'engrais vert ou l'allongement de la jachère avant enfouissement ne paraissent donc pas avoir d'action sensible sur le rendement. Les chiffres du tableau IV-51 ne traduisent pas non plus un renforcement systématique de l'action de l'enfouissement par rapport au brûlis, quand on augmente la durée de la sole de régénération ; il semble y avoir, au contraire, une baisse relative assez nette de cette action au bout de six ans de jachère.

TABLEAU IV-50
INFLUENCE DE LA DURÉE DE LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION, JACHÈRE ENFOUIE OU ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES SUIVANTES

Lieu	Désignation de l'essai	Nombre de traitements comportant		Culture		Années de comparaison		Rendement du témoin (kg/ha)	Rendements indiciaires en fonction de la durée de la régénération				Source
		Jachère enfouie	Engrais vert	Position après régénération	Nature	Epoque	Nombre		1 an	2 ans	3 ans	6 ans	
Darou	Jachère 1 bis	3	0	1	A	1959-66	8	2.290	—	100	103	106	IRHO (45)
				2	S	1960-66	7	1.270	—	100	99	103	
				3	A	1961-66	6	1.995	—	100	96	101	
Darou	Jachère Engrais vert Sol hydromorphe	1	5	1	S	1961-66	6	795	100	120	—	—	IRHO (47)
				2	A	1962-66	5	2.412	100	105	—	—	
				3	S	1963-66	4	713	100	90	—	98	
Séfa	Rotation F1	0	2	1	A	1956-59	4	?	100	—	98	WERTS (102)	
Darou	Longueur optimum de la jachère Sol hydromorphe	3	0	1	A	1965-66	2	2.242	—	100	112	79	IRHO (48)
				2	S	1965-66	2	685	—	100	98	102	
				3	A	1965-66	2	1.505	—	100	105	124	

TABLEAU IV-51
COMPARAISON DE L'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTE ET DU BRÛLIS
EN FONCTION DE LA DURÉE DE RÉGÉNÉRATION

Lieu	Désignation de l'essai	Nombre de traitements comportant		Culture		Années de comparaison		Rendements moyens des traitements jachère brûlée (kg/ha)	Rapport des rendements après enfouissement et jachère brûlée en fonction de la durée de régénération				Source
		Jachère brûlée	Jachère enfouie ou EV	Position après régénération	Nature	Epoque	Nombre		1 an	2 ans	3 ans	6 ans	
Darou	Jachère 1 bis	3	3	1	A	1959-66	8	2.238	—	107	104	105	(45)
				2	S	1960-66	7	1.087	—	127	120	109	
				3	A	1961-66	6	2.000	—	98	97	96	
Darou	Jachère - Engrais vert Sol hydromorphe	2	4	1	S	1962-66	5	1.031	78	85	—	—	(47)
				2	A	1963-66	4	2.460	97	116	—	—	
Séfa	Rotation F 1	2	2	1	A	1956-59	4	?	109	109	—	—	(102)
Bambey	Jachère - Engrais vert	2	6	1	A	1955-58	1	2.002	113	—	90	—	(37)
Séfa	Jachère - Engrais vert	2	6	1	A	1956-58	1	2.607	115	—	103	—	(101)
				2	Riz	1957-59	1	1.327	100	—	132	—	
				3	A	1958-60	1	2.515	113	—	101	—	
Darou	Longueur optimum de jachère Sol hydromorphe	3	3	1	A	1965-66	2	2.227	—	109	107	79	(48)
				2	S	1965-66	2	602	—	119	129	58	
				2		1965-66	2	1.735	—	90	117	88	

Ces observations suggèrent que la répétition, année après année, de l'engrais vert ou de la jachère enfouie n'a pas d'effet cumulatif sur le sol : elles viennent appuyer l'hypothèse selon laquelle l'action de la fumure verte sur le sol est essentiellement une action à court terme (modification du profil cultural et de la macrostructure) et, accessoirement, une action à long terme (augmentation du taux de matière organique et amélioration de la microstructure).

QUANTITÉ DE MATIÈRE VÉGÉTALE ENFOUIE

Cette question a été étudiée pour la fumure verte mais non pour les labours d'enfouissement de pailles.

A l'époque où les enfouissements de matière verte étaient réalisés précocement, il était indispensable, en effet, d'enfouir des quantités assez importantes de matière végétale pour conférer au labour une résistance suffisante contre les pluies. On conçoit qu'à la limite on en soit venu à associer étroitement la notion de travail profond du sol et celle d'enfouissement de matière organique : il apparaissait alors dangereux et peu recommandable de labourer le sol nu. Depuis que la date d'enfouissement a été reculée vers la fin de la saison des pluies, cet aspect de la question a perdu maintenant beaucoup de son importance ; le labour recevant, en principe, très peu de pluie, il n'apparaît plus indispensable d'enfouir de grandes quantités de matière végétale dans le seul but de le protéger contre un tassement et une reprise en masse.

Par contre, il y a lieu de se demander si l'aspect quantitatif de la matière verte enfouie influe sur le développement de la structure. On a vu que l'on pouvait répondre affirmativement à cette question.

L'activité biologique de la mésofaune, responsable du développement de la structure tubulaire ou « mie de pain » et de la macroporosité biologique, paraît en effet favorisée par des apports importants de matière végétale. Cependant, on a pu noter en sens inverse qu'il suffisait de faibles quantités de matière organique enfouie pour amorcer la création d'une structure « mie de pain ». Plus encore que sur le degré de développement de la structure au cours de la première année, la quantité de matière végétale enfouie semble influencer sur la conservation de cette structure au cours des années suivantes.

L'enfouissement de grosses quantités de matière végétale à cette époque de l'année posant, par ailleurs, à la fois des problèmes pratiques d'enfouissement et des problèmes de décomposition, il est probable qu'il y a une dose optimum à trouver qui permette de concilier le souci de créer une macrostructure satisfaisante et celui d'éviter trop de difficultés au moment de l'enfouissement. Ce point n'a pas encore été totalement résolu.

Sur le plan agronomique, divers essais installés au Sénégal permettent de mesurer l'influence, sur les rendements des cultures, des quantités de matière verte enfouie. Malheureusement, dans tous ces essais, la culture-test a été l'arachide ; or, on a vu précédemment qu'elle réagissait moins bien aux labours d'enfouissement qu'aux labours de préparation sur sol nu, ce qui n'est pas le cas des autres cultures. Les conclusions que l'on pourra tirer de ces essais auront de ce fait une portée limitée. Il serait nécessaire de les reprendre ultérieurement en substituant à l'arachide, comme culture-test en début de rotation, une céréale.

Quelques observations intéressantes peuvent néanmoins, dès maintenant, être faites. Plusieurs objets ont été mis en comparaison sur ces essais :

- sol maintenu nu pendant l'hivernage et labouré en fin de saison, avec ou sans apport de matière verte ;
- labour d'engrais vert normal opposé à un engrais vert fauché à ras du sol avant labour et dont les produits de la fauche sont exportés ;
- engrais vert normal opposé à engrais vert avec apports supplémentaires de matière verte.

INFLUENCE D'APPORT DE MATIÈRE VERTE SUR SOL NU

Les essais « Structure-Humus » mis en place par POULAIN et MARA (81) à Thiénaba et Boulel, comportent, entre autres, les deux traitements suivants :

- sol maintenu nu pendant l'hivernage ; labour en fin de saison des pluies ;
- sol maintenu nu pendant l'hivernage ; avant labour : apport de matière verte en quantité équivalente à celle produite par un engrais vert normal (dans le même essai).

La rotation suivie est dans les deux cas la rotation : arachide-céréale (mil ou sorgho)-arachide. Les essais, implantés en 1961, ont été modifiés après une première rotation pour être mis en série.

Les résultats complets des essais figurent dans le tableau IV-108, en annexe. Les valeurs moyennes ont été rassemblées dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-52
INFLUENCE, SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES,
D'UN APPORT DE MATIÈRE VERTE AVANT LABOUR SUR SOL NU

Position de la culture	Nature de la culture	Localisation	Période de comparaison	Nombre de résultats annuels	Gousses ou grains (kg/ha)			Pailles (kg/ha)		
					Sol nu	Sol nu + MV	Rapport indiciaire	Sol nu	Sol nu + MV	Rapport indiciaire
Première	Arachide	Thiénaba Boulel	1963-1969	5	950	1.065	112	1.564	1.765	113
			1962-1969	6	1.532	1.637	107	2.235	2.606	117
Deuxième	Mil	Thiénaba Boulel	1964-1969	2	964	1.051	109	1.735	1.607	93
	1963		2	1.298	1.380	106	7.250	7.400	102	
	Sorgho	Boulel	1967-1969	3	1.415	1.838	130	6.034	7.571	125
Troisième	Arachide	Thiénaba Boulel	1965-1969	3	875	778	89	1.115	1.264	113
			1964-1969	4	1.413	1.547	109	1.148	1.459	127

L'apport de matière verte sur sol nu a presque toujours un effet favorable sur les rendements en grains, gousses ou pailles. L'arachide ayant été choisie comme culture-test, il n'y a pas lieu de s'étonner de la relative modicité des effets tout au long de la rotation. On peut cependant déceler un effet résiduel assez important sur le sorgho de deuxième culture à Boulel.

On a procédé également sur ces essais, au cours de la première rotation, à la recherche de corrélations entre les quantités de matière verte enfouies sur les parcelles 4 (traitement : sol nu + labour avec incorporation de matière verte) des différents blocs. Sur chaque bloc, la quantité enfouie correspond à la quantité produite sur la parcelle « engrais vert normal » du même bloc. La démarche entreprise n'est donc pas exempte de critique puisque les deux variables ne sont pas entièrement indépendantes et qu'il existe entre elles une certaine liaison (fertilité de chaque bloc). Malgré tout, cette liaison ne paraît pas suffisante pour enlever toute signification aux résultats obtenus. Les recherches ont porté à la fois sur les récoltes (grains ou gousses) et sur les pailles. Les coefficients de corrélation obtenus, avec leur degré de signification, figurent dans le tableau IV-53.

TABLEAU IV-53
VALEUR DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ENTRE QUANTITÉ DE MATIÈRE VERTE ENFOUÏE SUR SOL NU
ET PRODUCTION DES CULTURES DE LA ROTATION

Culture	Localisation	Grains ou gousses			Pailles		
		Sans engrais	Avec engrais	Moyenne	Sans engrais	Avec engrais	Moyenne
Première culture : Arachide	Thiénaba Boulel	0,940 ++ 0,267	0,750 ++ - 0,210	0,980 ++ - 0,044	0,593 —	0,872 ++ —	0,825 ++ —
Deuxième culture : Mil	Thiénaba Boulel	— 0,524	— - 0,028	— 0,338	0,447 —	0,801 + —	0,756 + 0,293
Troisième culture : Arachide	Thiénaba Boulel	0,970 ++ —	0,770 + —	0,930 ++ 0,059	0,685 0,711 +	0,837 ++ - 0,075	0,813 ++ 0,246

Comme on le voit, il n'existe à Boulel aucune corrélation significative entre quantité de matière verte enfouïe sur sol nu et rendements des cultures suivantes, sauf en ce qui concerne les pailles de la deuxième arachide sans engrais. A Thiénaba, au contraire, il existe toujours une forte liaison entre les deux variables. Il semble donc, dans ce cas, y avoir une forte influence de la quantité de matière enfouïe sur la production en grains et pailles des arachides et du mil de la rotation. On notera que pour les productions en gousses et grains, la corrélation est toujours plus forte pour les traitements sans engrais, ce qui ferait penser à une influence de l'apport minéral de la fumure verte. Mais ceci ne s'observe pas sur le développement végétatif (production en pailles).

A Darou, dans un essai comportant sensiblement les mêmes traitements que ci-dessus, l'IRHO (46) ne trouve pas d'influence de la matière verte. Là encore, il est possible que les conditions d'enfouissement en soient la cause.

INFLUENCE DE LA MATIÈRE VERTE DANS LE CAS D'UN ENGRAIS VERT

On opposera ici, à un engrais vert normal, un engrais vert fauché à ras du sol juste avant labour et dont les produits de la fauche sont exportés. Il y a donc, dans ce cas, enfouissement du seul plateau de tallage.

Outre les essais « Structure-Humus » déjà mentionnés, d'autres essais mis en place à Boulel, par POULAIN et MARA (83, 84), permettent cette comparaison. Il s'agit des essais : « Régénération × Phosphates » et « Doses phosphore × Soufre ». Les résultats complets de ces essais, pour les traitements qui nous intéressent, figurent dans le tableau IV-109, en annexe.

Les valeurs moyennes pondérées, obtenues sur l'ensemble de ces essais, figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-54
INFLUENCE DE LA MATIÈRE VERTE ENFOUÏE, DANS LE CAS D'UN ENGRAIS VERT,
SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES DE LA ROTATION

Position de la culture	Nature de la culture	Localisation	Nombre de résultats annuels	Grains ou gousses (kg/ha)			Pailles (kg/ha)		
				Labour avec racines seules	Labour avec plante entière	Rapport indiciaire	Labour avec racines seules	Labour avec plante entière	Rapport indiciaire
Première culture ...	Arachide	Thiénaba Boulel	5	1.253	1.418	113	1.556	2.113	136
			12	1.770	1.800	102	2.387	2.480	104
Deuxième culture ...	Mil	Thiénaba Boulel	2	946	1.084	115	1.515	1.884	124
	Sorgho	Boulel	2	1.259	1.335	106	6.900	7.200	104
Troisième culture ...	Arachide	Thiénaba Boulel	9	2.178	1.858	85	6.618	6.668	101
			3	949	1.180	124	1.416	1.450	102
			10	1.440	1.455	101	1.283	1.260	98

Il apparaît que l'enfouissement de l'appareil végétatif du mil ou sorgho engrais vert se traduit presque toujours par une plus-value de rendement sur les cultures suivantes par rapport au labour avec enfouissement minimum (plateau de tallage). Cette plus-value est surtout sensible à Thiénaba. A Boulel, les traitements sont pratiquement équivalents ; on peut même noter sur le sorgho de deuxième culture un effet résiduel dépressif, sur la production en grain, de l'enfouissement de matière verte.

A Darou, dans l'essai mentionné plus haut (46), l'IRHO observe également une légère plus-value sur toutes les cultures de la rotation après enfouissement de matière verte ; elle est de l'ordre de 200 kg/ha en moyenne pour la première arachide de la rotation.

INFLUENCE D'APPORTS SUPPLÉMENTAIRES DE MATIÈRE VERTE DANS LE CAS DES ENGRAIS VERTS

Dans les essais « Structure-Humus » (81), il existe un traitement comportant un apport supplémentaire de matière verte sur un engrais vert, de telle sorte que le total : matière verte produite sur place + matière verte apportée, soit le double de la quantité de matière verte obtenue sur les traitements engrais vert normal. La comparaison a été faite entre ces deux traitements. Les résultats détaillés figurent dans le tableau IV-108, en annexe. Les valeurs moyennes sont reprises dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-55

INFLUENCE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES DE LA ROTATION
D'UN APPORT SUPPLÉMENTAIRE DE MATIÈRE VERTE SUR ENGRAIS VERT

Position de la culture	Nature de la culture	Localisation	Nombre de résultats annuels	Grains ou gousses (kg/ha)			Pailles (kg/ha)		
				EV normal	EV + MV	Rapport indiciaire	EV normal	EV + MV	Rapport indiciaire
Première culture	Arachide	Thiénaba Boulel	5	1.418	1.251	88	2.113	2.231	106
			6	1.739	1.731	100	2.394	3.019	126
Deuxième culture	Mil	Thiénaba Boulel	2	1.084	1.210	112	1.884	1.414	75
			2	1.335	1.469	110	7.200	7.700	107
	Sorgho	Boulel	3	1.494	1.979	132	5.898	7.329	124
Troisième culture	Arachide	Thiénaba Boulel	3	1.180	947	80	1.450	1.420	98
			4	1.606	1.642	102	1.362	1.384	102

Les résultats sont ici plus variables et les réactions des cultures sont différentes suivant les emplacements. A Thiénaba, l'apport supplémentaire de matière verte est dépressif sur la production en gousses des deux arachides, alors qu'il provoque une augmentation de rendement en grains du mil. A Boulel, par contre, on n'observe aucun effet dépressif ; les plus-values sont surtout importantes sur le sorgho venant en deuxième culture.

Des interprétations statistiques ont été faites sur ces essais pour la première rotation (1961-1965).

En 1963, à Boulel, en deuxième année de culture, on obtient sur mil grain un contraste orthogonal significatif (P 0,05) en faveur du supplément de matière verte ; ce contraste est obtenu dans la proportion de 84 % sans engrais et 16 % avec engrais.

Au même lieu et la même année, le contraste orthogonal opposant engrais vert normal et engrais vert avec supplément de matière verte, d'une part, à l'engrais vert coupé exporté et labouré, d'autre part, se révèle significatif (P 0,01) ; cette fois, le contraste est obtenu dans la proportion de 25 % sans engrais et 77 % avec engrais, ce qui laisse supposer que l'apport minéral de la matière verte n'intervient que secondairement dans l'augmentation de rendement.

Au cours de la première rotation, on a cherché, par ailleurs, pour les traitements avec apport supplémentaire de matière verte enfouie à voir s'il existait des liaisons entre les tonnages de matière verte enfouie et les productions des cultures. Puisque la matière verte enfouie provient en partie de l'extérieur, le facteur fertilité du sol est ici en grande partie éliminé et l'on peut estimer que les variables « tonnages de matière verte » et « productions » sont indépendantes.

Les coefficients de corrélation ainsi obtenus figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-56

VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION ENTRE QUANTITÉS DE MATIÈRE VERTE ENFOUIE SUR ENGRAIS VERT ET PRODUCTION DES CULTURES DE LA ROTATION

Culture	Localisation	Grains ou gousses			Pailles		
		Sans engrais	Avec engrais	Moyenne	Sans engrais	Avec engrais	Moyenne
Première culture : Arachide	Thiénaba Boulel	0,780 +	0,057	0,640 0,070	0,807 +	0,661	0,795 +
		—	—	—	—	—	—
Deuxième culture : Mil	Thiénaba Boulel	—	—	—	0,952 ++	0,564	0,688 0,689
		—	—	0,691	—	—	—
Troisième culture : Arachide	Thiénaba Boulel	0,880 ++	0,470	0,840 ++ 0,267	0,352	0,710 +	0,743 + 0,257

De même que dans le cas du sol nu, il n'y a pas de liaison, à Boulel, entre quantité de matière verte enfouie et production des cultures suivantes. Cette liaison existe à Thiénaba, mais uniquement pour les traitements sans engrais. L'apport minéral de la matière verte jouerait donc, dans ces sols très pauvres chimiquement, un rôle prédominant. A 10 t/ha de matière verte enfouie correspond, pour les traitements sans engrais, une augmentation de rendement en gousses variant entre 422 kg/ha et 494 kg/ha.

Sur un autre essai, mis en place à Bambey en 1960 par FAUCHÉ et NICOU (39), une corrélation positive et hautement significative a également été obtenue entre tonnage de matière verte enfouie, provenant pour une part de l'extérieur, et production de l'arachide de l'année suivante. A 10 t/ha de matière verte enfouie correspondait un supplément de production de 240 kg/ha de gousses ($r = 0,925^{++}$). La liaison était obtenue en l'absence d'engrais.

Par contre, sur un essai analogue, mais faisant intervenir jachère enfouie et non engrais vert, mis en place à Darou par l'IRHO (49), cette corrélation n'est pas apparue.

CONCLUSION SUR L'ASPECT QUANTITATIF DE LA MATIÈRE VERTE ENFOUIE DANS SON INFLUENCE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES

D'après ce qui vient d'être vu, si, dans tous les cas, l'action propre du labour peut être considérée comme le facteur prédominant, la quantité de matière verte enfouie joue également un rôle non négligeable dans les augmentations de rendements observées. Le labour sans enfouissement de matière verte se montre habituellement supérieur au labour sans enfouissement, qu'il s'agisse de sol nu ou de sol cultivé. Cette supériorité se fait sentir pendant les trois années de culture de la rotation. Dans le cas des engrais verts, des apports supplémentaires de matière verte provoquent souvent de nouvelles augmentations de rendements, surtout sur céréale. Des corrélations ont été obtenues, dans certains cas, entre quantités de matière verte enfouie et rendements des céréales.

On peut certes estimer que les effets ne sont pas toujours réguliers ni très importants. Mais il faut se rappeler qu'ils ont été obtenus dans le cadre d'une succession : arachide-céréale-arachide, peu propre à tirer parti des améliorations de structure du sol induites par l'enfouissement de matière verte. Les résultats seraient sans doute beaucoup plus nets avec une céréale en tête de rotation. Des expérimentations devraient être mises en place dans cette perspective.

CONDITIONNEMENT DE LA FUMURE VERTE AVANT ENFOUISSEMENT

Le changement de la date d'enfouissement et son report vers la fin de la saison des pluies ont posé aux agronomes un certain nombre de problèmes nouveaux. L'allongement du cycle végétatif de l'engrais vert ou de la jachère de un mois ou de un mois et demi se traduit par une augmentation très sensible de la masse végétale à enfouir et une évolution nette vers la lignification.

Pour une culture de mil effectuée en 1959 à Bambey, VIDAL (100) a effectué des prélèvements aux deux dates du 19 août et 22 septembre, correspondant aux dates d'enfouissement anciennement et nouvellement recommandées. Entre ces deux dates, le tonnage de matière produite passe de 768 kg/ha à 3.231 kg/ha, soit plus du quadruple ; le taux d'humidité baisse de 86 % à 82 % ; le rapport C/N des tiges et feuilles augmente de 24 à 57.

Il y a donc une modification notable, tant au point de vue quantitatif que qualitatif de la matière végétale à enfouir. Ceci pose des problèmes d'ordre pratique et théorique.

Sur le plan théorique, la décomposition de la matière végétale enfouie et son humification ne seront pas identiques puisque les matériaux et les conditions (humidité du sol en particulier) sont différents. Si l'on recherche avant tout l'effet à court terme sur les propriétés physiques et la structure du sol, il paraît préférable de s'adresser à un matériau peu évolué. Divers travaux, dont ceux de MONNIER (57), ont souligné en effet l'intérêt, pour l'augmentation de la stabilité structurale, des produits transitoires d'humification fournis par les matières vertes jeunes et très fermentescibles. Mais, d'autre part, les observations de profils culturaux ont montré le développement de la macroporosité biologique et la persistance, dans le temps, de l'effet sur la structure, dans une certaine mesure, corrélatifs de la quantité de matière végétale enfouie, ce qui plaiderait en faveur de l'enfouissement global.

Sur le plan pratique, l'enfouissement d'une très grande quantité de matière végétale en partie lignifiée pose des problèmes difficiles à résoudre en culture attelée. Bien que des progrès sensibles aient été enregistrés dans ce sens ces dernières années grâce à une meilleure adaptation du matériel, les labours, quand ils sont réalisables, restent défectueux en raison des bourrages très fréquents qui se sont produits pendant leur exécution ; le terrain est soufflé et irrégulier, les pailles mal enfouies se décomposent mal ; le labour est difficile à reprendre pour la préparation du lit de semences.

Enfin, du point de vue économique, il paraissait souhaitable de « rentabiliser » la sole de régénération (fumure verte) en tentant de concilier les impératifs de l'amélioration du sol et le souci de contribuer à la nourriture du bétail.

Pour toutes ces raisons, CHARREAU et NICOU (14, 18) ont proposé d'expérimenter les techniques suivantes :

- fauche de la jachère ou de l'engrais vert dans la deuxième quinzaine d'août, c'est-à-dire à l'époque où étaient effectués autrefois les enfouissements ;
- exportation des produits de la fauche pour la nourriture du bétail ou, au contraire, paillis du sol avec les tiges et feuilles coupées ;
- enfouissement des repousses en fin de saison des pluies.

Ces techniques sont expérimentées en comparaison avec les techniques habituelles d'enfouissement de la jachère et d'engrais vert depuis 1964 dans les essais dits de « Régénération du Profil » mis en place en plusieurs localités du Sénégal par NICOU (69) et NICOU et THIROUIN (74). Un autre essai portant sur les modalités pratiques du conditionnement de la matière verte avant enfouissement a également été réalisé à Séfa en 1965 (99).

Les enseignements fournis par ces essais intéressent :

- les conditions pratiques de réalisation et les productions de matière verte,
- les effets de la fauche sur l'enracinement de la jachère ou de l'engrais vert,
- les effets sur le sol,
- les effets sur les rendements des cultures.

CONDITIONS PRATIQUES DE RÉALISATION ET PRODUCTIONS DE MATIÈRE VERTE

La fauche manuelle est une opération facile à exécuter au coupe-coupe sur mil engrais vert et qui demande peu de temps. Elle est plus longue et plus difficile à réaliser sur jachère avec cet outil ; il faudrait utiliser la faux, instrument à peu près inconnu au Sénégal. Cette opération est également susceptible d'être mécanisée (faucheuse à bœufs). La coupe ne doit pas être effectuée à ras du sol mais à une certaine hauteur (15 cm à 20 cm pour la jachère ; 40 cm pour les mils et sorghos), de façon à ce que le sol ne soit pas trop découvert après la fauche et que les plantes rejettent facilement. Le gyrobroyage a également été essayé et a donné de bons résultats.

On a songé, également, à remplacer la fauche par le pâturage. Cette méthode est à déconseiller. Le pâturage en saison des pluies provoque un tassement préjudiciable au sol. Au moment de l'enfouissement, l'effort de traction est en moyenne 20 % à 25 % plus élevé que dans le cas d'une fauche à bonne hauteur. Quand il s'agit de mil, il y a sur le terrain un mélange de tiges anciennes et de repousses jeunes, plus ou moins couchées et emmêlées, ce qui rend le labour encore plus difficile à exécuter (99).

Les tonnages de matière verte obtenus après la fauche préalable figurent dans le tableau IV-110, en annexe. Ils sont comparés avec les tonnages produits par les jachères et engrais verts normaux. La comparaison aurait été plus rigoureuse avec la matière sèche, car le taux d'humidité varie au cours du cycle végétatif (diminution constante) ; malheureusement, les mesures d'humidité sont en nombre insuffisant. On constatera, par ailleurs, que les données ne sont pas complètes tous les ans.

L'examen de ces résultats montre, comme l'on pouvait s'y attendre, que ceux-ci sont très variables d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre.

Les valeurs moyennes ont été regroupées dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-57
COMPARAISON DES TONNAGES MOYENS A L'HECTARE DE MATIÈRE VERTE OBTENUS SUR LA JACHÈRE ET ENGRAIS VERT AYANT SUBI OU NON UNE FAUCHE EN AOÛT

Localisation	Période de comparaison	Nombre de résultats annuels (maximum)	Jachère				Mil Engrais vert			
			Fauchée			Normale	Fauché			Normal
			Fauche	Repousses	Total		Fauche	Repousses	Total	
Louga	1967-1969	3	3,3	7,5	10,8	9,8	—	—	—	20,7
Bambey « dior »	1964-1969	3	12,2	7,1	19,3	12,8	8,0	6,7	14,7	16,1
Bambey « dek »	1964-1968	3	8,5	11,3	19,8	9,5	4,6	11,7	16,3	15,7
Sinthiou M. . .	1966-1969	4	14,3	8,0	22,3	28,5	14,5	7,2	21,7	20,8
Séfa	1964-1969	6	18,6	12,7	31,3	29,2	26,4	14,9	41,3	47,9

Les produits de la fauche du mois d'août fournissent en moyenne, suivant les stations, entre 3 t/ha et 19 t/ha de matière verte pour la jachère, ce qui représente entre 30 % et 90 % de la production d'une jachère fauchée fin septembre.

Les tonnages sont un peu plus importants pour le mil engrais vert et vont en moyenne de 5 t/ha à 26 t/ha, soit entre 30 % et 70 % de la production d'un engrais vert normal.

Les repousses après fauche de jachère et d'engrais vert varient entre 7 t/ha et 15 t/ha ; elles représentent entre 30 % et 70 % de la production d'une jachère ou d'un engrais vert normal*. Le total : produit de la fauche d'août + repousses, équivaut à peu près au tonnage de fumure verte habituelle.

Les produits de la fauche du mois d'août doivent être ensilés pour servir à la nourriture du bétail, la transformation en foin étant impossible à cette période très pluvieuse de l'année. La contribution de la sole de régénération à la nourriture du bétail n'est alors pas négligeable puisqu'elle est de l'ordre de 10 t/ha de matière verte en moyenne, soit 2 t/ha de matière sèche ou 400 UF ; elle peut subvenir aux besoins d'un bœuf de travail pendant plus de trois mois.

EFFETS DE LA FAUCHE SUR L'ENRACINEMENT DE LA JACHÈRE OU DE L'ENGRAIS VERT

Ces effets ont été étudiés par NICOU et THIROUIN (75) sur les essais « Régénération du Profil ».

Après fauche réalisée au mois d'août sur jachères et engrais verts, les produits de la fauche ont été, suivant les cas, exportés ou disposés en paillis sur le sol (mulch). Des mesures de densité d'occupation racinaire ont ensuite été effectuées fin septembre, au moment des enfouissements, comparativement sur jachère et engrais verts ayant subi ou non une fauche au mois d'août. Les résultats de ces mesures figurent dans le tableau IV-111, en annexe.

Comme on peut le voir, la fauche provoque, sur jachère, une nette diminution de l'enracinement dans la couche 0 cm à 20 cm. En dessous (20 cm à 30 cm), la diminution est moins sensible. Les densités d'occupation racinaire baissent de 10 % à 50 % suivant les situations, par rapport à la jachère non fauchée. Des différences significatives apparaissent à Bambey et surtout à Sinthiou-Malème.

A Séfa, la baisse est moins accentuée. Ceci peut s'expliquer par la différence de composition floristique des jachères. Celles-ci comprennent essentiellement à Séfa des espèces précoces qui meurent au début du mois de septembre et ne sont remplacées que très lentement. La fauche, réalisée peu avant, a donc peu d'influence sur l'enracinement (mesuré fin septembre). A Bambey et Sinthiou, au contraire, les jachères comportent beaucoup d'espèces dont l'époque de floraison coïncide avec celle de la fauche. Celle-ci provoque leur mort et l'enracinement disparaît. Elles sont remplacées par de nouvelles espèces tardives qui se développent alors beaucoup plus lentement sur les parcelles fauchées.

Sur mil engrais vert, la fauche provoque une baisse sensible de l'enracinement à Séfa, tandis qu'à Bambey cette baisse est très peu accentuée. On observe même, dans ce dernier cas, une légère augmentation de la densité racinaire dans l'horizon 0 cm à 10 cm : la fauche favorise le départ de nouvelles racines dans cet horizon, probablement par un nouveau tallage. A Séfa, la diminution de l'enracinement est observée sur tous les horizons. L'engrais vert étant semé trois semaines plus tôt, il est possible que la fauche intervienne à un stade de végétation du mil trop avancé pour que l'enracinement puisse repartir.

EFFETS SUR LE SOL

L'enfouissement des repousses s'effectue sans difficulté, qu'il y ait ou non mulching, sur le sol des produits de la fauche du mois d'août. La qualité du travail est, en général, meilleure que pour le labour de fumure verte normale.

L'examen des profils culturaux effectués au cours de la saison sèche, quelques mois après l'enfouissement, révèle un effet très favorable, sur la macrostructure, de l'engrais vert ou de la jachère fauchée et mulchée : la quantité de matière végétale est suffisante pour que soit développée une porosité biologique importante ; elle se trouve dans un état de mélange plus intime avec le sol que dans le cas d'une fumure verte normale ; sa décomposition est excellente. Ce sont les profils culturaux apparemment les plus satisfaisants qui aient été observés. L'activité de la mésofaune est moindre, puisque la quantité de matière végétale enfouie est moins importante. Le développement de la porosité biologique est donc plus faible mais atteint cependant un niveau correct.

Les mesures et observations faites au cours des années suivantes montrent que les effets résiduels sur la structure sont souvent un peu moins nets que pour les enfouissements totaux de jachère ou d'engrais vert.

* Exception faite du cas de Bambey « dek » en raison des résultats anormaux de l'année 1967.

EFFETS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES

Les essais « Régénération du Profil » (69, 74) permettent la comparaison entre engrais verts et jachères ayant subi ou non la fauche préalable du mois d'août dans leur influence sur les rendements des cultures de la rotation après labours d'enfouissement. Les résultats complets sont rassemblés dans les tableaux IV-112, IV-113, IV-114, en annexe. Dans ces tableaux, il n'a pas été tenu compte, pour les traitements ayant subi la fauche, de la destination des produits de cette fauche : exportation ou paillis sur le sol (mulching). Pour un même essai, les deux modalités ont été successivement appliquées dans le temps, ce qui rend difficile la comparaison. Bien que les résultats disponibles soient encore peu nombreux, il semble qu'il n'y ait pas de grandes différences entre ces deux sous-traitements. Les résultats ultérieurs permettront de vérifier ce point de vue.

Comme on peut s'en rendre compte à l'examen du tableau IV-112, les résultats pour la première culture sont assez variables d'une année sur l'autre et d'une station à l'autre. Sur une centaine de résultats concernant grains, gousses ou pailles, les contrastes orthogonaux font apparaître seulement cinq différences significatives : trois pour l'engrais vert, en faveur de la préfauche, deux pour la jachère en faveur de l'enfouissement global.

Il ne semble pas y avoir, en tout cas, de variations systématiques suivant les emplacements. Aussi a-t-on calculé des valeurs moyennes par culture. Ces valeurs moyennes, pour la première culture succédant à la sole de régénération, figurent dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV-58
INFLUENCE DE LA PRÉFAUCHE DE L'ENGRAIS VERT ET DE LA JACHÈRE
SUR LES RENDEMENTS DE LA PREMIÈRE CULTURE DE LA ROTATION
(Valeurs moyennes)

Nature de la culture	Grains, gousses ou pailles	Nombre de résultats annuels	Rendements (kg/ha) après engrais vert			Rendements (kg/ha) après jachère		
			Normal	Pré-fauché	Indice	Normale	Pré-fauchée	Indice
Arachide	Gousses	5	1.832	1.782	97	1.914	1.878	98
	Pailles	4	2.986	2.827	95	3.122	2.517	81
Mil	Grains	4	1.108	1.288	116	1.122	1.136	101
	Pailles	2	8.200	8.200	100	8.200	8.250	101
Sorgho	Grains	2	1.080	1.245	115	1.388	1.415	102
	Pailles	2	8.280	9.510	115	10.975	11.250	103
Maïs	Grains	5	3.074	3.123	102	3.074	3.155	103
	Pailles	2	4.320	4.385	102	4.495	5.030	112

Les rendements de la première culture paraissent, dans l'ensemble, peu influencés par la pratique de la préfauche de la jachère ou de l'engrais vert : celle-ci s'avère légèrement inférieure à l'enfouissement global pour l'arachide, alors que c'est l'inverse pour les céréales.

Pour les deuxième et troisième cultures de la rotation, l'examen des tableaux IV-113 et IV-114 montre également qu'il n'y a pas de variations systématiques suivant les emplacements ni suivant les successions culturales. On a donc procédé comme pour la première culture en utilisant des valeurs moyennes, par culture. La troisième culture de la rotation se trouve être, dans tous les cas, l'arachide. Les valeurs moyennes figurent dans les tableaux ci-dessous :

TABLEAU IV-59
INFLUENCE DE LA PRÉFAUCHE DE L'ENGRAIS VERT ET DE LA JACHÈRE
SUR LES RENDEMENTS DE LA DEUXIÈME CULTURE DE LA ROTATION
(Valeurs moyennes)

Nature de la culture	Grains, gousses ou pailles	Nombre de résultats annuels	Rendements (kg/ha) après engrais vert			Rendements (kg/ha) après jachère		
			Normal	Pré-fauché	Indice	Normale	Pré-fauchée	Indice
Arachide	Gousses	3	1.538	1.464	95	1.448	1.510	104
	Pailles	3	2.944	3.160	107	2.722	2.586	95
Mil	Grains	7	1.818	1.893	104	1.917	1.868	97
	Pailles	1	3.383	3.635	107	2.946	3.096	105
Sorgho	Grains	3	2.189	2.318	106	2.542	2.382	94
	Pailles	2	10.750	9.900	92	10.150	8.950	88

TABLEAU IV-60
 INFLUENCE DE LA PRÉFAUCHE DE L'ENGRAIS VERT ET DE LA JACHÈRE
 SUR LES RENDEMENTS DE LA TROISIÈME CULTURE DE LA ROTATION : L'ARACHIDE
 (Valeurs moyennes)

Gousses ou pailles	Nombre de résultats annuels	Rendements (kg/ha) après engrais vert			Rendements (kg/ha) après jachère		
		Normal	Pré- fauché	Indice	Normale	Pré- fauchée	Indice
Gousses	7	1.671	1.642	98	1.730	1.670	97
Pailles	7	2.853	2.739	96	2.972	2.773	93

Là encore, on ne trouve pas de différences importantes entre enfouissement global ou partiel. Les résultats sont assez variables pour la deuxième culture. Sur l'arachide venant en troisième position dans la rotation, on retrouve un effet très légèrement dépressif de l'engrais vert ou de la jachère pré-fauchée.

CONCLUSION SUR LE CONDITIONNEMENT DE LA MATIÈRE VERTE AVANT ENFOUISSEMENT

Au vu de cet ensemble de résultats, on peut donc estimer que la fauche de la fumure verte un mois avant enfouissement ne provoque pas, par rapport à la pratique normale, de variation sensible de rendements sur les cultures suivantes. Comme par ailleurs cette technique produit, apparemment, des effets satisfaisants sur le sol, qu'elle facilite très notablement les conditions d'enfouissement et qu'elle permet de contribuer de façon appréciable à la nourriture du bétail, il y a lieu de souligner dès maintenant tout son intérêt et de recommander la vulgarisation de la fumure verte sous cette forme.

MODALITÉS PRATIQUES DE RÉALISATION DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT

Les labours d'enfouissement de pailles ne posent pas de problèmes particuliers de réalisation ; ils sont simplement facilités lorsque la paille est rabattue sur le sol avant retournement, soit manuellement, soit par un rabatteur-convoyeur.

Par contre, quelques problèmes se posent pour l'enfouissement, en fin de saison, d'un engrais vert ou d'une jachère. Ces problèmes pratiques ont été étudiés par MONNIER (58) et LE MOIGNE (55) dont nous résumons ici les conclusions.

Le labour d'enfouissement de matière verte ne demande pas, en moyenne, des forces de traction beaucoup plus élevées que le labour sur sol nu. Cependant, si l'effort moyen est peu modifié, les variations autour de la moyenne sont très sensiblement amplifiées, ce qui accroît la fatigue de l'attelage. D'autre part, la qualité du travail réalisé peut varier considérablement. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération.

Le tonnage de matière verte ne semble pas, par lui-même, influencer beaucoup sur l'effort de traction ; les relevés dynamométriques n'ont pas révélé de différences significatives entre les traitements différant par le tonnage de matière verte, celui-ci variant de 9 t/ha à 30 t/ha et pouvant même atteindre localement 60 t/ha. Par contre, la qualité du travail est influencée par ce tonnage : plus celui-ci est important, plus l'enfouissement risque d'être incomplet et défectueux. L'optimum paraît se situer autour de 40 t/ha.

La hauteur du végétal à enfouir joue un rôle important. Les meilleurs enfouissements sont réalisés avec des plantes d'une hauteur assez uniforme et ne dépassant pas 1 m. Ceci est le cas pour les jachères, les sorghos nains et l'*Eleusine coracana* ; par contre, ces conditions ne sont pas habituellement remplies avec les mils et sorghos traditionnels. La fauche un mois avant l'enfouissement réduit cependant sensiblement la hauteur de la plante.

L'âge du matériel végétal à enfouir et son stade de lignification interviennent également. Plus la plante est âgée et lignifiée et plus les risques de bourrage et d'enfouissement défectueux sont élevés. La préfauche a également, dans ce domaine, une influence favorable.

Le mode d'occupation du terrain par la plante à enfouir paraît être, finalement, le facteur essentiel. C'est en effet le plateau de tallage des céréales et le feutrage racinaire superficiel des graminées des jachères qui semblent avoir une influence déterminante sur l'effort de traction (moyenne et amplitude des variations), sur la fréquence des bourrages et sur la qualité de l'enfouissement. Dans le cas de la jachère, il semble à peu près impossible d'obtenir à la fois un développement végétatif satisfaisant et un feutrage superficiel réduit, le feutrage étant habituellement largement corrélatif du développement végétatif. La fauche réalisée un mois avant l'enfouissement peut cependant, ainsi qu'il a été vu plus haut, limiter le développement racinaire superficiel et, par là, faciliter l'enfouissement.

Pour les céréales, il y a plusieurs manières de limiter le développement du plateau de tallage. On peut jouer tout d'abord sur la nature de la plante ; le sorgho a un plateau de tallage beaucoup plus réduit que le mil ; le sorgho nain et l'*Eleusine coracana* sont encore plus intéressants à ce point de vue. Le mode et la densité de semis sont également des moyens d'intervention efficaces : en semant le mil à la volée, à forte densité, on limite notablement son tallage. Avec un semis en ligne à faible écartement et forte densité sur la ligne, on obtient à peu près le même résultat. La préfauche, un mois avant enfouissement, peut également avoir une influence dans ce domaine mais celle-ci n'est pas bien connue.

Les possibilités d'amélioration du matériel de culture pour faciliter l'enfouissement ont été examinées plus haut (p. 1184). On a vu que des possibilités existaient dans ce domaine, qu'il serait intéressant d'utiliser des charrues plus lourdes que celles actuellement vulgarisées en culture attelée, de gabarit plus important, avec un âge plus long, permettant un maniement plus facile. L'intérêt de l'adaptation, à la charrue, d'un rabatteur-convoyeur, a également été souligné.

Les problèmes des temps de travaux et prix de revient ont été principalement étudiés par MONNIER (58). D'après cet auteur, un enfouissement aux bœufs exige 30 heures à 40 heures de travail à l'hectare en moyenne, soit pratiquement 5 journées de travail d'un attelage ordinaire. Son prix de revient, à l'hectare, est modéré (de l'ordre de 1.400 F CFA au Sénégal oriental).

En conclusion, les labours d'enfouissement de fumure verte soulèvent quelques difficultés d'ordre pratique lorsqu'ils sont exécutés en culture attelée. Ces difficultés sont loin d'être insurmontables. Outre les adaptations possibles du matériel utilisé, l'agronome dispose d'un certain nombre de moyens permettant de modifier la nature et l'aspect de la matière verte, en vue de faciliter son enfouissement. Qu'il s'agisse des jachères ou des mils et sorghos traditionnels utilisés comme engrais vert, la préfauche, réalisée un mois avant l'enfouissement, s'impose comme technique permettant de faciliter notablement cette opération et d'améliorer la qualité du labour. Le sorgho est plus facile à enfouir que le mil. Pour cette dernière plante, la combinaison de semis en ligne à faibles écartements et à forte densité sur la ligne et de la préfauche permet la plupart du temps de réduire les difficultés et d'obtenir des enfouissements corrects. L'utilisation de plantes nouvelles telles que le sorgho nain offre, dans ce domaine, des perspectives intéressantes.

6) REPRISE DES LABOURS ET PREPARATION DU LIT DE SEMENCES

Il faut distinguer ici les deux principaux types de labours : avec ou sans incorporation de matière végétale.

a) CAS DES LABOURS SANS ENFOUISSEMENT

La reprise des labours de préparation offre assez peu de difficultés dans les terres sableuses ou sablo-argileuses. Les premières pluies tombant sur le labour suffisent, bien souvent, à déliter les mottes les plus grosses et à égaliser le terrain, permettant ainsi un semis direct au semoir. Lorsque les labours ont été réalisés sur un sol insuffisamment humide, le terrain est alors beaucoup plus inégal et présente un mélange de très grosses mottes de terre pulvérulente. Il est nécessaire de reprendre le labour dans le but de fragmenter les mottes et d'égaliser le terrain en vue du semis mécanique. Cette opération doit se faire en sec ou sur un terrain très légèrement humide. Les instruments les plus indiqués sont, pour les sols sableux, la houe rotative ; pour les sols sablo-argileux : le cultivateur à dents rigides (tiller) ou, à défaut, le pulvériseur à disques.

Il faut, de toute manière, limiter autant que possible les façons superficielles après réalisation du labour. Dans le cas contraire, on risque de détruire le profil cultural, d'émietter le sol et de donner prise à l'érosion sans qu'il y ait, en contrepartie, un profit quelconque pour les cultures.

Une expérience réalisée à Ferkessedougou, en Côte-d'Ivoire, par RENAULT (87), est assez démonstrative à cet égard. Divers traitements de reprise du labour sont testés par des cultures de riz pluvial et de maïs. Les résultats sont les suivants :

TABLEAU IV-61
INFLUENCE DU NOMBRE ET DE LA NATURE DES FAÇONS SUPERFICIELLES APRÈS LABOUR
SUR LES RENDEMENTS DU RIZ PLUVIAL ET DU MAÏS À FERKESSEDGOU (CÔTE-D'IVOIRE)

Culture	Campagne 1967		Campagne 1968	
	Traitements après labour	Rendement (q/ha)	Traitements après labour	Rendement (q/ha)
Maïs	2 pulvérisages	41,1	1 pulvérisage, 1 billonnage, semis sur billon.	41,8
	1 pulvérisage	42,1	Semis à plat - Buttage	48,7
	1 hersage	42,0	Semis à plat	46,8
Riz	2 pulvérisages	14,3	2 pulvérisages	21,3
	1 pulvérisage	18,5	1 pulvérisage	27,0
	1 hersage	20,0	1 passage de dents (tiller)	25,0

Les résultats montrent qu'il est préférable de s'en tenir à une seule façon superficielle après labour. Une deuxième façon superficielle a un effet dépressif sur les rendements.

Les examens de profils culturaux révèlent, d'ailleurs, qu'après quelques mois le sol ayant subi deux pulvérisages est massif et très sec, alors que pour les autres traitements il est resté frais et friable avec une structure faiblement grumeleuse à polyédrique (4).

b) CAS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT

La reprise des labours d'enfouissement est plus délicate et pose davantage de problèmes. Il y a deux obstacles principaux :

- la formation d'une croûte superficielle durcie lorsque le labour a reçu des pluies suffisantes pour détruire la structure sur quelques centimètres et provoquer la reprise en masse ;
- les repousses végétales au cours de la saison sèche.

La croûte durcie est difficilement brisée par les instruments habituels, disponibles en culture attelée. Les repousses végétales sont constituées soit par la plante qui a servi d'engrais vert, soit par les plantes de jachère et adventices habituelles. Le problème des repousses est atténué par la préfauche de l'engrais vert ou de la jachère et par un labour d'enfouissement tardif suffisamment fermé. Il ne peut cependant être complètement supprimé.

Une solution intéressante paraît être de reprendre les labours d'enfouissement peu après leur exécution. On peut utiliser pour cela la patte d'oie, la herse ou la houe rotative ; les meilleurs résultats sont obtenus avec ce dernier instrument qui n'émiette pas le sol mais le réduit en agrégats. Le terrain étant encore humide, le travail de nivellement et de fermeture du labour opéré par ces instruments est beaucoup plus efficace qu'en fin de saison sèche. L'examen des profils culturaux montre que l'humidité est conservée près de la surface et que la décomposition de la matière végétale s'effectue de façon satisfaisante, si l'opération est bien faite. Le terrain reste très propre jusqu'à la fin de la saison sèche et on peut envisager de supprimer toute nouvelle intervention avant le semis. Dans certains cas, cependant, on ne peut éviter quelques repousses : sorgho profitant de l'humidité conservée à faible profondeur ; *Centaurea perottetii* sur les terrains les plus sableux. Ces repousses ne sont cependant jamais abondantes et il est facile et rapide de s'en débarrasser par une intervention nouvelle. Cette reprise précoce présente cependant un risque, celui de favoriser l'érosion et le glaçage du sol en cas de pluie. Ce risque est faible si l'on opère une dizaine de jours après le labour, lui-même réalisé assez tardivement. Il ne peut cependant être complètement supprimé.

7) INTERACTION ENTRE LABOURS ET ENGRAIS MINERAL

On distinguera le cas des labours ordinaires et celui des labours d'enfouissement.

a) INTERACTION ENTRE LABOURS ET ENGRAIS MINERAL DANS LE CAS DES LABOURS ORDINAIRES

Deux catégories d'interactions sont à considérer suivant que l'on étudie la différence d'action, sur témoin non travaillé et sur labour :

- de fumures minérales complètes, à des doses différentes,
- d'éléments minéraux isolés.

INTERACTION ENTRE LABOURS ET FUMURES MINÉRALES COMPLÈTES

Une trentaine d'essais, implantés tant au Sénégal qu'au Niger et en Haute-Volta permettent l'étude de ces interactions. Deux ou trois traitements de fumure minérale sont combinés avec plusieurs traitements de façon préparatoire. Parmi ces derniers on n'a retenu que le témoin sans travail et le traitement avec labour (ou moyenne des labours).

Les traitements de fumure minérale sont les suivants :

- F 0 : pas de fumure,
- F 1 : fumure légère (100 kg/ha à 150 kg/ha d'engrais),
- F 2 : fumure forte (300 kg/ha à 400 kg/ha d'engrais).

Les équilibres de fumure sont variables suivant les plantes et les emplacements ; ils sont habituellement à dominante azotée ou phospho-azotée sur céréale, dominante phosphatée ou phospho-potassique sur arachide. Ces équilibres peuvent également varier d'un niveau à l'autre, entre F 1 et F 2. Les regroupements en trois catégories de traitements aussi variables présentent donc un caractère un peu arbitraire.

Nous n'avons pas hésité, cependant, à l'effectuer de façon à donner une idée globale des différences d'action de ces fumures en fonction du travail du sol. Les résultats complets de ces essais ont été rassemblés dans le tableau IV-115, en annexe. Les effets de la fumure minérale sont testés sur trois cultures : mil, sorgho, arachide. A l'examen du tableau, on note que si les effets de la fumure minérale sont presque toujours positifs et, en moyenne, assez élevés, les interactions entre travail du sol et fumure minérale sont variables et dans l'ensemble faibles. Il n'y a d'ailleurs, sur ces 28 essais, pas un seul cas d'interaction statistiquement significatif *. Les valeurs moyennes des effets de la fumure et des interactions ont été calculées pour les différentes cultures et figurent dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-62
VALEURS MOYENNES DES INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS
SUR DIFFÉRENTES CULTURES : RÉSULTATS D'ESSAIS

Nature de la culture	Fumure légère				Fumure forte					
	Nombre d'		Effets moyens (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'		Effets moyens (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
	Essais	Interactions positives	Sur témoin	Sur labour		Essais	Interactions positives	Sur témoin	Sur labour	
Mil	5	4	+ 344	+ 412	+ 34	1	1	+ 390	+ 395	+ 3
Sorgho	9	6	+ 444	+ 540	+ 48	7	4	+ 933	+ 1.097	+ 82
Arachide	14	4	+ 263	+ 168	- 48	9	4	+ 361	+ 319	- 21

Au vu de ces résultats, on peut estimer que, dans l'ensemble, il n'y a pas de différence d'action de fumures minérales complètes à doses faible ou forte, sur témoin non travaillé et sur labour.

Le vaste ensemble constitué par les champs de pré vulgarisation au Sénégal nous fournit aussi de nombreuses informations sur les interactions de ce type. Les résultats disponibles concernent surtout les céréales sur lesquelles ont été appliquées, en premier, la technique du labour de préparation.

TABLEAU IV-63
VALEURS MOYENNES DES INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS
SUR DIFFÉRENTES CULTURES : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION DU SÉNÉGAL

Culture	Localisation	Nombre de résultats	Fumure légère			Fumure forte				
			Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
				Témoin	Labour			Témoin	Labour	
Sorgho	Bambey	5	2	+ 292	+ 403	+ 55	3	+ 744	+ 841	+ 44
	Sine-Saloum	10	7	+ 600	+ 735	+ 67	3	+ 1.136	+ 1.094	- 21
	Sénégal oriental ..	12	7	+ 530	+ 691	+ 81	10	+ 1.125	+ 1.541	+ 208
	Moyenne pondérée.	27	16	+ 512	+ 654	+ 71	16	+ 1.059	+ 1.246	+ 93
Mil	Casamance	5	2	+ 402	+ 299	- 51	2	+ 1.068	+ 884	- 92
Maïs	Sénégal oriental ..	3	1	+ 403	+ 116	- 143	2	+ 999	+ 1.339	+ 170
Cotonnier	Sénégal oriental ..	1	—	+ 95	+ 14	- 40	1	+ 797	+ 893	+ 48

On peut observer tout d'abord que les effets des fumures minérales sont en moyenne plus élevés que sur les essais. Il en est de même des interactions en majorité positives.

Ces interactions semblent varier :

- en fonction de la fumure : elles sont plus accusées en fumure forte qu'en fumure faible ;
- en fonction de la culture : elles sont plus marquées sur sorgho et maïs ;
- en fonction de la zone écologique : elles sont les plus importantes au Sénégal oriental.

Sur le sorgho par exemple, en fumure forte, on obtient globalement + 93 kg/ha avec 16 résultats au lieu de + 82 kg/ha avec 11 résultats d'essais, mais au Sénégal oriental l'interaction atteint 208 kg/ha.

La conclusion précédente concernant les essais doit être nuancée en fonction de ces résultats.

* Sauf un essai sur mil, à Tarna (Niger), en 1968, mais où le calcul de l'interaction intègre d'autres traitements de travail du sol que le labour (64).

INTERACTION ENTRE LABOURS ET ÉLÉMENTS MINÉRAUX ISOLÉS

Les effets simples ou associés des éléments S, P, K combinés à deux modalités de labour sont étudiés à Bambey dans le cadre d'une rotation avec arachide continue (82). En cinq ans d'essais, les seules interactions significatives qui soient apparues sont celles observées en 1967 et 1968 entre les labours réalisés l'année précédente et l'apport de potassium. Ces interactions sont positives ; elles sont toutefois assez faibles.

Par ailleurs, deux essais ont été mis en place par POULAIN et TOURTE (85), à Bambey, pour étudier spécialement les interactions éventuelles entre profondeur de travail du sol et doses d'engrais azotés sur céréales. Ces deux essais ont été installés l'un en sol « dior », l'autre en sol « dek » et cultivés alternativement en mil et sorgho, de 1966 à 1968. Certains de leurs résultats ont déjà été mentionnés plus haut (p. 1186). Rappelons que les traitements de préparation du sol étaient les suivants :

- P 1 : préparation à l'iler, grattage superficiel ;
- P 2 : sous-solage à 30 cm à 40 cm en sec + labour à la charrue trisoc à 20 cm + passage de la houe rotative ;
- P 3 : sous-solage à 60 cm à 80 cm en sec + labour à la charrue trisoc à 40 cm + passage de la houe rotative.

Les traitements de fertilisation minérale étaient :

- T : témoin absolu, sans engrais ;
- N 0 : fumure PKS optimum + oligoéléments + 0 kg/ha N ;
- N 1 : fumure PKS optimum + oligoéléments + 50 kg/ha N ;
- N 2 : fumure PKS optimum + oligoéléments + 100 kg/ha N ;
- N 3 : fumure PKS optimum + oligoéléments + 150 kg/ha N.

En 1966, les deux essais étaient cultivés en mil et aucune interaction entre modes de préparation du sol et doses d'azote ne s'est manifestée.

En 1967, le sorgho fut cultivé sur les deux essais, la variété utilisée en sol « dior » fut le CE-62. Sur ce dernier essai, on observa des réponses à l'engrais azoté très différentes suivant les traitements de préparation du sol. Les résultats furent en effet les suivants :

TABLEAU IV-64
RÉPONSES DIFFÉRENTES DU SORGHO A L'AZOTE, EN SOL « DIOR »,
SUIVANT LES MODALITÉS DE PRÉPARATION DU SOL
(grains, kg/ha)

Traitement	Travail du sol N (kg/ha)		Témoin non travaillé P 1	Sous-solage + labour 20 cm P 2	Sous-solage + labour 40 cm P 3
	PKS + oligoéléments				
T	Non	0	202	390	1.090
N 0	Oui	0	349	543	1.216
N 1	Oui	50	427	602	1.202
N 2	Oui	100	426	1.194	1.585
N 3	Oui	150	410	1.387	1.753

On constate ici une interaction importante et statistiquement significative entre engrais minéral et modes de préparation du sol puisque, en l'absence de travail du sol, l'azote n'a pratiquement pas marqué (61 kg/ha de grain pour 150 kg/ha d'azote) ; par contre, avec sous-solage et labour à moyenne profondeur, 150 kg/ha d'azote procurent un gain de 844 kg/ha de grains ; le gain n'est plus que de 537 kg/ha pour le sous-solage et le labour profonds, le niveau de production du témoin sans azote étant nettement plus élevé.

Un autre enseignement de cet essai est de montrer que la culture du sorgho, habituellement très aléatoire sur sol sableux, est rendue possible grâce à la combinaison d'un travail profond du sol et d'une fumure minérale, particulièrement azotée, suffisante. Ceci n'est cependant valable que pour certaines variétés de sorgho.

CONCLUSION SUR LES INTERACTIONS ENTRE LABOUR ORDINAIRE ET ENGRAIS MINÉRAL

Le dernier exemple mentionné représente un cas intéressant et démonstratif d'interaction entre le labour ordinaire et l'engrais minéral. En expérimentation, il est isolé.

Cependant, les résultats des champs de pré vulgarisation plus nombreux et mieux répartis géographiquement donnent à penser que l'importance de l'interaction dépend de la culture et de l'écologie considérée.

La question n'est donc pas définitivement tranchée d'autant que le problème sera renouvelé par l'apparition de nouvelles variétés, pour les céréales en particulier.

b) INTERACTION ENTRE LABOURS ET ENGRAIS MINERAL DANS LE CAS DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT

Ces interactions ont surtout été étudiées pour les labours d'enfouissement de matière verte et très peu pour les labours d'enfouissement de pailles. Par ailleurs, leur étude s'est faite presque uniquement dans le cadre de la rotation : régénération-arachide-céréale-arachide. Il s'agit, la plupart du temps, d'essais assez anciens.

Les interactions sont ici complexes et peuvent se répartir en quatre catégories, suivant que l'on étudie :

- le labour d'enfouissement proprement dit : opposition entre jachère brûlée et fumure verte ;
- la durée de la régénération ;
- la nature de la plante enfouie ;
- la quantité de matière verte enfouie.

EFFETS COMPARÉS DE LA FUMURE MINÉRALE APRÈS JACHÈRE BRÛLÉE ET APRÈS LABOUR D'ENFOUISSEMENT DE JACHÈRE OU D'ENGRAIS VERT

On distinguera ici :

- les effets de fumures complètes, à doses différentes ;
- le problème particulier des interactions avec le phosphate naturel.

EFFETS COMPARÉS DE FUMURES MINÉRALES COMPLÈTES

On trouvera dans le tableau IV-116, en annexe, les résultats d'une trentaine d'essais implantés au Sénégal concernant les effets comparés de l'engrais minéral à faible dose (100 kg/ha à 150 kg/ha) après jachère et fumure verte sur les différentes cultures de la rotation.

Les réponses à de faibles doses d'engrais sont toujours positives* et généralement assez fortes, les plus-values de rendements allant de 20 % à 80 % du témoin. Elles diffèrent assez peu suivant que la culture succède à une jachère brûlée ou à une fumure verte. Le calcul des interactions fait apparaître des valeurs tantôt positives, tantôt négatives, mais de toute manière assez faibles : une seule interaction dépasse 200 kg/ha. S'agissant pour la plupart d'essais de longue durée, l'interprétation statistique pluri-annuelle de ces interactions n'a été que rarement calculée. Au vu de ces résultats, il semble peu probable qu'aucune d'entre elles dépasse le seuil de la signification.

Si l'on tente de faire un bilan global de ces résultats, il s'établit comme suit :

TABLEAU IV-65

VALEURS MOYENNES DES INTERACTIONS ENTRE FUMURE MINÉRALE FAIBLE ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTE : RÉSULTATS D'ESSAIS

Nature de la culture	Nombre de		Effets moyens de la fumure légère (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
	résultats annuels	interactions positives	Après jachère brûlée	Après fumure verte	
Première culture : arachide	28	21	365	355	- 5
Deuxième culture : céréale ...	27	8	334	326	- 4
Troisième culture : arachide.	20	13	402	516	+ 57

Il n'y a donc en moyenne, pour ces essais, aucune différence de réponse de l'engrais minéral utilisé à faible dose, que les cultures succèdent à une fumure verte ou qu'elles viennent après jachère brûlée.

D'autres essais permettent la comparaison, après jachère brûlée ou enfouissement de fumure verte, des effets de fumures légères et de fumures fortes. Ces essais sont peu nombreux ; leurs résultats sont rassemblés dans le tableau IV-117, en annexe. Comme on le voit, les suppléments d'effets de la fumure minérale forte par rapport à la faible ne sont pas, dans ces essais, très élevés. Les interactions sont toujours assez faibles et bon nombre d'entre elles sont négatives.

* A l'exception d'un cas (riz sur l'essai Jachère-Engrais vert de Séfa).

TABLEAU IV-66

EFFETS MOYENS SUPPLÉMENTAIRES DE DOSES FORTES D'ENGRAIS PAR RAPPORT A DES DOSES FAIBLES
COMPARÉS APRÈS JACHÈRE BRÛLÉE ET FUMURE VERTE : RÉSULTATS D'ESSAIS

Position et nature de la culture	Nombre de résultats annuels	Effets supplémentaires moyens de la fumure forte (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
		Après jachère brûlée	Après fumure verte	
Première culture : arachide ..	7	+ 171	+ 81	- 45
Deuxième culture : céréale ...	4	+ 169	+ 244	+ 38
Troisième culture : arachide..	5	+ 127	+ 9	- 59

Les champs de pré vulgarisation du Sénégal nous fournissent de nombreuses informations sur les interactions entre fumures minérales et labours d'enfouissement, aussi bien au cours de la rotation arachide-céréale-arachide qu'en effet direct sur d'autres cultures (sorgho, mil, maïs, cotonnier). Le dispositif permet ici de mettre en évidence en même temps les interactions avec les deux types de fumure. Notons que la fumure forte a toujours été la fumure « étalée » sur la rotation * longtemps recommandée au Sénégal (tableaux IV-67 et IV-68).

Au cours de la rotation arachide-céréale-arachide, les interactions sont en moyenne assez faibles mais supérieures à celles enregistrées dans les essais. On observe, d'autre part, qu'elles sont plus élevées sur la céréale et dans l'est et le sud du Sénégal.

Ces observations sont confirmées par les résultats enregistrés en effet direct sur d'autres cultures que l'arachide. Il se trouve que tous les résultats proviennent de l'est et du sud du Sénégal. On peut remarquer que les interactions sont alors très importantes et varient aussi en fonction de la culture et de la fumure.

TABLEAU IV-67

VALEUR MOYENNE DES INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
AU COURS DE LA ROTATION ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION

Localisation		Nord		Sine-Saloum		Est et sud Sénégal		Moyenne pondérée	
Culture	Fumure	Nombre de résultats	Interactions (kg/ha)						
Première culture : arachide	Faible	20	+ 33	23	- 28	14	- 82	57	- 20
	Forte		+ 13		- 7		+ 55		+ 15
Deuxième culture : céréale	Faible	15	- 5	10	- 55	6	+ 31	31	- 9
	Forte		+ 31		+ 45		+ 66		+ 42
Troisième culture : arachide	Faible	7	- 1	10	+ 58	5	+ 19	22	+ 30
	Forte		- 89		- 12		+ 139		- 2

TABLEAU IV-68

VALEUR MOYENNE DES INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
EFFETS DIRECTS SUR DIFFÉRENTES CULTURES : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION

Cultures	Localisation	Nombre de résultats	Interactions (kg/ha)	
			Fumure faible	Fumure forte
Sorgho	Est Sénégal	1	+ 325	+ 219
Mil	Casamance	1	+ 145	+ 131
Maïs	Est et Sud Sénégal	7	+ 91	+ 237
Cotonnier	Est et Sud Sénégal	12	- 4	+ 150

Etant donné les résultats obtenus dans les champs de pré vulgarisation qui représentent un ensemble à la fois plus important et plus homogène que celui des essais, résultats obtenus aussi bien sur labour de préparation que sur labour d'enfouissement, il semble bien exister des interactions labour \times engrais minéral surtout sensibles sur les cultures céréalières pratiquées dans l'est et le sud du Sénégal.

* Apport dissocié des éléments fertilisants sur les cultures de la rotation : 500 kg/ha de phosphate tricalcique sur sole de régénération ; 85 kg/ha de chlorure de potassium sur arachide ; 300 kg/ha de sulfate d'ammoniaque sur céréale (remplacé depuis 1968 par de l'urée).

INTERACTIONS ENTRE PHOSPHATE NATUREL ET FUMURE VERTE

L'intérêt de l'utilisation de phosphates naturels a été mis en évidence dès 1950 par BOUYER (12), au Sénégal. Depuis lors, de nombreuses études ont été poursuivies pour préciser les conditions d'utilisation de ces phosphates. On a cherché, en particulier, à voir si leur effet n'était pas accru par incorporation au sol, au moment de l'enfouissement, de matière verte.

Les résultats qui viennent d'être mentionnés concernant les effets de la fumure forte fournissent déjà une première réponse à cette question, puisque deux de ces essais et la totalité des champs de pré-vulgarisation utilisent comme fumure forte la fumure « étalée » où le phosphore est apporté exclusivement sous forme de phosphate naturel, les interactions sont souvent positives et variables en fonction de la culture et de la pluviométrie.

D'autres essais ont été mis en place spécialement pour étudier ce problème des phosphates naturels et de la sole de régénération. Il s'agit des essais :

- « P 54 » implantés à Katibougou (Mali) et Sinthiou-Malème (Sénégal) ;
- « P 55 » de Bambey et Nioro (Sénégal) et Saria (Haute-Volta) ;
- « Régénération × Phosphates » de Boulel.

Les essais « P 54 » combinent trois doses de phosphates tricalciques, trois formes de régénération et trois compléments minéraux. TOURTE, FAUCHÉ et BOUYER (95), analysant les résultats de la première rotation, signalent deux interactions significatives entre formes de régénération et compléments minéraux, mais aucune entre formes de régénération et phosphates. Au cours de la seconde rotation, aucune interaction significative n'est apparue.

Les essais « P 55 » étudient les combinaisons des facteurs suivants :

- deux natures de phosphates : phosphate tricalcique (Baylifos) et phosphate d'alumine (Phosphal) ;
- trois doses de phosphates : 0 kg/ha, 500 kg/ha et 1.000 kg/ha appliqués en tête de rotation sur la sole de régénération ;
- trois formes de régénération : jachère simple brûlée, jachère enfouie, mil engrais vert ;
- trois types de compléments minéraux à Bambey et Nioro, deux types à Saria.

TOURTE, FAUCHÉ et BOUYER (95), analysant les résultats partiels de la première rotation, font ressortir à Saria, sur l'arachide de 1956, une interaction significative : formes de régénération × nature du phosphate × compléments NK.

Les résultats sont les suivants :

TABLEAU IV-69

INTERACTIONS ENTRE FORMES DE RÉGÉNÉRATION, PHOSPHATES NATURELS ET COMPLÉMENTS MINÉRAUX SUR ARACHIDE A SARIA (HAUTE-VOLTA)

Formes de régénération	Sans complément NK		Avec complément NK	
	Phosphal	Baylifos	Phosphal	Baylifos
Jachère simple	1.316	1.478	1.768	1.753
Jachère enfouie	1.485 ++	1.502	1.810	1.918 ++
Engrais vert	1.600 +++	1.600 +	1.849	1.815

La comparaison statistique est faite dans chaque colonne verticale par rapport au témoin jachère simple. On constate donc, ici, une influence favorable de la fumure verte sur l'action du phosphate en présence ou non de complément minéral et quelle que soit la nature du phosphate.

Les résultats de l'essai de Saria, postérieurs à 1957, ne nous sont pas connus. Les essais de Bambey et de Nioro sont poursuivis jusqu'à la fin de la deuxième rotation (1952) : aucune interaction entre phosphates et formes de régénération n'a été signalée dans les comptes rendus.

Dans les essais « Régénération × Phosphates » de Boulel, POULAIN et MARA (83) combinent factoriellement les traitements suivants :

- quatre soles de régénération :
 - jachère simple non enfouie,
 - jachère enfouie,
 - engrais vert enfoui,
 - engrais vert coupé et exporté (+ labour) ;

quatre modes d'apport du phosphate tricalcique à la dose de 500 kg/ha :

au semis de l'engrais vert ou au démarrage de la jachère,
à l'enfouissement de la jachère ou de l'engrais vert,
avant préparation légère de la première arachide, en couverture,
aucun apport de phosphate.

La rotation suivie est la rotation quadriennale : régénération-arachide-sorgho-arachide. L'essai est en série et les résultats sont encore incomplets. Il y a 4 résultats annuels pour la première arachide, 3 pour le sorgho, 2 pour la deuxième arachide. On fournira cependant ces résultats sous une forme simplifiée* dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV-70
EFFETS COMPARÉS DU PHOSPHATE NATUREL SUR JACHÈRE BRÛLÉE
ET SUR FUMURE VERTE

	Première arachide			Sorgho			Deuxième arachide		
	Gousses (kg/ha)		Effet P (kg/ha)	Grains (kg/ha)		Effet P (kg/ha)	Gousses (kg/ha)		Effet P (kg/ha)
	Sans P	Avec P		Sans P	Avec P		Sans P	Avec P	
Jachère simple	1.619	1.651	+ 32	1.365	1.689	+ 324	1.243	1.340	+ 97
Fumure verte (moyenne 3 traitements) ..	1.713	1.815	+ 102	1.392	1.894	+ 502	1.236	1.359	+ 123

On constate que l'action du phosphate est faible sur arachide alors qu'elle est importante sur sorgho. D'autre part, son effet est plus marqué en présence de fumure verte. Cette interaction faible sur la première arachide est notable sur sorgho.

C'est par une autre méthode, faisant intervenir les éléments marqués (^{32}P), que JACQUINOT (50) étudie ce problème et l'interaction entre enfouissement de matière verte et phosphate tricalcique.

Mettant en concurrence deux types de sol, un phosphate bicalcique marqué et un phosphate tricalcique enfoui ou non, il observe, entre autres, que l'apport de tricalcique en couverture ne modifie pas l'absorption de l'engrais marqué apporté l'année suivante sur arachide ; par contre, l'enfouissement de la même dose de tricalcique a pour conséquence une diminution de l'absorption du phosphate bicalcique, et ceci dans la proportion de 30 % à 45 %. Dans les deux cas, le niveau de phosphore total dans la plante est sensiblement le même.

Dans une autre expérience réalisée en vase de végétation (51), le même auteur, comparant l'action du phosphate marqué, du tricalcique et du phosphal épandus en couverture, montre que les traitements phosphal et tricalcique ne diffèrent pas significativement du témoin quant à leur influence sur la valeur « L ». Ceci signifie que ces deux engrais n'ont pratiquement pas fourni de phosphate assimilable supplémentaire au sol. Il y a en moyenne 5 à 6 fois moins de tricalcique et de phosphal solubilisés que de bicalcique.

L'interaction fumure verte \times phosphate naturel (tricalcique ou phosphal) pourrait donc s'expliquer essentiellement par le placement à bonne profondeur, grâce au labour, du phosphate naturel. Celui-ci, migrant difficilement dans le sol, serait ainsi beaucoup plus facilement absorbé par les racines des plantes que s'il était appliqué à la surface du sol. Ceci serait surtout sensible sur les céréales dont l'enracinement fasciculé et de plus finement divisé par le labour prospecte mieux le profil cultural et va chercher le phosphate là où il se trouve. On a également avancé que la décomposition concomitante de la matière verte enfouie pouvait influencer la solubilisation du phosphate (formation d'humophosphates) et son assimilation par les plantes. Mais ceci n'est pas, à notre connaissance, prouvé.

CONCLUSION SUR LES INTERACTIONS ENTRE LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTE ET DOSES D'ENGRAIS MINÉRAUX

En résumé, on peut estimer que :

— comme pour le labour de préparation, l'importance de l'interaction entre les doses d'engrais minéral et le labour d'enfouissement de matière verte est fonction de la fumure, de la culture et de l'écologie considérée ;

* Omission de la modalité d'apport du phosphate en couverture puisqu'il n'y a pas d'enfouissement; moyenne des deux premières modalités d'apport.

— il a été prouvé, dans un certain nombre de cas, que l'enfouissement simultané d'une jachère ou d'un engrais vert et d'une forte dose de phosphate tricalcique (plus de 500 kg/ha) favorisait nettement l'action de cet engrais ; ceci s'expliquerait par le placement à bonne profondeur, grâce au labour, du phosphate naturel mis ainsi directement à la disposition des racines ; il en résulterait ainsi une action plus efficace de la fumure forte, plus riche en phosphate naturel, sur les céréales (à enracinement fasciculé) dans les zones à forte pluviométrie.

Il serait cependant nécessaire d'élucider davantage le mécanisme de l'interaction en poursuivant les études au moyen d'éléments marqués et en comparant, notamment, l'action du phosphate naturel placé en profondeur par différentes sortes de labours (avec ou sans enfouissement).

INTERACTION ENTRE DURÉE DE LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION ET LA FUMURE MINÉRALE

Ces interactions sont étudiées dans les essais suivants :

Jachère-Engrais vert \times Doses d'engrais minéral, mis en place à Bambey (37) et Séfa (101) en 1955 ;

Doses d'engrais vert \times Doses d'engrais minéral (91) mis en place à Bambey en 1952.

Là encore, comme dans tous les essais anciens, la culture-test est l'arachide et la succession culturale : arachide-céréale-arachide.

Les essais Jachère-Engrais vert \times Doses d'engrais minéral étudient en combinaison les facteurs suivants :

deux durées de l'engrais vert : 1 an ou 3 ans (répétition de la culture d'engrais vert et de l'enfouissement tous les ans) ;

quatre modes de traitement de la sole de régénération jachère brûlée, jachère enfouie, engrais vert légumineuse, engrais vert céréale ;

trois doses d'engrais minéral.

L'essai de Bambey a été mis en place par FAUCHÉ (37). Les résultats ont été publiés par SILVESTRE (91). Ils ont été résumés dans le tableau IV-71, en opposant globalement les traitements jachère enfouie, engrais vert légumineuse et engrais vert céréale, regroupés sous le vocable « fumure verte », au traitement jachère brûlée.

Le calcul des interactions : durée de régénération \times forme de régénération \times doses d'engrais minéral, peut être effectué sur la première arachide succédant à la sole de régénération. Cependant, cette culture étant réalisée au cours de deux années différentes suivant la durée de la sole de régénération, les calculs doivent être effectués en valeurs indiciaires (en affectant l'indice 100 au traitement jachère brûlée sans engrais). Les résultats sont alors les suivants :

TABLEAU IV-71

EFFETS COMPARÉS, EN VALEURS RELATIVES, DE L'ENGRAIS MINÉRAL
EN FONCTION DE LA DURÉE DE LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION

Durée de la sole de régénération	Forme de régénération	Doses d'engrais minéral		
		F 0	F 1	F 2
1 an	Jachère brûlée	100	115	126
	Fumure verte	105	129	142
3 ans	Jachère brûlée	100	115	126
	Fumure verte	87	106	112

Comme on le voit, les différences de réponses sont faibles et les interactions négligeables.

Un calcul de ce genre aurait pu être fait pour l'essai de Séfa, si les formules d'engrais n'avaient pas été changées après la troisième année de l'essai.

L'essai « Dose d'engrais vert \times Doses d'engrais minéral » a été implanté en 1952 à Bambey et réalisé par TOURTE et FAUCHÉ. Les principaux résultats obtenus ont été publiés par SILVESTRE (91).

L'essai compare trois rotations, différant par la durée de la sole de régénération :

engrais vert-arachide-sorgho,

engrais vert-engrais vert-arachide-sorgho,

engrais vert-engrais vert-engrais vert-arachide-sorgho.

Sur chaque rotation, on compare cinq doses d'engrais minéral. Les équilibres choisis sont : 6-20-10 pour l'arachide et 14-7-7 pour le sorgho. Les doses sont de 0, 75, 150, 300 et 600 kg/ha. Le dispositif expérimental est celui des carrés latins. L'engrais vert choisi est le mil en 1952 et 1953, le sorgho à partir de 1954.

De même que pour l'essai précédent, on peut examiner, d'une année sur l'autre, les réponses à l'engrais minéral sur les différentes rotations en exprimant les rendements en valeurs relatives par rapport au témoin sans engrais. Les résultats figurent dans le tableau IV-72.

D'après ces résultats, il n'apparaît pas que la répétition, dans le temps, de l'engrais vert modifie les réponses à l'engrais minéral. SILVESTRE (91) note que la répétition des cultures d'engrais vert provoque, en l'absence de fumure minérale, une augmentation croissante de rendements et une augmentation croissante de la rentabilité en fonction des doses apportées. L'essai n'étant pas en série, il est difficile d'être aussi affirmatif, les variations de rendements indiquées pouvant aussi bien être attribuées à l'« effet année ».

TABLEAU IV-72
RÉPONSES A L'ENGRAIS MINÉRAL
EN FONCTION DE DIFFÉRENTES DURÉES DE LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION

Nature de la culture	Répétition de l'engrais vert dans le temps	Date de la culture	Rendements du témoin sans engrais (kg/ha)	Rendements indiciaires en fonction des doses d'engrais (kg/ha)				
				0	75	150	300	600
Arachide ..	1 an	1953	1.203	100	108	114	114	122
	1 an	1956	1.320	100	118	113	117	119
	1 an	1958	890	100	107	109	96	103
	2 ans	1954*	573	100	103	116	120	117
	3 ans	1955	773	100	110	120	131	152
Sorgho ...	1 an	1954	430	100	138	153	200	310
	1 an	1957	440	100	120	145	250	230
	2 ans	1955	579	100	136	172	229	306
	3 ans	1956	869	100	126	155	200	263

* En 1954, une attaque de « rosette » sur arachide a perturbé les résultats de l'essai.

Au vu de ces résultats, il n'apparaît donc pas, jusqu'à présent, d'interaction entre la durée de la sole de régénération, son mode de traitement (enfouissement ou brûlis) et les apports d'engrais minéraux.

Rappelons que, pour la jachère non enfouie, les interactions entre la durée de la jachère et les apports d'engrais minéraux ont été traitées dans une précédente partie.

INTERACTION ENTRE LA NATURE DE LA PLANTE ENFOUIE ET LA DOSE D'ENGRAIS MINÉRAL

Seuls les essais « Jachère-Engrais vert × Doses d'engrais minéral » implantés en 1955 à Bambey et Séfa permettent d'étudier ces interactions. Sur l'essai de Bambey, il n'apparaît aucune différence significative de réponse à l'engrais en fonction de la plante enfouie : jachère, légumineuse ou céréale. Sur l'essai de Séfa, les réponses à l'engrais minéral sont très comparables après enfouissement de céréales ou de légumineuses ; elles sont un peu différentes après jachère enfouie, mais variables d'une année sur l'autre : il ne paraît pas y avoir de variation systématique. Là encore, les interactions semblent donc peu importantes.

INTERACTIONS ENTRE DOSES DE MATIÈRE VERTE ET DOSES D'ENGRAIS MINÉRAL

Les essais « Structure-Humus » de Thiénaba et Boulel (81) précédemment mentionnés comportent, entre autres traitements de la sole de régénération, les traitements suivants :

- a) mil engrais vert coupé et exporté, enfouissement du plateau de tallage ;
- b) mil engrais vert normal ;
- c) mil engrais vert avec apport supplémentaire de matière verte, de telle sorte que la quantité totale de matière verte enfouie soit le double de celle du traitement précédent.

Au cours de la première rotation, chaque traitement a été subdivisé : avec ou sans engrais. L'engrais est apporté sous forme de fumure forte « étalée » après phosphatage de fond sur la sole de régénération.

La décomposition en degrés de liberté simples orthogonaux permet d'opposer le traitement *a*) aux traitements *b*) et *c*) (rôle de la matière verte dans le mil engrais vert) et le traitement *c*) au traitement *b*) (effet d'un supplément de matière verte) et de calculer les interactions : traitements \times engrais.

Ce calcul, qui a été fait pour les trois cultures d'une rotation quadriennale sur les deux essais, montre que ces interactions sont faibles, variables suivant les années et les cultures (tantôt positives, tantôt négatives) et qu'elles ne sont jamais significatives.

Des conclusions analogues sont tirées d'un essai installé par l'IRHO à Darou (49).

L'existence d'interaction entre doses de matière verte enfouie et doses d'engrais minéraux n'a donc pas, jusqu'à présent, été prouvée.

*
* *

D) TRAVAUX DE PREPARATION DU SOL AUTRES QUE LE LABOUR

On distinguera ici trois types de travaux :

- le pseudo-labour correspondant à des travaux effectués à une profondeur inférieure ou égale à celle des labours, sans qu'il y ait retournement du sol ;
- la combinaison de pseudo-labours et de labours ;
- le sous-solage profond.

1) LES PSEUDO-LABOURS

Les appareils utilisés pour les pseudo-labours peuvent se ranger dans deux grandes catégories :

- les appareils à dents : scarificateurs à dents souples ou rigides, dents « sous-soleuses » type « Gouvy » ou « Chisel », tiller, etc. ;
- les appareils à disques : cover-crop, pulvérisateurs...

Ces derniers sont largement utilisés en culture motorisée, mais non en culture attelée, car il existe fort peu de modèles adaptés à ce mode de culture.

Dans les expérimentations réalisées en Afrique de l'Ouest et utilisant la traction animale, seuls les appareils à dents ont été étudiés, en comparaison avec la charrue à soc. Parmi les appareils à dents, on distinguera deux types principaux :

- les houes ou scarificateurs à dents souples ou rigides, utilisés pour les travaux de sarclage et travaillant assez superficiellement ;
- les appareils à dents « sous-soleuses » rigides type « Gouvy » ou « Chisel » pouvant travailler le sol sur une profondeur comparable à celle du labour.

Les travaux peuvent être réalisés en sec ou en humide.

Pour le travail en sec à la houe, ce sont habituellement les dents souples de canadien qui sont utilisées. Les forces de traction sont modérées mais le travail reste très superficiel ; bien souvent, la dent ne fait que remuer le sable pulvérulent en surface sans pénétrer dans l'horizon à structure massive.

En humide, le travail à la houe peut être sensiblement plus profond (jusqu'à 10 cm à 15 cm). L'instrument de choix paraît être le soc sarcler « patte d'oie » large (250 mm à 300 mm) monté sur étau rigide. C'est cet instrument qui a été utilisé pour le pseudo-labour en humide dans la plupart des essais réalisés au Sénégal.

Les dents « sous-soleuses » ou « piocheuses » rigides permettent de travailler en sec ou en humide à assez grande profondeur (jusqu'à 15 cm ou 20 cm). Les dents sont toujours montées sur étançons rigides mais peuvent être de types assez variés. La plus utilisée dans les expérimentations menées au Sénégal a été la dent « Gouvy » équipée d'un soc « Diamant » de petit modèle (largeur 38 mm) et présentant un angle d'entrure de 26°.

Les forces de traction nécessitées par le passage en sol sec de ces instruments sont très élevées. Pour les trois dents « Gouvy » montées sur bâti « Ariana », les valeurs moyennes, mesurées par LE MOIGNE (54) sont les suivantes, à Bambeby :

TABLEAU IV-73
EFFORTS NÉCESSITÉS PAR LA TRACTION DE TROIS DENTS « GOUVY »
MONTÉES SUR BÂTI ARIANA, DANS DIFFÉRENTS SOLS, A BAMBEY

Sol	Argile + limon (%)	Profondeur de travail (cm)	Effort moyen (kg)	Effort maximum (kg)
« dior »	5	18	180	260
« dek »	10	14	160	420
« ban »	28	12	150	300

Il est préférable d'utiliser deux paires de bœufs pour travailler dans ces conditions.

Le passage de la dent « sous-soleuse » en sec éclate le sol sur une profondeur variable. L'éclatement est beaucoup moins net lorsque le sol est humide.

Tous ces travaux de pseudo-labours sont habituellement réalisés par un double passage, en croisé, de l'instrument.

Malgré la diversité des conditions de réalisation et des instruments utilisés, on a jugé commode, pour la présentation des résultats expérimentaux, de regrouper les travaux de pseudo-labours en quatre grandes catégories suivant le type d'instrument utilisé et l'humidité du sol au moment de la réalisation. On obtient alors le regroupement suivant :

- pseudo-labour à la houe en sec,
- pseudo-labour à la houe en humide,
- pseudo-labour à la dent sous-soleuse en sec,
- pseudo-labour à la dent sous-soleuse en humide.

Les résultats des expérimentations ont été rassemblés, suivant ce principe, dans le tableau IV-118, en annexe. Il y a une centaine de résultats annuels provenant du Sénégal, du Niger et de la Haute-Volta. Dans tous ces essais, on peut faire la comparaison entre un témoin non travaillé, un pseudo-labour et un labour.

Les valeurs moyennes sont calculées. Elles sont présentées, pour le pseudo-labour à la houe, dans le tableau ci-après :

TABLEAU IV-74
EFFETS MOYENS COMPARÉS, PAR RAPPORT A UN TÉMOIN NON TRAVAILLÉ,
DU LABOUR ET DU PSEUDO-LABOUR A LA HOUE SUR DIVERSES CULTURES

Culture	Humidité du sol	Nombre de résultats annuels	Rendement témoin (kg/ha)	Plus-values (kg/ha) sur		Plus-values du témoin (%) sur	
				pseudo-labour	labour	pseudo-labour	labour
Mil	Humide	11	623	+ 120	+ 257	+ 19	+ 41
Sorgho	Sec	6	1.953	+ 341	+ 860	+ 17	+ 44
	Humide	5	1.573	+ 429	+ 707	+ 24	+ 40
	Ensemble	11	1.862	+ 381	+ 790	+ 20	+ 42
Maïs	Sec	3	2.031	+ 273	+ 821	+ 13	+ 40
	Humide	3	2.031	+ 648	+ 958	+ 32	+ 47
	Ensemble	6	2.031	+ 461	+ 890	+ 23	+ 44
Arachide	Sec	9	1.929	+ 69	+ 214	+ 4	+ 11
	Humide	9	1.830	- 16	+ 119	- 1	+ 7
	Ensemble	18	1.880	+ 27	+ 167	+ 1	+ 9
Cotonnier	Humide	2	1.371	+ 45	+ 213	+ 3	+ 16

On constate que le pseudo-labour à la houe a presque toujours un effet favorable sur les cultures. L'effet est particulièrement net sur sorgho et maïs alors qu'il est peu accusé sur arachide et cotonnier.

Dans tous les cas, l'effet est inférieur à celui du labour, en moyenne de moitié. Le passage de la houe en humide s'avère plus efficace que le passage en sec sur sorgho et maïs.

Il serait intéressant d'exploiter les résultats du réseau de champs de pré vulgarisation ou d'appréciation des potentialités mis en place au Sénégal. Le dispositif utilisé permet en effet de comparer, par rapport à un témoin non travaillé, les effets d'un labour et d'un pseudo-labour réalisé par passage du canadien en sec. Cette analyse n'a pu être faite jusqu'à présent.

Les effets moyens comparés du travail à la dent sous-soleuse et du labour sont présentés dans le tableau IV-75 ci-après. Les effets sont, dans l'ensemble, moins nets que ceux du travail à la houe ; ils sont en moyenne trois à quatre fois plus faibles que ceux du labour. Il ne semble pas qu'il y ait, à cet égard, une grosse différence entre le passage en sec et le passage en humide, bien que le travail du sol soit très différent dans les deux cas. Il est vrai que la comparaison n'a pu être faite dans les mêmes essais.

TABLEAU IV-75
EFFETS MOYENS COMPARÉS, PAR RAPPORT A UN TÉMOIN NON TRAVAILLÉ,
DU LABOUR ET DU PSEUDO-LABOUR A LA DENT SOUS-SOLEUSE SUR DIVERSES CULTURES

Culture	Humidité du sol	Nombre de résultats annuels	Rendement témoin (kg/ha)	Plus-values (kg/ha) sur		Plus-values du témoin (%) sur	
				pseudo-labour	labour	pseudo-labour	labour
Mil	Sec	1	562	+ 18	+ 144	+ 3	+ 26
	Humide	5	815	+ 167	+ 461	+ 20	+ 57
	Ensemble	6	773	+ 142	+ 408	+ 18	+ 33
Sorgho	Sec	4	1.217	+ 141	+ 485	+ 12	+ 40
Arachide	Sec	8	1.030	+ 89	+ 443	+ 9	+ 46
	Humide	5	1.746	+ 91	+ 166	+ 5	+ 10
	Ensemble	13	1.305	+ 90	+ 336	+ 7	+ 26
Cotonnier	Sec	1	1.389	- 3	+ 625	0	+ 45

Certains essais réalisés à Tarna, au Niger (64), permettent, par contre, la comparaison entre le scarifiage et le sous-solage en humide. Sur mil, l'avantage est au scarifiage : + 319 kg/ha en moyenne contre + 167 kg/ha au sous-solage ; sur arachide, c'est l'inverse : + 91 kg/ha sur sous-solage contre + 6 kg/ha pour le scarifiage.

En conclusion, les pseudo-labours, permettant de travailler le sol sans retournement, apportent des suppléments de rendements non négligeables sur toutes les cultures. Les effets sont, dans tous les cas, inférieurs à ceux du labour mais ils peuvent constituer, pour le paysan, de bonnes solutions de remplacement. Comme on l'a vu, en effet, le labour est une opération assez longue à réaliser en culture attelée et qui ne peut être effectuée sur tous les champs de l'exploitation sans risques de perturber gravement le programme des travaux pour les différentes cultures. Les pseudo-labours présentent l'avantage de pouvoir être effectués en sec, c'est-à-dire hors saison culturale. En humide, leur réalisation demande beaucoup moins de temps que pour un labour et perturbe donc moins le programme de travail de l'exploitation.

Les résultats précédents montrent, dans l'ensemble, une légère supériorité de la houe sur la dent sous-soleuse. Comme d'autre part la houe requiert des forces de traction beaucoup moins élevées, on peut donc recommander son emploi en préparation des terres, partout où le labour n'est pas possible. On donnera, dans ce cas, la préférence à la préparation en humide avec le soc « patte d'oie » large, monté sur étau rigide.

Les expérimentations sur l'utilisation de dents sous-soleuses de divers types, en particulier du type « Chisel », se poursuivent. Il se peut que les nouveaux résultats obtenus amènent à nuancer les conclusions précédemment énoncées concernant les effets des dents sous-soleuses.

2) COMBINAISON DE PSEUDO-LABOURS ET DE LABOURS

Sur les sols peu perméables, il peut être intéressant de faire précéder le labour par un travail à la dent en sec, améliorant l'infiltration des premières pluies et facilitant ensuite la réalisation du labour.

Cette technique a été testée à Kawara, au Niger, sur des sols sablo-limoneux à caractères physiques défectueux et à perméabilité faible, qui sont habituellement incultes (61). Plusieurs traitements de préparation du sol étaient en comparaison :

témoin sans travail : façons traditionnelles ;

pseudo-labour en fin de saison sèche, réalisé en 1965 et 1966 avec le multiculteur « Arara » équipé d'une piocheuse (pointe Diamant) à 25 cm de profondeur, tous les 30 cm ; en 1967 et 1968, le sous-solage a été remplacé par un scarifiage à la houe « Manga » ;

labour en humide (peu profond) ;
pseudo-labour en sec (même traitement que plus haut) + labour en humide.

Les résultats sont présentés dans le tableau IV-76.

Les rendements, déjà normalement faibles sur ce type de sol, ont été encore compromis par des insuffisances de pluie en 1965 et 1968.

Quoi qu'il en soit, on note un effet léger du pseudo-labour en sec et un effet sensible du labour en humide sur les différentes cultures. La combinaison de ces deux techniques n'amène pas de supplément de rendement par rapport au labour en humide.

A Saria, en Haute-Volta, on a testé en 1964, sur sorgho, la combinaison d'un labour de début d'hivernage et d'un sous-solage réalisé à la même époque. Cette technique ne se révèle pas supérieure à celle du labour seul (32).

TABLEAU IV-76
EFFETS SIMPLES ET COMBINÉS DU PSEUDO-LABOUR ET DU LABOUR
SUR SOL SABLO-LIMONEUX INCULTE DU NIGER (61)

Traitements	Années			
	1965	1966	1967	1968
	Sorgho (kg/ha)	Arachide (kg/ha)	Arachide (kg/ha)	Mil hâtif (kg/ha)
Témoin	118	348	983	50
Pseudo-labour en sec	230	517	1.075	92
Labour en humide	453	962	1.501	161
Pseudo-labour en sec + labour en humide	375	847	1.452	221

Les résultats étant très peu nombreux, il est difficile de vouloir tirer une conclusion dans ce domaine. Il serait intéressant de poursuivre, sur terrains peu perméables, l'étude de la combinaison : pseudo-labour en sec + labour en humide.

3) LE SOUS-SOLAGE PROFOND

Si le terme sous-solage a été utilisé précédemment, c'était dans le sens d'un travail modérément profond (15 cm à 20 cm) réalisé en culture attelée par des dents de faible largeur.

A partir de maintenant, on donnera au mot « sous-solage » son acception habituelle : travail profond (40 cm à 60 cm) sans retournement réalisé par un outil puissant et nécessitant des forces de traction très élevées (en pratique : traction motorisée).

Quelques essais de sous-solage profond ont été réalisés à Bambey, sans qu'il y ait jamais eu comparaison avec d'autres travaux du sol et, en particulier, avec le labour.

BOUFFIL, TOURTE et PÉLISSIER (11) obtiennent, dès 1950, après sous-solage réalisé en sec à 40 cm de profondeur, des plus-values significatives de 41,7 % sur arachide et 33,5 % sur prairie naturelle.

Par la suite, cette technique fut utilisée en grande culture, principalement pour améliorer le drainage dans les bas-fonds à sols plus argileux. Les sous-solages furent réalisés en sec et améliorèrent effectivement le drainage pendant la saison des pluies qui suivit leur réalisation.

Leur efficacité ne se fit pas sentir au-delà. En 1965, DEFFONTAINES (28) observe en fin de saison des pluies un profil cultural en sol sablo-argileux (« dek-dior ») ayant subi un sous-solage au cours de la saison sèche précédente. Il retrouve à 80 cm les passages de la sous-soleuse, signalée par un ameublissement un peu plus poussé qu'ailleurs et par la présence d'agrégats grossiers à tendance polyédrique, peu cohérents. La trace du passage disparaît dans les 20 cm superficiels. Les racines de mil n'ont pas pénétré dans les zones améliorées de profondeur par suite du compactage en surface. Celui-ci a peut-être été causé par un émiettement trop poussé, lors de la reprise du sous-solage. Il est possible qu'un sous-solage moins profond, laissant des mottes moins importantes et autorisant une reprise plus légère eût été, en fin de compte, plus bénéfique pour la végétation.

En 1966 et 1967, POULAIN et TOURTE (85) réalisent en sol « dior » et sol « dek » des sous-solages à différentes profondeurs combinés à des labours. Ils notent qu'en sol « dior » (très sableux) les traces du sous-solage ne sont plus visibles après une saison des pluies, alors qu'en sol « dek » (plus argileux) leur marque est encore très visible sur le profil après deux saisons des pluies.

A Ferkessédougou, en Côte-d'Ivoire, sur sol ferrallitique gravillonnaire, des traitements de sous-solage à différents écartements et combinés ou non avec un labour ont été testés en 1967 et 1968 par des cultures de riz et de maïs (86). Les examens de profils culturaux effectués en fin de saison révèlent

une conservation irrégulière de l'action du sous-solage sur le sol ; dans la moitié des profils observés, aucune trace de passage n'était visible. L'influence sur l'enracinement ne s'observait que lorsque les traces du sous-solage étaient encore visibles sur le sol (4).

Les effets du sous-solage sur les rendements du riz et du maïs ont été les suivants :

TABLEAU IV-77
EFFETS DU SOUS-SOLAGE, COMBINÉ OU NON A UN LABOUR,
SUR LES RENDEMENTS DU RIZ ET DU MAÏS A FERKESSEDUGOU
(en q/ha)

Traitements	Maïs 1967		Maïs 1968		Riz 1968	
	Daba	Labour	Daba	Labour	Daba	Labour
Pas de sous-solage	41,5	33,5	41,6	34,7	23,9	23,2
Ecartement Passage simple	41,7	37,5	40,9	47,8	26,7	19,4
50 cm Passage croisé	41,5	34,8	47,8	35,4	25,3	14,2
Ecartement Passage simple	39,8	42,0	44,4	48,6	24,6	20,9
100 cm Passage croisé	41,6	36,1	31,9	37,5	26,0	15,2

Ces effets sont, dans l'ensemble, peu importants. On remarque parfois un effet dépressif du labour sur sous-solage par rapport à la reprise à la daba, notamment sur riz pluvial*.

En résumé, les essais systématiques de sous-solage profond sont trop peu nombreux, dans la zone étudiée, pour qu'on puisse en tirer une loi d'action générale. D'après les quelques résultats présentés, s'il semble à peu près certain que le sous-solage puisse avoir une action favorable sur le sol et la végétation, il apparaît également que cette action peut être variable suivant les situations. La durée d'action peut différer notablement d'un sol à l'autre ; elle paraît assez éphémère dans la plupart des cas.

Cette technique onéreuse et nécessitant de puissants moyens de traction ne peut être, au stade actuel, envisagée que par des cas particuliers.

*
* *

E) LES AUTRES TRAVAUX DU SOL

En dehors de la préparation des terres en vue du semis, d'autres façons culturales peuvent contribuer à créer, conserver ou améliorer le profil cultural du sol. Ce sont essentiellement :

- les façons d'entretien,
- les travaux de récolte.

1) LES FAÇONS D'ENTRETIEN

Ce sont les sarclo-binages destinés, avant tout, à détruire les adventices et à protéger la culture contre la concurrence de l'herbe.

a) LES INSTRUMENTS

Ces travaux peuvent être réalisés avec deux types d'instruments (TOURTE, 1961 [93]) :

- les machines travaillant en tous sens : herbes sarcleuses à dents flexibles (« Weeder ») et houes rotatives (« rotary-hoes ») ;
- les machines travaillant en lignes : houes équipées de diverses pièces travaillantes (sarcleuse, bineuse, butteuse).

* Cet effet dépressif de la combinaison sous-solage-labour n'a pas été observé dans des essais identiques mis en place dans les stations de Man et Bouaké, situées en Côte-d'Ivoire, mais en dehors de notre zone d'étude.

Les appareils entrant dans la première catégorie sont utilisés aussitôt après le semis et détruisent les mauvaises herbes dès leur germination. Leur rôle dans la lutte contre l'herbe est très efficace, mais leur action sur le sol est pratiquement nulle, car leur travail est superficiel.

Les houes, équipées de pièces sarcleuses ou bineuses, peuvent travailler le sol à plus grande profondeur dans les interlignes des cultures. Trois ou quatre sarclo-binages sont indispensables au cours d'une saison, pour détruire les adventices. Les derniers binages doivent être réalisés manuellement, à cause du développement végétatif des cultures qui n'autorise plus le passage des machines.

b) SARCLAGE ET BINAGE

Dans l'effet bénéfique des façons d'entretien sur les cultures, il est difficile de faire la part du sarclage (destruction des adventices) et du binage (travail du sol). Le sarclage a naturellement un rôle primordial, mais on peut envisager de supprimer cette opération et de la remplacer par un désherbage chimique. L'étude des herbicides, particulièrement en cultures arachidière et rizicole, est en cours, mais on se heurte ici au problème économique, la rentabilité de tels traitements étant difficilement assurée au stade actuel de l'agriculture de ces pays.

Quant au binage, on est encore à s'interroger sur son utilité. Son action sur le sol est bien visible lorsqu'on observe les profils culturaux : le passage des dents bineuses laisse une trace nette à quelques centimètres de profondeur ; au-dessus, le sol est plus émiétté et moins compact. Cette action est présumée bénéfique parce qu'elle brise la croûte qui se forme à la surface du sol après toute pluie importante ; il se pourrait qu'il y ait alors réduction de l'évaporation en même temps qu'un accroissement de la perméabilité et une meilleure aération du sol en profondeur.

— La réduction de l'évaporation consécutive au binage n'a pas jusqu'à présent été prouvée, bien qu'elle soit assez probable.

— Un binage grossier n'affinant pas trop le sol peut améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et sa résistance à l'érosion pendant un temps limité, ainsi qu'on a pu l'observer sur cases d'érosion à Séfa.

La plupart des houes mécaniques réalisent ce binage grossier de façon plus ou moins satisfaisante en fonction du type de dent utilisée. Certaines dents de canadien creusent en réalité de véritables rigoles. Lorsqu'elles travaillent dans le sens de la pente, elles ont alors tendance à favoriser ruissellement et érosion. On s'oriente plutôt vers l'utilisation de dents plus larges découpant le sol superficiellement et réalisant ainsi un sarclage plutôt qu'un binage.

Certains modèles de houes manuelles (daba), dont l'angle formé par le manche et l'outil est peu ouvert, découpent le sol en lamelles et le pulvérisent : leur action est alors néfaste.

D'autres comme l'iler, utilisée en sol sableux, ne réalisent qu'un sarclage très superficiel.

— L'aération du sol en profondeur peut être favorable au développement racinaire, surtout lorsque le buttage est accompagné d'un épandage d'engrais dans la raie ; mais en sens inverse, on peut reprocher au binage, surtout lorsqu'il est tardif, de détruire un certain nombre de racines.

Dans un essai mis en place en 1966 à Nioro-du-Rip (Sénégal), on a essayé de dissocier l'action du sarclage de celle du binage profond sur une culture d'arachide. Bien qu'il n'y ait eu aucune différence de rendement entre les traitements, l'observation du profil cultural a permis de remarquer que si l'épaisseur travaillée variait de 3 cm à 4 cm sur le sarclage pur et de 5 cm à 10 cm sur le binage profond, dans tous les cas on ne trouvait pas de racines dans la zone travaillée. Les racines latérales n'étaient présentes qu'en dessous de la limite du passage des instruments, bien visible sur le profil.

Cette observation isolée demanderait à être confirmée par des profils culturaux et des mesures de densités racinaires effectuées systématiquement avant et après le passage des instruments.

NICOU, dans les essais « Conservation du profil » (70) conduits entre 1965 et 1968 à Bamby, a comparé, en particulier, l'action d'un entretien superficiel effectué avec des pattes d'oies travaillant à 3 cm à 4 cm de profondeur, à celle d'un entretien profond réalisé avec des dents sous-soleuses rigides type « Gouvy ». Les résultats obtenus sur les cultures de la rotation engrais vert-arachide-mil-arachide ont été les suivants :

TABLEAU IV-78
EFFETS COMPARÉS D'UN ENTRETIEN SUPERFICIEL ET D'UN ENTRETIEN PROFOND
SUR LES CULTURES DE LA ROTATION ENGRAIS VERT-ARACHIDE-MIL-ARACHIDE

Culture	Nombre d'années de résultats	Entretien superficiel	Entretien profond
Arachide ((kg/ha) ..	3	1.059	1.050
Mil (kg/ha)	2	1.160	1.140

Ces quelques données semblent donc montrer qu'en sol sableux sarclage et binage n'ont pas de répercussions différentes sur les rendements. Le problème demande cependant à être approfondi compte tenu des nouvelles cultures introduites dans les rotations (cotonnier, maïs, riz pluvial).

A Tarna (Niger), en 1968, NABOS et HUBERT DE FRAISSE (66), dans un essai « Façons préparatoires × Façons d'entretien », ont mis en évidence sur arachide un effet dépressif des façons d'entretien trop souvent répétées :

avec deux sarclages, on obtient 1.929 kg/ha ;
avec quatre sarclages, on obtient 1.812 kg/ha.

De plus, la répétition des sarclages atténue les effets du travail du sol (qui passe de + 14 % avec deux sarclages à + 6 % avec quatre sarclages) et de la fumure (qui passe de + 20 % à + 7 %).

Par contre, la même année, dans un autre essai « Façons d'entretien sur arachide », ils ne trouvent aucune différence entre 2, 4 et 6 binages effectués à la houe « Manga ».

En 1969, il y a équivalence entre un, deux et trois binages.

Ces résultats, obtenus en sol sableux et sous faible pluviométrie, mettent en évidence la nécessité de limiter le nombre des interventions.

Il est certain que sous une pluviométrie plus abondante, le problème paraît différent et serait à étudier. La concurrence de l'herbe devient en effet un des facteurs limitants principaux du rendement (problème du riz pluvial dans l'est et le sud du Sénégal).

c) LE BUTTAGE

Le buttage est aussi une opération d'entretien. Il peut être réalisé à la main au moment du binage en rejetant la terre de l'interligne au pied de la plante cultivée, ou à l'aide d'un corps butteur.

Sur cotonnier, le buttage est réalisé aux environs du quarantième jour, c'est-à-dire en début de floraison. Les résultats obtenus par l'IRCT montrent qu'il s'agit là d'une opération indispensable, bien que l'on n'explique pas complètement ses effets. On en est souvent réduit aux hypothèses.

effet sanitaire empêchant les pourritures à la base : ce serait le plus vraisemblable ;
meilleur emmagasinement de l'eau en fin de saison des pluies ; il est facilité par le cloisonnement des billons ;
arrêt de l'érosion, à condition que la pente soit faible et que le buttage soit fait dans le sens des courbes de niveau ;
contrôle des adventices supérieur à celui obtenu avec le sarclage à plat ;
verse évitée sur certaines variétés sensibles comme BJA.

Pour le maïs, on considère que c'est une opération intéressante mais non indispensable :

— c'est un moyen économique et rapide de lutte contre les mauvaises herbes ; le maïs a, en effet, une croissance végétative rapide qui ne permet pas de biner très longtemps en double interligne avec les instruments habituellement utilisés en culture attelée bovine pour le sorgho et le mil ; on ne peut donc intervenir que sur un seul interligne à la fois et le buttage assure un meilleur contrôle de l'herbe ;

— il permet de rehausser les plants et d'éviter la verse.

Un seul résultat a été obtenu par BIRIE-HABAS et THIROUIN en 1965, à Séfa (5) :

culture à plat : 2.830 kg/ha ;
buttage mécanique progressif : 3.018 kg/ha.

La différence, bien que non significative, note une certaine tendance en faveur du buttage, ce qui traduit bien les impressions précédentes.

2) LES TRAVAUX DE RECOLTE

La récolte des céréales et du niébé ne donne lieu à aucun travail du sol. Par contre, la récolte des gousses d'arachide nécessite un arrachage préalable. En culture manuelle on sectionne le pivot, à l'iler ou à la daba, à quelques centimètres au-dessous du « plateau » formé par l'ensemble des gousses et on retourne le pied. Le travail du sol est donc limité et localisé. En culture attelée, on passe sous la ligne d'arachides une lame souleveuse de 350 mm de large à 4 cm ou 5 cm de profondeur. Cette opération, effectuée le plus souvent en sol sec, nécessite une force de traction assez grande : 50 kg à 60 kg en sol

« dior », 80 kg à 100 kg en sol « dek » (LE MOIGNE, 1966) et exige donc la traction bovine. Après la récolte, les traces du passage de la lame souleveuse restent nettement visibles sur le profil cultural pendant toute la saison sèche. Sur 4 cm à 5 cm de profondeur, le sol est nettement plus meuble mais présente souvent un aspect hétérogène ; mélange de petites mottes, de terre pulvérulente et d'éclats à structure lamellaire. L'intérêt, pour le sol, de cette opération culturale paraît donc assez réduit.

La récolte de l'arachide est souvent suivie, en culture traditionnelle, d'un glanage pour ramasser les gousses restant en terre. Ce glanage produit une pulvérisation poussée du sol en surface qui favorise grandement le développement de l'érosion éolienne en saison sèche. Il est frappant, à cet égard, de comparer, un jour de grand vent, le comportement d'un champ ayant subi le glanage de l'arachide et celui d'un champ labouré en fin de saison des pluies (labour d'enfouissement ou labour de fin de cycle). Du premier champ s'élève un nuage de poussière, alors que les mottes du second résistent parfaitement à l'action érosive du vent. Cet exemple illustre très bien ce qui a été dit plus haut sur la distinction qu'il y a lieu de faire entre les notions de profondeur et d'intensité de travail du sol.

La destruction des billons consécutifs au buttage est une opération qui se situe après la récolte, c'est-à-dire en pleine saison sèche pour une culture à long cycle (cotonnier, sorghos actuels), en fin de saison des pluies pour une culture à court cycle (maïs).

Après une culture à long cycle, cotonnier par exemple, on élimine les résidus en les brûlant, puis l'éclatement s'effectue en passant deux fois par billon avec une lame souleveuse d'arachide de 200 ou 350. Compte tenu de l'état de sécheresse du sol, on obtient alors de très grosses mottes qu'il faut briser par passages répétés de « rotary hoe ». Le sol est alors, en général, suffisamment fractionné pour être labouré (ce travail préalable est indispensable pour le labour). Mais si l'on désire semer directement, il est préférable d'attendre une pluie parasite pour terminer la préparation et avoir un bon lit de semences.

L'ensemble nécessite environ 30 heures de travail par hectare pour une paire de bœufs.

La destruction des billons en sec représente donc un véritable travail du sol. Il n'existe pas, pour l'instant, de résultats d'essais comparant labour et simple destruction des billons. Quelques résultats isolés, obtenus en champ de pré vulgarisation sur des céréales suivant une culture de cotonnier, semblent indiquer que l'on est en présence d'une forme de travail d'autant plus intéressante qu'elle est réalisée pendant la saison sèche, à une époque où il y a peu de travaux dans les champs.

Son gros inconvénient est qu'elle nécessite une force de traction importante, qu'elle est pénible et épuisante pour les bœufs à une période de l'année où la nourriture devient peu abondante. Il est nécessaire de ne pas dépasser quatre heures de travail par jour pour une telle opération.

Les cultures à court cycle comme le maïs étant en général récoltées alors que le sol est encore humide, la destruction des billons est très rapide. Il y a deux possibilités :

sortir les résidus de récoltes pour les donner en nourriture au bétail ou en faire du fumier ;
on éclate ensuite les billons à la charrue et on laboure ;

laisser les pailles sur place et les enfouir directement par un labour ; dans ce cas, il faut effacer ensuite la trace des billons par deux passages croisés de canadien, pas trop profond pour éviter de ressortir les pailles.

Dans les deux cas, la destruction des billons aboutit à un labour de fin de cycle avec ou sans enfouissement de pailles.

*
* *

F) CONCLUSION

Comme dans les pays tempérés, le travail profond du sol se révèle être, dans les zones tropicales sèches, le moyen le plus efficace pour créer le profil cultural. Le contraste est donc frappant entre l'insuffisance des facteurs biologiques qui, tout en jouant un rôle important dans la conservation du profil et le maintien de la fertilité, ne sont pas capables seuls d'améliorer les propriétés physiques du sol (chap III), et l'efficacité des facteurs mécaniques, associés ou non aux facteurs biologiques, qui modifient complètement, de manière plus ou moins durable, les principales caractéristiques du profil cultural.

Les conséquences agronomiques et économiques sont très importantes puisque l'intervention de ces facteurs mécaniques favorise la croissance végétale et entraîne des augmentations de rendements sensibles sur la plupart des cultures.

Les labours constituent les modalités de travail profond du sol les plus efficaces et les plus généralisables. Ils ont des incidences multiples et complexes sur les propriétés du sol.

Celles qui paraissent jouer le rôle le plus important et le plus général sont celles qui ont trait aux modifications de structure et de porosité qualitative et quantitative. Ces caractéristiques influent directement sur l'enracinement des végétaux. Le labour entraîne donc, de ce seul fait, une amélioration du système racinaire des végétaux, avec tout ce que cela comporte pour leur alimentation hydrique et minérale et donc les rendements agricoles.

Parmi les labours, les labours d'enfouissement de matière végétale (pailles ou matière verte) se révèlent particulièrement intéressants, car à l'action du travail du sol proprement dite, s'ajoute, sur la structure, l'effet spécifique de la matière végétale enfouie. Leur action sur le sol et sur les rendements est d'ailleurs nettement plus durable que celle des labours ordinaires.

Leur rémanence d'action est très différente en fonction de la nature de la culture qui suit le labour d'enfouissement. Après une arachide, les modifications apportées au profil cultural et à la structure sont très atténuées. Après une céréale, au contraire, le profil cultural est mieux conservé et les effets sur les rendements peuvent se poursuivre pendant deux ou trois ans.

Or, dans les zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes, les labours d'engrais vert ou de jachère constituent bien souvent, du fait de la courte durée de l'hivernage, les seules modalités possibles de travail profond du sol au cours de la rotation culturale.

On voit donc l'importance que prend la succession culturale elle-même si l'on veut maintenir les effets bénéfiques le plus longtemps possible. On voit aussi l'intérêt qu'il y a à introduire, dans ces successions culturales, des cultures à court cycle permettant d'enfouir régulièrement les résidus de récolte.

Il nous reste maintenant à étudier l'influence de cette matière organique enfouie sur le bilan humique des sols et, par voie de conséquence, sur la nutrition minérale et azotée des cultures.

Bilan humique et rotations feront l'objet des prochains chapitres.

ANNEXES

TABLEAU IV-101
RENDEMENTS DES CULTURES SUR LES ESSAIS « MODES DE PRÉPARATION × DATES DE SEMIS »
(en kg/ha)
d'après NICOU (71)

Localisation	Culture	Année	Labour de fin de cycle		Labour de saison sèche		Labour de début hivernage		Témoin
			Semis		Semis		Semis		Semis
			Première date	Troisième date	Première date	Troisième date	Deuxième date	Troisième date	Première date
Nioro-du-Rip	Arachide (gousses)	1967	2.605	2.381	2.550	2.400	2.598	2.136	1.855
		1968	2.531	2.081	2.428	2.224	2.406	2.086	2.296
		1969	1.815	1.462	1.960	1.422	1.843	1.230	1.714
		Moyenne	2.257	1.974	2.312	1.883	2.282	1.817	2.086
	Sorgho (grains)	1967	4.142	3.243	4.006	3.437	3.903	3.820	2.378
		Moyenne	3.500	2.764	3.136	2.819	3.258	2.920	2.216
Sinthiou-Malème	Maïs (grains)	1967	2.596	1.710	2.333	1.997	2.085	1.801	654
		1968	2.225	3.887	1.131	3.902	1.925	4.220	1.322
		1969	4.314	4.710	4.510	2.042	4.957	4.156	4.116
		Moyenne	3.045	3.436	2.658	2.647	2.989	3.392	2.031
	Cotonnier (coton grain)	1967	2.886	2.500	3.313	2.504	2.846	2.539	1.940
		1968	2.022	1.502	1.500	1.258	1.984	1.898	1.594
		1969	2.041	1.741	1.809	1.697	2.010	2.069	1.395
		Moyenne	2.316	1.908	2.207	1.820	2.280	2.169	1.643

REMARQUES :

- 1) Les modalités de réalisation des traitements en 1967 ont été un peu différentes de celles des autres années.
Le témoin à Sinthiou a été labouré très superficiellement ainsi qu'il est de pratique courante dans cette région. Les semis sur les témoins ont été tardifs (troisième date) aussi bien à Sinthiou qu'à Nioro.
Les labours de fin de cycle et de saison sèche ont été semés à la deuxième date au lieu de la première.
- 2) Les rendements du sorgho à Nioro, en 1969, ne figurent pas dans ce tableau, en raison, probablement, de la succession trop rapprochée dans le temps des cultures de sorgho sur le même sol; ils sont anormalement faibles et non interprétables.

TABLEAU IV-102
COMPARAISON DES EFFETS DIRECTS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES,
DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTE ET DE PAILLES
d'après NICOU (69) et NICOU, THIROUIN (74)

Culture	Localisation Année	Grains gousses ou pailles	Rendements kg/ha après			Rendements indiciaires		Comparaison statistique	
			Témoin	Fumure verte	Enfouis- sement pailles	Fumure verte	Enfouis- sement pailles	1/2, 3	2/3
			1	2	3	2	3		
Arachide	Bambey « dior » — 1965	Gousses	1.711	1.567	1.158	91	68	0	+
		Pailles	2.368	2.393	2.782	101	118	0	0
	Bambey « dior » — 1966	Gousses	845	937	940	111	111	0	0
		Pailles	1.118	1.459	1.299	130	116	—	—
	Séfa — 1965	Gousses	2.755	2.471	2.886	90	105	0	0
		Gousses	3.177	3.000	3.060	95	97	0	0
Séfa — 1966	Gousses	5.051	5.170	5.992	102	118	—	—	
	Pailles								
Mil	Bambey « dior » — 1968	Grains	711	695	473	98	67	0	+
		Pailles	7.600	8.425	7.900	111	104	+	0
	Bambey — 1969	Grains	1.496	1.662	1.642	111	110	+	0
Sorgho	Bambey « dek » — 1968	Grains	481	516	415	107	86	—	—
		Pailles	7.200	8.275	7.400	115	103	—	—
	Sinthiou — 1967	Grains	1.441	2.048	2.147	142	149	+	+
		Pailles	6.826	11.481	13.715	168	205	—	—
Maïs	Séfa — 1967	Grains	709	2.298	2.002	324	284	+	+
		Grains	715	1.413	1.076	198	150	+	0
	Séfa — 1969	Grains	2.119	3.553	3.881	167	183	+	+
		Grains	2.177	3.414	2.258	157	104	+	+
	Sinthiou — 1969	Pailles	4.080	4.930	3.800	121	93	—	—
		Grains	3.714	4.854	4.703	131	127	+	+
Sinthiou — 1969	Pailles	3.700	4.725	5.200	128	141	+	0	

REMARQUE (valable également pour les tableaux IV-103 et IV-104) :

Le traitement « fumure verte » (n° 2) correspond à la moyenne des quatre traitements de jachère enfouie et engrais vert mentionnés plus haut. Les rendements indiciaires ont été calculés en prenant la base 100 pour le témoin jachère brûlée. On a comparé statistiquement (contrastes orthogonaux) le traitement, d'une part aux traitements 2 et 3, d'autre part, pour tester l'influence globale des labours d'enfouissement; on a ensuite comparé l'enfouissement des pailles à la moyenne des enfouissements de fumure verte (comparaison 2/3). L'interprétation statistique n'a pas été faite pour tous les essais.

TABLEAU IV-103

COMPARAISON DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTÉ ET DE PAILLES
DANS LEURS EFFETS RÉSIDUELS DE PREMIÈRE ANNÉE SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES
d'après NICOU (69) et NICOU, THIROUIN (74)

Culture	Précédent cultural	Locali- sation	Année	Grains, gousses ou pailles	Rendements kg/ha après			Rendements indiciaires		Comparaison statistique	
					Témoin 1	Fumure verte 2	Enfouis- sement pailles 3	Fumure verte 2	Pailles 3	1/2, 3	2/3
Mil	Arachide	Bambey « dior » Séfa (1) Séfa (1)	1966	Grains	995	1.406	1.260	141	127	+	0
			1967	Grains	751	858	816	104	109	0	0
			1966	Grains	1.987	1.982	2.132	100	107	0	0
			1967	Grains	2.375	2.563	2.599	108	109	—	—
Arachide	Mil		1969	Gousses	1.558	1.872	1.925	121	124	+	0
				Pailles	2.827	3.265	3.328	115	118	0	0
Sorgho	Sorgho	Sinthiou	1968	Grains	1.618	2.369	2.141	146	133	+	+
				Pailles	5.600	7.950	6.200	142	111	—	—
Mil	Maïs	Séfa (1) Séfa	1969	Grains	2.030	2.206	1.781	109	88	0	+
				Grains	2.012	2.218	2.337	110	116	—	—
Sorgho	Maïs	Sinthiou	1969	Grains	2.325	2.935	2.839	126	122	+	+
				Pailles	8.900	11.925	12.500	134	141	+	+

TABLEAU IV-104

COMPARAISON DES LABOURS D'ENFOUISSEMENT DE MATIÈRE VERTÉ ET DE PAILLES
DANS LEURS EFFETS RÉSIDUELS DE DEUXIÈME ANNÉE SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE
d'après NICOU (69) et NICOU, THIROUIN (74)

Précédents cultureux	Localisation	Année	Grains, gousses ou pailles	Rendements kg/ha après			Rendements indiciaires		Comparaison statistique	
				Témoin 1	Fumure verte 2	Enfouis- sement 3	Fumure verte 2	Pailles 3	1/2, 3	2/3
Arachide	Bambey « dior » (2)	1967	Gousses	1.194	886	1.237	74	103	—	—
			Pailles	1.562	1.331	1.807	85	115	—	—
	Bambey « dior »	1968	Gousses	987	1.016	872	103	88	0	0
			Pailles	2.577	2.676	2.160	104	84	0	+
Mil	Séfa (3)	1967	Gousses	1.772	1.878	1.875	106	106	0	0
			Pailles	3.385	3.812	3.503	112	104	0	0
	Séfa (3)	1968	Gousses	2.226	2.327	2.303	104	103	0	0
			Pailles	4.123	4.377	3.938	106	96	0	+
		1969	Gousses	2.489	2.646	2.745	106	110	+	0
			Pailles	3.380	3.471	3.378	103	100	0	0
		1969	Gousses	1.511	1.911	1.834	126	121	+	+
			Pailles	2.447	2.649	2.562	108	105	0	0

(1) Labour de préparation sur mil sur tous les traitements sauf le témoin.

(2) Maladie physiologique de l'arachide en 1967. Résultats ininterprétables.

(3) Labour de préparation avant la culture de mil sur tous les traitements sauf le témoin.

TABLEAU IV-104 bis
 INFLUENCES COMPARÉES DE L'ENGRAIS VERT LÉGUMINEUSES ET D'AUTRES FORMES DE FUMURE VERTE
 SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES SUIVANTES

Localisation essai	Sole de régénération		Première culture			Deuxième culture			Troisième culture		
	Année	Nature de la plante engrais vert	Nature et année	Rendements		Nature et année	Rendements		Nature et année	Rendements	
				Kg/ha	Indi- ciaires		Kg/ha	Indi- ciaires		Kg/ha	Indi- ciaires
BAMBEY (1) (Sénégal) Essai « Jachère Engrais vert » Sol « dior »	1955	Jachère brûlée Jachère enfouie Crotalaire Mil	Arachide 1956	1.888 1.979 2.181 2.229	100 105 116 118	Mil 1957	862 830 909 840	100 96 105 97	Arachide 1958	1.838 1.837 1.718 1.896	100 102 93 103
	1955- 1956	Jachère brûlée Jachère enfouie Crotalaire (<i>Cajanus mutina</i>) Mil	Arachide 1958	2.117 1.913 1.792 1.966	100 88 82 90						
SARIA (2) (Haute-Volta) Essai d'engrais vert	1950- 1956	Jachère brûlée Mil ou sorgho <i>Cajanus indicus</i> Crotalaire	Arachide 1951-1956	623 674 699 715	100 108 112 115	Mil 1951- 1957	510 527 558 472	100 103 110 93			
SÉFA (3) (Sénégal) Essai « Jachère Engrais vert »	1955	Jachère brûlée Jachère mulchée Sorgho <i>Crotalaria juncea</i>	Arachide 1956	2.325 2.565 2.690 2.460	100 110 116 106	Riz 1957	1.490 1.535 1.465 1.475	100 103 98 99	Arachide 1958	2.965 2.810 3.070+ 3.030+	100 95 10 ++ 102 +
	1955- 1957	Jachère brûlée Jachère mulchée Sorgho <i>Crotalaria juncea</i>	Arachide 1958	3.425 3.220 3.235 3.120	100 94 94 91	Riz 1959	1.165 1.305 1.580+ 1.750+	100 112 136+ 150+	Arachide 1960	2.525 2.280 2.530 2.495	100 90 100 99
FARAKO BA (4) (Haute-Volta) Essai Régénération	1964	Jachère enfouie <i>Stylosanthes gracilis</i> + <i>Stylosanthes erecta</i> <i>Crotalaria juncea</i>	Sorgho 1965	1.502 1709 2.101+	100 113 140+						

(1) Comparaison à la dose d 2 d'engrais (300 kg/ha).

(2) Pas d'apport d'engrais sur cet essai; labours de préparation effectués tous les ans sur les cultures.

(3) Comparaison à la dose simple d'engrais pour le riz (150 kg/ha) et à la dose double pour l'arachide (300 kg/ha).

(4) Comparaison en présence de la fumure de redressement.

TABLEAU IV-105

INFLUENCES COMPARÉES DE LA JACHÈRE ENFOUÏE ET DU MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE LA CULTURE-TEST SUCCÉDANT A LA SOLE DE RÉGÉNÉRATION

Nature de la Culture-test	Localisation Sol Pluviométrie	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec		Nombre de résultats annuels		Rendements après (kg/ha)		Indice engrais vert	Comparaison statistique	Source
				Jachère enfouïe	Engrais vert	To-taux	Positifs	Jachère enfouïe	Mil ou sorgho E. vert			
Arachide	Bambey Sol « dior » 650 mm	Eng. vert LA n° 3 (1)	1954	1	1	1	1	1.059	1.210	114	+	(41)
		Rég. × traitements	1960	1	1	1	1	2.597	2.728	105	0	(98)
		Rég. × traitements	1964	1	1	1	0	2.093	1.687	81	++	(68)
		Eng. vert « dior » (2)	1961	1	1	1	0	1.398	1.382	99	0	(39)
		Jachère engrais vert	1956	1	1	1	1	1.979	2.229	113	0	(37)
		Jachère engrais vert	1958	1	1	1	1	1.913	1.966	103	0	(37)
		Rég. profil « dior »	1965	2	2	1	0	1.602	1.532	95	0	(69)
		Rég. profil « dior »	1956	2	2	1	0	989	880	89	0	(69)
	Bambey, sol « dek », 650 mm	Engrais vert LA n° 1	1955	1	2	1	1	1.400	1.475	105	0	(41)
		Régén. profil « dek »	1965	2	2	1	0	1.443	1.202	83	—	(69)
	Thiénaba Sol « dior » 600 mm	Régénération	1966	1	1	1	1	905	1.095	121	0	(80)
		Régénération	1966	1	1	1	1	1.110	1.199	108	0	(80)
		Structure humus	1963	1	1	1	1	1.355	1.676	124	0	(81)
		Structure humus	1967	1	1	1	1	1.023	1.136	111	0	(81)
		Structure humus	1968	1	1	1	0	750	618	82	—	(81)
	Tarna, Niger sol dunaire 600 mm	Formes de jachère	1966	2	1	1	1	1.782	1.814	102	0	(42)
		Nature engrais vert et date enfouissement (3)	1965	2	3	1	1	2.506	2.626	105	0	(63)
	Boulet FTL sur grès du CT 700 mm	Structure humus	1962	1	1	1	1	1.556	1.661	107	0	(81)
Structure humus		1966-69	1	1	4	2	1.790	1.800	100	0	(81)	
Régén. × phosph. (4)		1966-69	1	1	4	2	1.825	1.810	99	0	(63)	
Doses phosph. × S (5)		1966-69	1	1	4	1	1.874	1.858	99	0	(84)	
Sinthiou 1.000 mm	P 54 (6)	1959	1	1	1	1	1.600	1.658	103	0	(95)	
Séfa FTL sur grès du CT 1.300 mm	Jachère - Engrais vert	1956	1	1	1	1	2.505	2.640	105	0	(101)	
	Jachère - Engrais vert	1958	1	1	1	0	3.135	3.075	98	0	(101)	
	Régénération profil	1965	2	2	1	1	2.447	2.494	102	0	(74)	
	Régénération profil	1966	2	2	1	1	2.996	3.005	100	0	(74)	
Mil	Louga 450 mm	Régénération profil	1968	2	2	1	1	493	550	112	0	(69)
		Régénération profil	1969	2	2	1	1	1.644	1.737	106	0	(69)
Mil	Bambey « dior »	Régénération profil	1968	2	2	1	0	706	682	97	0	(69)
		Régénération profil	1969	2	2	1	1	1.597	1.727	108	0	(69)
Sorgho	Bambey Sinthiou 1.000 mm	Régén. profil « dek »	1968	2	2	1	0	629	403	64	—	(69)
		Régénération profil	1967	2	2	1	0	2.173	1.921	88	0	(69)
Sorgho	Sinthiou 1.000 mm	Régénération profil	1968	2	2	1	0	4.002	2.825	71	+	(69)
		Régénération profil	1969	2	2	1	0	5.000	4.708	94	0	(69)
Maïs	Séfa 1.300 mm	Régénération profil	1967	2	2	1	1	2.034	2.564	126	++	(74)
		Régénération profil	1968	2	2	1	0	1.437	1.389	97	0	(74)
		Régénération profil	1969	2	2	1	1	3.099	4.006	129	0	(74)

(1) Rendements moyens avec et sans engrais.

(2) Résultats sans apport d'engrais.

(3) Moyenne des dates d'enfouissement.

(4) Comparaison entre traitements 6 et 10 (apport de phosphate naturel à l'enfouissement).

(5) Comparaison entre traitements 9 et 18 (1.200 kg de tricalcique et 25 kg de S).

(6) La comparaison porte sur la moyenne des traitements d 2 C 1 + d 2 C 2.

(7) Comparaison à la dose simple d'engrais minéral.

TABLEAU IV-106
EFFETS RÉSIDUELS COMPARÉS DE LA JACHÈRE ENFOUÏE ET DU MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE LA DEUXIÈME CULTURE DE LA ROTATION

Nature de la culture	Précédent cultural	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec		Nombre de résultats annuels		Rendements kg/ha après		Indice engrais vert	Comparaison statistique	Source
					Jachère enfouïe	Engrais vert	Totaux	Positifs	Jachère enfouïe	Mil ou sorgho EV			
Mil	Arachide	Bambey	Régén. × traitements	1961	1	1	1	1	1.809	1.974	109	0	(98)
			Régén. × traitements	1965	1	1	1	0	1.160	808	70	+	(68)
			EV « dior » (1)	1962	1	1	1	0	709	684	97	0	(39)
			Jachère - Engrais vert	1957	1	1	1	1	830	840	101	0	(37)
			Régén. profil « dior »	1966	2	2	1	0	1.508	130	87	0	(69)
			Régén. profil « dior »	1967	2	2	1	1	825	891	108	0	(69)
		Thiénaba	Régénération	1967	1	1	1	0	674	571	85	0	(80)
	Régénération	1967	1	1	1	1	688	778	113	0	(80)		
	Structure - Humus	1968	1	1	1	1	1.429	1.529	107	—	(81)		
	Structure - Humus	1969	1	1	1	0	844	639	76	—	(81)		
	Tarna	Nature EV et dates d'enfouissement (2)	1966	2	3	1	1	1.062	1.206	114	0	(63)	
	Boulel	Structure - Humus	1963	1	1	1	1	1.448	1.674	116	0	(81)	
Sinthiou	P 54 (3) P 54 (3)	1956	1	1	1	1	774	856	111	0	(95)		
		1960	1	1	1	1	1.028	1.114	108	0	(95)		
Séfa	Régénération profil Régénération profil	1966	2	2	1	0	2.017	1.948	97	0	(74)		
		1969	2	2	1	1	2.542	2.584	102	0	(74)		
Mais	Séfa	Régénération profil	1968	2	2	1	0	2.321	2.091	90	+ +	(74)	
		Régénération profil	1969	2	2	1	1	2.170	2.266	104	0	(74)	
Sorgho	Arachide	Bambey « dek »	Eng. vert LA n° 1	1956	1	2	1	1	768	777	101	0	(41)
			Régén. profil « dek »	1966	2	2	1	0	2.189	1.365	60	—	(69)
	Boulel	Structure - Humus Régén. × phosph. (4) Doses phosph. × S. (5)	1967-69	1	1	3	0	1.883	1.494	79	—	(81)	
			1967-69	1	1	3	1	2.122	1.961	92	—	(83)	
			1967-69	1	1	3	2	2.219	2.398	108	—	(84)	
Sorgho	Sinthiou	Régénération profil	1968	2	2	1	1	2.217	2.520	114	0	(69)	
Mais	Sinthiou	Régénération profil	1969	2	2	1	0	2.987	2.883	97	0	(69)	
Riz	Arachide	Séfa	Jachère - Engrais vert (6)	1957	1	1	1	0	1.535	1.465	96	0	(101)
			Jachère - Engrais vert (6)	1959	1	1	1	1	1.305	1.580	121	0	(101)
Arachide	Mil	Louga	Régénération profil	1969	2	2	1	1	1.518	1.586	104	0	(69)
		Bambey	Régén. profil « dior »	1969	2	2	1	1	1.850	1.899	183	0	(69)

(1) Rendements moyens avec et sans engrais.

(2) Moyennes des dates d'enfouissement.

(3) La comparaison porte sur la moyenne des traitements d 2 C 1 + d 2 C 2.

(4) Comparaison entre traitements 6 et 10 (apport de phosphate naturel à l'enfouissement).

(5) Comparaison entre traitements 9 et 18 (1.200 kg de tricalcique et 25 kg de S).

(6) Comparaison à la dose simple d'engrais minéral.

TABLEAU IV-107
EFFETS RÉSIDUELS COMPARÉS DE LA JACHÈRE ENFOUIE ET DU MIL OU SORGHO ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE EN TANT QUE TROISIÈME CULTURE DE LA ROTATION

Première culture	Deuxième culture	Localisation	Désignation de l'essai	Années de comparaison	Nombre de rotations comparées avec		Nombre de résultats annuels		Rendements kg/ha après		Indice engrais vert	Comparaison statistique	Source
					Jachère enfouie	Engrais vert	Taux	Favorables à EV	Jachère enfouie	Mil ou sorgho engrais vert			
Arachide	Mil	Bambey « dior »	Régén. × traitement Jachère - Engrais vert	1962	1	1	1	1	1.884	2.018	107	0	(98)
			Régén. profil « dior »	1958	1	1	1	1	1.877	1.896	101	0	(37)
			Régén. profil « dior »	1967	2	2	1	0	963	809	84	0	(69)
			Régén. profil « dior »	1968	2	2	1	0	1.040	992	95	0	(69)
		Thiénaba	Structure - Humus	1965	1	1	1	0	583	563	97	0	(81)
		Thiénaba	Structure - Humus	1969	1	1	1	1	1.589	1.813	114	—	(81)
	Boulel	Structure - Humus	1964	1	1	1	1	2.002	2.062	103	0	(81)	
	Sinthiou	P 54 (1)	1957	1	1	1	1	2.380	2.390	100	0	(95)	
	Sinthiou	P 54 (1)	1961	1	1	1	0	2.219	2.157	97	0	(95)	
	Séfa	Régénération profil	1967	2	2	1	1	1.848	1.907	103	0	(74)	
	Séfa	Régénération profil	1968	2	2	1	1	2.322	2.332	100	0	(74)	
	Sorgho	Bambey	Régén. profil « dek »	1967	2	2	1	0	1.101	1.045	95	0	(69)
	Sorgho	Boulel	Structure - Humus	1968-69	1	1	2	2	1.395	1.427	102	—	(81)
Régén. phosphates (2)			1968-69	1	1	2	0	1.907	1.332	70	—	(83)	
Doses phos. × soufre (3)			1968-69	1	1	2	0	1.337	1.278	96	—	(84)	
Riz	Séfa	Jachère - Engrais vert (4)	1958	1	1	1	1	2.815	3.045	108	0	(101)	
Riz	Séfa	Jachère - Engrais vert (4)	1960	1	1	1	1	2.375	2.465	104	0	(101)	
Maïs	Mil	Séfa	Régénération profil	1969	2	2	1	0	1.973	1.849	94	0	(74)
Sorgho	Sorgho	Sinthiou	Régénération profil	1969	2	2	1	1	2.642	2.650	100	0	(69)

- (1) La comparaison porte sur la moyenne des traitements d 2 C 1 + d 2 C 2.
- (2) Comparaison entre traitements 6 et 10 (apport de phosphate naturel à l'enfouissement).
- (3) Comparaison entre traitements 9 et 18 (1.200 kg de phosphate tricalcique et 25 kg de S).
- (4) Comparaison à la dose simple d'engrais minéral.

TABLEAU IV-108
COMPARAISON DE LABOURS AVEC DIVERS ENFOUISSEMENTS DE MATIÈRE VERTE
DANS LES ESSAIS « STRUCTURE-HUMUS » DE THIÉNABA ET BOULEL (81)
ET L'ESSAI « COUVERTURE-JACHÈRE-ENGRAIS VERT » DE DAROU (46)

Position de la culture	Localisation	Nature de la culture	Année	Engrais	Grains ou gousses (kg/ha)					Pailles (kg/ha)				
					Labours avec					Labours avec				
					sol nu	apport de MV	racines	plante entière	plante entière + MV	sol nu	apport de MV	racines	plante entière	plante entière + MV
Première culture	Thiénaba	Arachide	1963	Non	1.283	1.400	1.720	1.843	1.850	1.280	1.550	1.440	2.050	1.910
			1963	Oui	1.347	1.290	1.728	1.676	1.389	1.440	1.950	2.220	2.530	
			1967	Oui	488	892	844	1.136	780	2.656	2.559	2.047	2.802	2.924
			1968	Oui	415	375	434	619	536	1.852	2.062	1.418	2.281	2.510
			1969	Oui	1.219	1.370	1.540	1.818	1.701	590	702	887	1.214	1.272
	Boulel	Arachide	1962	Non	1.447	1.558	1.531	1.571	1.607	—	—	—	—	—
			1962	Oui	1.355	1.476	1.546	1.661	1.506	—	—	—	—	—
			1966	Oui	2.224	2.452	2.210	2.319	2.450	2.985	3.362	3.077	3.167	3.651
			1967	Oui	1.023	1.110	1.102	1.448	1.379	1.845	1.889	1.694	1.667	1.891
			1968	Oui	1.909	2.030	1.977	1.855	1.960	1.605	2.085	1.701	2.059	2.993
	1969	Oui	1.231	1.194	1.700	1.578	1.481	2.504	3.089	1.913	2.681	4.039		
	Darou	Arachide	1961	Non	2.290	2.160	1.890	2.120	—	1.480	1.280	1.190	1.320	—
1965			Non	2.240	1.950	2.135	2.330	—	1.565	1.380	1.425	1.520	—	
1965			Oui	2.870	2.805	2.940	3.180	—	2.185	2.030	1.960	2.185	—	
Deuxième culture	Thiénaba	Mil	1964	Non	—	—	—	—	—	500	444	540	1.193	510
			1964	Oui	—	—	—	—	—	2.242	2.266	2.422	2.435	2.326
			1968	Oui	1.129	1.205	1.305	1.529	1.664	—	—	—	—	—
			1969	Oui	798	897	506	639	755	2.469	2.116	1.588	2.029	1.411
	Boulel	Mil	1963	Non	1.039	1.095	1.044	995	1.221	5.300	5.800	4.900	5.100	5.900
			1963	Oui	1.557	1.665	1.474	1.674	1.716	9.200	9.000	8.900	9.300	9.500
		Sorgho	1967	Oui	1.359	1.726	2.298	1.141	1.941	4.748	6.069	4.202	4.678	5.883
	Darou	Arachide	1968	Oui	1.717	2.075	2.122	1.963	2.241	7.348	9.057	7.172	7.059	8.562
			1969	Oui	1.168	1.714	2.280	1.378	1.756	6.023	7.610	6.303	5.976	7.564
		Sorgho	1962	Non	1.150	1.190	1.100	1.240	—	820	930	770	840	—
1966	Oui	415	470	310	460	—	—	—	—	—	—	—		
Troisième culture	Thiénaba	Arachide	1965	Non	844	835	1.114	1.163	1.101	930	1.512	1.292	1.597	1.412
			1965	Oui	650	442	567	563	406	1.755	1.717	2.293	2.278	2.156
			1969	Oui	1.131	1.058	1.165	1.813	1.453	663	568	668	478	697
	Boulel	Arachide	1964	Non	1.387	1.464	1.466	1.508	1.566	1.193	1.263	1.256	1.313	1.389
			1964	Oui	1.882	2.090	2.020	2.062	2.115	1.673	1.844	1.844	1.881	1.875
1968	Oui	1.504	1.494	1.584	1.555	1.711	917	1.652	1.159	1.182	1.191			
1969	Oui	878	1.1140	1.109	1.298	1.176	810	1.055	1.219	1.072	1.079			

TABLEAU IV-109

COMPARAISON ENTRE UN LABOUR AVEC RACINES SEULES (ENGRAIS VERT COUPÉ, EXPORTÉ)
ET UN LABOUR D'ENGRAIS VERT NORMAL DANS DEUX ESSAIS IMPLANTÉS A BOULEL.
d'après POULAIN et MARA (83, 84)

Nature et position de la culture	Essai	Années	Grains ou gousses (kg/ha)		Pailles (kg/ha)		
			Labour avec racines seules	Labour avec plante entière	Labour avec racines seules	Labour avec plante entière	
Première culture : Arachide	Régénération × Phosphates	1966	1.871	1.926	3.191	3.232	
		1967	1.643	1.594	1.894	1.758	
		1968	1.978	1.932	1.886	1.674	
		1969	1.807	1.935	2.133	2.524	
	Doses P × S	1966	1.857	1.843	3.465	3.376	
		1967	1.245	1.247	1.785	1.868	
		1968	2.176	2.160	3.348	3.264	
		1969	1.946	2.003	2.563	2.491	
Deuxième culture : Sorgho	Régénération × Phosphates	1967	2.487	2.102	6.447	6.398	
		1968	1.846	1.711	6.668	6.455	
		1969	1.877	1.621	6.414	6.669	
	Doses P × S	1967	2.539	2.604	6.550	6.763	
		1968	2.259	2.113	9.235	8.502	
		1969	1.909	2.096	6.601	7.572	
	Troisième culture : Arachide	Régénération × Phosphates	1968	1.721	1.743	1.458	1.551
			1969	925	888	903	866
Doses P × S		1968	1.562	1.526	1.188	1.299	
		1969	1.128	1.062	934	911	

REMARQUES :

Le traitement « Labour avec racines seules » correspond à la moyenne des traitements :
13 à 15 pour l'essai « Régénération × Phosphates »,
19 à 27 pour l'essai « Doses Phosphore × Soufre ».

Le traitement « Labour avec plante entière » correspond à la moyenne des traitements :
9 à 11 pour l'essai « Régénération × Phosphates »,
10 à 18 pour l'essai « Doses Phosphore × Soufre ».

TABLEAU IV-110

COMPARAISON DES TONNAGES A L'HECTARE DE MATIÈRE VERTE
OBTENUS SUR JACHÈRE ET ENGRAIS VERT AYANT ÉTÉ FAUCHÉS OU NON EN AOÛT

Localisation	Année	Jachère				Mil engrais vert			
		fauchée			Normale	fauché			Normal
		Fauche	Repousses enfouies	Total		Fauche	Repousses enfouies	Total	
Louga	1967	3,3	7,3	10,6	12,7	—	—	—	28,2
	1968	—	1,4	—	1,9	—	—	—	5,7
	1969	—	13,8	—	14,9	—	—	—	28,2
Bambey « dior »	1964	15,7	—	—	—	9,7	—	—	14,0
	1965	8,7	6,2	14,9	8,9	—	—	—	—
	1967	11,4	6,0	17,4	12,5	10,0	5,5	15,5	21,7
	1968	—	10,1	—	14,3	3,6	7,2	10,8	15,7
	1969	12,8	6,1	18,9	15,3	8,8	7,5	16,3	13,1
Bambey « dek »	1964	4,9	—	—	—	3,9	—	—	16,6
	1967	12,1	17,7	29,8	10,2	8,5	4,6	13,1	16,1
	1968	—	4,9	—	8,8	1,5	8,8	10,3	14,3
Sinthiou-Malème	1966	8,3	7,0	15,3	28,3	5,1	13,3	18,4	20,8
	1967	13,9	6,3	20,2	—	21,3	7,6	28,9	—
	1968	8,8	10,6	19,4	—	15,2	0,6	15,8	—
	1969	26,2	—	—	—	16,3	—	—	—
Séfa	1964	19,8	—	—	—	41,2	—	—	—
	1965	35,3	—	—	—	34,7	—	—	—
	1966	—	14,7	—	33,9	—	19,2	—	59,5
	1967	8,8	18,3	27,1	47,0	9,2	19,6	28,8	60,2
	1968	12,2	10,4	22,6	16,6	19,1	13,6	30,4	30,8
	1969	16,8	7,2	24,0	19,2	27,6	6,8	34,4	41,1

TABLEAU IV-111
 INFLUENCE DE LA FAUCHE DU MOIS D'AOÛT
 SUR LA DENSITÉ D'OCCUPATION RACINAIRE (g/dm³) DES JACHÈRES ET ENGRAIS VERTS
 MESURES EFFECTUÉES FIN SEPTEMBRE
 d'après NICOU et THIROUIN (75)

Localisation	Année	Horizon prélevé (cm)	Jachère			Mil engrais vert		
			Non fauchée	Fauchée exportée	Fauchée mulchée	Non fauché	Fauché, mulché ou exporté	
Bambey « dior »	1967	0-10	1,127 + +		0,567	1,616	1,634	
		10-20	0,381		0,271	0,434	0,326	
		20-30	0,138		0,113	0,110	0,069	
		0-30	0,548		0,337	0,719	0,676	
	1968	0-10	0,769 +		0,515			
		10-20	0,282		0,235			
20-30		0,118		0,099				
0-30		0,369		0,282				
Sinthiou-Malème	1967	0-10	1,054 + +	0,644	0,514			
		10-20	0,366 +	0,234	0,201			
		20-30	0,213 +	0,118	0,088			
		0-30	0,544	0,332	0,267			
Séfa	1967	0-10	3,412		2,781	3,956	2,381	
		10-20	1,640		1,141	1,594	1,251	
		20-30	0,110		0,150	0,198	0,154	
		0-30	1,721		1,024	1,916	1,261	
			0-10	1,631		1,214		
			10-20	0,568		0,549		
			20-30	1,199		0,137		
			0-30	1,133		0,633		

REMARQUE :

Pour le mil engrais vert, les mesures mentionnées dans le tableau proviennent des prélèvements effectués parallèlement à la ligne.

TABLEAU IV-112
 INFLUENCE DE LA FAUCHE EN AOÛT DE LA JACHÈRE ET DE L'ENGRAIS VERT
 SUR LES RENDEMENTS DE LA PREMIÈRE CULTURE DE LA ROTATION
 APRÈS LABOUR D'ENFOUISSEMENT

Nature de la première culture	Localisation	Années	Grains ou gosses (kg/ha)				Pailles (kg/ha)			
			Après engrais vert		Après jachère		Après engrais vert		Après jachère	
			Normal	Fauché	Normale	Fauchée	Normal	Fauché	Normale	Fauchée
Arachide	Bambey « dior »	1965	1.543	1.520	1.510	1.694	2.372	2.182	2.462	2.555
		1966	890	879	1.024	955	1.293	1.471	1.451	1.620
	Bambey « dek »	1965	1.202	1.041	1.443	1.446	2.280	2.121	2.816	2.503
	Séfa	1965	2.493	2.495	2.534	2.360	—	—	—	—
Mil	Louga	1968	560	—	493	550	7.800	—	7.800	8.200
		1969	1.631	—	1.644	1.737	—	—	—	—
	Bambey	1968	616	749	701	712	8.600	8.200	8.600	8.300
		1969	1.626	1.827	1.651	1.543	—	—	—	—
Sorgho	Sinthiou M.	1967	1.967	1.934	1.909	2.266	2.081	11.060	10.420	12.300
Maïs	Sinthiou M.	1968	2.691	2.960	4.151	3.854	4.140	3.970	4.590	4.860
		1969	4.650	4.765	4.975	5.024	4.500	4.800	4.400	5.200
	Séfa	1967	2.673	2.454	1.898	2.169	—	—	—	—
		1968	1.457	1.320	1.522	1.352	—	—	—	—
1969		3.898	4.114 + +	2.823	3.375	—	—	—	—	

REMARQUES (valables également pour les tableaux IV-113 et IV-114) :

Les résultats sur engrais vert et jachère fauchés concernent aussi bien les traitements avec exportation des produits de la fauche que ceux avec mulching.

A Louga, on a pris pour la jachère « normale » la moyenne des traitements 2 et 3; pour la jachère « fauchée », la moyenne des traitements 4 et 5.

TABLEAU IV-113

INFLUENCE DE LA FAUCHE EN AOÛT DE LA JACHÈRE ET DE L'ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE LA DEUXIÈME CULTURE DE LA ROTATION

Nature de la deuxième culture	Précédent cultural	Localisation	Années	Grains ou gousses (kg/ha)				Pailles (kg/ha)			
				Après EV		Après jachère		Après EV		Après jachère	
				Norm.	Fauché	Norm.	Fauchée	Norm.	Fauché	Norm.	Fauchée
Mil	Arachide	Bambey « dior »	1966	1.052	1.554+	1.576	1.440	—	—	—	—
			1967	884	898	870	781	—	—	—	—
			1969	1.835	1.952	1.756	1.944	3.383	3.635	2.946	3.096
		Séfa	1966	1.942	1.953	2.063	1.971	—	—	—	—
			1967	2.669	2.499	2.543	2.541	—	—	—	—
		Maïs	Séfa	1968	2.118	2.064	2.420+	2.222	—	—	—
1969				2.212	2.319	2.176	2.164	—	—	—	—
Sorgho	Arachide	Bambey « dek »	1966	1.378	1.352	2.341	2.037				
	Sorgho	Sinthiou-Malème	1968	2.575	2.465	2.276	2.158	10.000	7.500	8.300	6.000
	Maïs	Sinthiou-Malème	1969	2.620	3.145+	3.016	2.957	11.500	12.300	12.000	11.900
Arachide	Mil	Louga	1969	1.778	—	1.518	1.586	2.758	—	2.277	2.304
		Bambey « dior »	1968	1.007	976	1.075	1.004	2.700	2.685	2.950	2.367
			1969	1.835	1.952	1.756	1.944	3.383	3.635	2.946	3.096

TABLEAU IV-114

INFLUENCE DE LA FAUCHE EN AOÛT DE LA JACHÈRE ET DE L'ENGRAIS VERT
SUR LES RENDEMENTS DE TROISIÈME CULTURE DE LA ROTATION : L'ARACHIDE

Succession culturale avant arachide	Localisation	Années	Gousses (kg/ha)				Pailles (kg/ha)			
			Après engrais vert		Après jachère		Après engrais vert		Après jachère	
			Normal	Fauché	Normale	Fauchée	Normal	Fauché	Normale	Fauchée
Mil-arachide	Bambey « dior »	1967	651	966	969	956	1.027	1.413	1.452	1.431
		1968	1.007	976	1.075	1.004	2.700	2.685	2.950 +	2.367
	Séfa	1967	1.923	1.891	1.891	1.605	3.857	3.646	3.812	3.931
		1968	2.369	2.295	2.289	2.354	4.235	4.386	4.533	4.354
Maïs-Mil	Séfa	1969	1.912	1.786	2.041	1.904	2.612	2.446	2.796	2.743
Arachide-sorgho	Bambey « dek »	1967	1.183	906	1.209	993	1.740	1.247	1.795	1.237
Sorgho-sorgho	Sinthiou-Malème	1969	2.638	2.661	2.623	2.660	3.777	3.331	3.448	3.329

TABLEAU IV-115
INTERACTIONS ENTRE LABOURS ET FUMURE MINÉRALE SUR DIFFÉRENTES CULTURES

Nature	Localisation	Désignation de l'essai	Année	Rendements sans fumure (kg/ha)		Effet fumure légère (kg/ha)			Effet fumure forte (kg/ha)			Source
				Témoin	Labour	Témoin	Labour	Inter-action	Témoin	Labour	Inter-action	
Mil	Bambey « dior »	Travail du sol × fertilisation	1964	172	311	+ 186	+ 251	+ 33	+ 390	+ 395	+ 3	(67)
	Tarna (Niger)	Techniques culturales	1967	666	940	+ 493	+ 580	+ 44	—	—	—	(64)
			1967	896	1.282	+ 580	+ 418	— 81	—	—	—	
			1968	40	397	+ 133	+ 260	+ 64	—	—	—	
1968			142	796	+ 328	+ 553	+ 113	—	—	—		
Sorgho	Bambey « dek »	Travail du sol × fertilisation	1962	875	1.673	+ 409	+ 335	— 37	+ 609	+ 260	— 175	(67)
	Boulel	Travail du sol × fertilisation	1963	555	716	— 10	+ 186	+ 98	+ 662	+ 1.030	+ 184	
			1964	324	664	+ 390	+ 351	— 20	+ 552	+ 716	+ 82	
			1966	613	863	+ 274	+ 559	+ 143	+ 979	+ 1.083	+ 52	
	1968	541	990	+ 716	+ 708	— 4	+ 1.186	+ 1.150	— 18			
	Nioro	Travail du sol × fertilisation	1967	1.390	2.002	+ 524	+ 673	+ 75	+ 1.329	+ 1.356	+ 14	(67)
	Sinthiou	Travail du sol × fertilisation	1967	582	706	+ 316	+ 459	+ 72	+ 1.216	+ 2.087	+ 436	(67)
Saria (Hte-Volta)	Façons culturales	1964	201	476	+ 942	+ 995	+ 27	—	—	—	(32)	
		1965	1.330	1.795	+ 434	+ 596	+ 81	—	—	—	(34)	
Arachide	Bambey	Travail du sol × fertilisation	1962	1.583	1.799	+ 82	+ 103	+ 11	+ 124	+ 223	+ 50	(67)
			1963	1.565	2.187	+ 56	+ 7	— 25	+ 71	+ 73	+ 1	
			1964	740	1.378	+ 113	+ 73	— 20	+ 241	+ 209	— 16	
			1965	741	915	+ 96	— 25	— 61	— 27	+ 110	+ 69	
	Tarna (Niger)	Façons préparatoires	1967	1.440	1.676	+ 186	— 89	— 138	—	—	—	(64)
			1968	974	983	+ 56	+ 43	— 7	—	—	—	
	Magaria	Façons préparatoires	1967	1.577	1.651	+ 111	+ 113	+ 1	—	—	—	(65)
			1967	1.538	1.961	+ 483	+ 140	— 172	—	—	—	
	Boulel	Travail du sol × fertilisation	1965	1.418	1.635	+ 257	+ 183	— 37	+ 318	+ 158	— 80	(67)
			1967	807	1.160	+ 173	+ 235	+ 31	+ 348	+ 384	+ 18	
Nioro	Travail du sol × fertilisation	1966	2.013	2.223	+ 166	— 39	— 103	+ 165	+ 68	— 49	(67)	
Sinthiou	Travail du sol × fertilisation	1965	1.300	1.600	+ 900	+ 900	0	+ 1.000	+ 1.000	0	(67)	
		1968	1.748	1.921	+ 701	+ 650	— 26	+ 1.006	+ 650	— 178		

TABLEAU IV-116

EFFETS COMPARÉS DE L'ENGRAIS MINÉRAL A FAIBLE DOSE (150 kg/ha), APRÈS JACHÈRE BRÛLÉE ET FUMURE VERTE, SUR LES DIFFÉRENTES CULTURES DE LA ROTATION

Nature et position de la culture	Localisation	Désignation de l'essai	Nombre de rotations comparées avec		Période de comparaison	Nombre de résultats annuels	Rendement du témoin non fumé (kg/ha)		Effet de l'engrais (kg/ha)			Source
			Jachère brûlée	Jachère ou eng. v. enfoui			Après jachère brûlée	Après jachère ou eng. v. enfoui	Après jachère brûlée	Après jachère ou eng. v. enfoui	Interaction	
Première culture : Arachide	Bambey	Rotation « dior »	2	3	1956-61	6	1.329	1.090	+ 230	+ 326	+ 48	95 bis
		Jach. - Eng. vert	1	3	1956	1	1.494	1.572	+ 231	+ 362	+ 66	
		Jach. - Eng. vert	1	3	1958	1	1.680	1.452	+ 259	+ 332	+ 37	
		Rég. × trait. (1)	1	2	1960	1	2.122	2.311	+ 81	+ 351	+ 135	
		Rég. × trait. (1)	1	2	1964	1	1.490	1.623	+ 189	+ 267	+ 39	
	Nioro	Rotat. × engrais	2	2	1958-67	10	1.418	1.697	+ 425	+ 466	+ 21	38
Deuxième culture : Mil ou sorgho	Sinthiou	Rotat. × engrais	2	2	1962-67	6	1.851	2.111	+ 445	+ 192	- 127	38
	Séfa	Jach. - Eng. vert	1	3	1956	1	1.910	2.143	+ 315	+ 440	+ 63	101
		Jach. - Eng. vert	1	3	1958	1	2.125	2.632	+ 835	+ 408	- 214	
	Bambey	Rotation « dior »	2	3	1956-61	6	406	376	+ 326	+ 284	- 21	95 bis
Jach. - Eng. vert	1	3	1957	1	590	493	+ 160	+ 288	+ 64			
Rég. × trait. (1)	1	2	1961	1	912	1.157	+ 653	+ 734	+ 41			
Rég. × trait. (1)	1	2	1967	1	512	583	+ 525	+ 401	- 62			
Troisième culture : Arachide	Nioro	Rotat. × engrais	2	2	1958-67	10	412	442	+ 343	+ 330	- 7	38
	Sinthiou	Rotat. × engrais	2	2	1962-67	6	480	590	+ 338	+ 396	+ 29	38
	Séfa	Jach. - E. vert (2)	1	3	1957	1	1.500	1.492	- 10	- 100	- 45	101
		Jach. - E. vert (2)	1	3	1959	1	895	1.443	+ 270	+ 102	- 84	
Bambey	Jach. - Eng. vert	1	3	1958	1	1.448	1.243	+ 241	+ 432	+ 96	37	
Rég. × trait. (1)	1	2	1962	1	1.617	1.520	+ 307	+ 432	+ 63			
Troisième culture : Arachide	Nioro	Rotat. × engrais	2	2	1958-67	10	1.405	1.385	+ 358	+ 585	+ 114	38
	Sinthiou	Rotat. × engrais	2	2	1962-67	6	1.834	1.920	+ 400	+ 380	- 10	38
	Séfa	Jach. - Eng. vert	1	3	1958	1	2.015	2.323	+ 605	+ 645	+ 20	101
		Jach. - Eng. vert	1	3	1960	1	1.500	1.753	+ 910	+ 678	- 116	

(1) La fumure minérale utilisée dans cet essai est la fumure forte « étalée ».

(2) La deuxième culture de la rotation dans cet essai est le riz pluvial.

TABLEAU IV-117

EFFETS COMPARÉS D'UNE DOSE FAIBLE ET D'UNE FORTE DOSE D'ENGRAIS MINÉRAL APRÈS JACHÈRE BRÛLÉE ET APRÈS FUMURE VERTE

Nature et position de la culture	Localisation	Désignation de l'essai	Nombre de rotations comparées avec		Période	Nombre de résultats annuels	Rendements sur fumure légère (kg/ha)		Effets de la fumure forte par rapport à la fumure légère (kg/ha)			Source
			Après jachère brûlée	Après fumure verte			Après jachère brûlée	Après fumure verte	Après jachère brûlée	Après fumure verte	Interaction	
Première culture : Arachide	Bambey	Jachère - Eng. vert	1	3	1956	1	1.725	1.933	+ 163	+ 196	+ 17	(37)
		Rég. profil « dior »	1	5	1965	1	1.663	1.570	+ 48	- 85	- 67	
		Rég. profil « dior »	1	5	1966	1	811	853	+ 34	+ 85	+ 26	
		Rég. profil « dek »	1	5	1965	1	1.267	1.193	+ 24	+ 89	- 76	
		Jachère - Eng. vert	1	3	1958	1	1.939	1.784	+ 178	+ 106	- 36	
	Séfa	Jachère - Eng. vert	1	3	1956	1	2.255	2.583	+ 70	- 11	- 41	(101)
Deuxième culture : Céréale	Bambey	Jachère - Eng. vert	1	3	1957	1	750	782	+ 110	+ 77	- 17	(37)
		Rég. profil « dior »	1	5	1966	1	1.000	985	- 5	+ 391	+ 198	
		Rég. profil « dior »	1	5	1967	1	591	707	+ 160	+ 143	- 9	
		Rég. profil « dek »	1	5	1966	1	1.633	1.412	+ 417	+ 365	- 26	
		Jachère - Eng. vert	1	3	1957	1	1.490	1.392	- 205	- 7	+ 99	
	Séfa	Jachère - Eng. vert	1	3	1959	1	1.165	1.545	- 245	- 573	- 164	(101)
Troisième culture : Arachide	Bambey	Jachère - Eng. vert	1	3	1957	1	750	782	+ 110	+ 77	- 17	(37)
		Rég. profil « dior »	1	5	1967	1	1.217	1.050	- 23	- 94	- 36	
		Rég. profil « dek »	1	5	1967	1	1.400	1.015	+ 89	+ 58	- 16	
	Séfa	Jachère - Eng. vert	1	3	1958	1	2.620	2.968	+ 345	+ 2	- 172	(101)
Jachère - Eng. vert	1	3	1960	1	2.410	2.432	+ 115	+ 3	- 56			

REMARQUES :

1) La fumure forte utilisée dans les essais est la suivante :

Jachère engrais vert Bambey : 300 kg/ha de 6-20-10 sur arachide ; 300 kg/ha de 14-7-7 sur mil.

Régénération Profil dior et dek : fumure forte « étalée ».

Jachère engrais vert Séfa : fumure variable suivant les années.

2) La céréale de seconde culture est soit le mil, soit le sorgho, sauf dans l'essai « Jachère-Engrais vert » de Séfa où il s'agit de riz pluvial.

Sur ce dernier essai, les effets dépressifs obtenus sur la fumure forte sont aberrants (équilibre inadapté) et ne seront pas comptés pour le calcul de la moyenne.

TABLEAU IV-118
COMPARAISON DES EFFETS DES PSEUDO-LABOURS ET DES LABOURS
SUR DIVERSES CULTURES

Cultures	Conditions de réalisation du pseudo-labour		Localisation	Années de comparaison		Rendement témoin (kg/ha)	Plus-values (kg/ha)		Plus-values (%) du témoin		Source
	Instrument	Humidité du sol		Période	Nombre		Pseudo-labour	Labour	Pseudo-labour	Labour	
Mil	Houe	Humide	Tarna Saria (1)	1966-68 1950-56	5 6	815 463	+ 319 - 45	+ 461 + 87	+ 39 - 10	+ 57 + 19	(64) (24)
	Dent sous-soleuse	En sec Humide	Bambey Tarna	1964 1966-68	1 5	562 815	+ 18 + 167	+ 144 + 461	+ 3 + 20	+ 26 + 57	(67) (64)
Sorgho	Houe	Sec	Boulel	1966-68	2	1.383	+ 230	+ 660	+ 17	+ 48	(67)
			Sinthiou	1967	1	1.798	+ 423	+ 995	+ 24	+ 55	(71)
			Nioro	1967-68	2	2.216	+ 636	+ 1.102	+ 29	+ 50	(67)
	Humide	Nioro	1967	1	2.719	- 107	+ 639	- 4	+ 24	(71)	
		Nioro Saria	1967-68	2	2.216	+ 704	+ 1.042	+ 32	+ 47	(71)	
		Saria Saria (1)	1965 1966-68 1950-56	1 2 6	1.764 1.239 555	+ 366 + 186 - 13	+ 627 + 412 + 100	+ 21 + 15 - 2	+ 36 + 33 + 18	(34) (36) (24)	
Dent sous-soleuse	En sec	Bambey	1961-64	4	1.217	+ 141	+ 485	+ 12	+ 40	(67)	
Maïs	Houe	En sec	Sinthiou	1967-69	3	2.031	+ 273	+ 821	+ 13	+ 40	(71)
		Humide	Sinthiou	1967-69	3	2.031	+ 648	+ 958	+ 32	+ 47	
Arachide	Houe	En sec	Kawara	1967	1	983	+ 92	+ 518	+ 9	+ 53	(61)
			Boulel	1965-67	2	1.445	+ 247	+ 290	+ 17	+ 20	(67)
			Nioro	1966	1	2.178	+ 179	+ 113	+ 8	+ 5	(67)
		Nioro	1967-69	3	2.086	+ 41	+ 199	+ 2	+ 10	(71)	
		Sinthiou	1965-68	2	2.527	- 135	+ 59	- 5	+ 2	(71)	
		Humide	Tarna Magaria	1964-68	5	1.746	+ 6	+ 166	0	+ 10	(64)
	Dent sous-soleuse	En sec	Bambey	1961-68	7	1.127	+ 78	+ 418	+ 7	+ 37	(67)
		En sec	Kawara	1966	1	348	+ 169	+ 614	+ 49	+ 176	(61)
		Humide	Tarna	1964-68	5	1.746	+ 91	+ 166	- 5	+ 10	(64)
		Humide	Saria Farako Ba	1967 1969	1 1	1.593 1.148	- 7 + 96	+ 59 + 367	0 + 8	+ 37 + 32	(33) (31)
Dent sous-soleuse	En sec	Thyssé-Kayemor	1969	1	1.389	- 3	+ 625	0	+ 45	(67)	

(1) Dans cet essai, les conditions de réalisation sont imprécises et les rendements très faibles (pas d'engrais). Les résultats sont fournis à titre indicatif et n'entrent pas dans le calcul de la moyenne.

TABLEAU IV-119
VALEUR MOYENNE DES INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS
SUR DIFFÉRENTES CULTURES : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION DU SÉNÉGAL

Culture	Localisation	Nombre de résultats	Rendements sans fumure minérale		Fumure légère			Fumure forte				
			Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moy. de l'interaction (kg/ha)	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moy. de l'interaction (kg/ha)	
						Témoin	Labour		Témoin	Labour		
Sorgho	Bambey	5	1.075	1.423	2	+ 292	+ 403	+ 55	3	+ 744	+ 841	+ 44
	Boulel	3	1.311	1.739	2	+ 397	+ 348	- 25	1	+ 694	+ 732	+ 19
	Nioro-du-Rip	3	1.134	1.796	3	+ 743	+ 1.222	+ 239	1	+ 1.463	+ 1.489	+ 13
	Keur-Yoro-Dou	1	475	725	2	+ 900	+ 575	- 162	1	+ 1.075	+ 750	- 162
	Keur-Samba	3	1.092	1.464	2	+ 560	+ 687	+ 63	1	+ 1.272	+ 1.175	- 49
	Moyenne Sine-Saloum	10	1.109	1.572	7	+ 600	+ 735	+ 67	3	+ 1.136	+ 1.094	- 21
	Sinthiou-Malème	3	689	1.111	2	+ 478	+ 943	+ 232	3	+ 918	+ 1.738	+ 410
	Missira	3	903	1.344	1	+ 1.165	+ 1.109	- 28	3	+ 1.973	+ 2.304	+ 165
	Maka	2	1.766	2.113	2	+ 117	+ 270	+ 76	2	+ 553	+ 411	- 71
	Kotiari	2	588	613	1	+ 737	+ 1.124	+ 193	2	+ 1.340	+ 2.048	+ 353
Vélingara	2	1.617	1.470	1	+ 226	+ 236	+ 5	2	+ 520	+ 720	+ 100	
Moyenne S.O. et Casamance	12	1.060	1.313	7	+ 530	+ 691	+ 81	10	+ 1.125	+ 1.541	+ 208	
Moyenne générale	27	1.081	1.429	16	+ 512	+ 654	+ 71	16	+ 1.059	+ 1.246	+ 93	
Mil	Vélingara	2	1.395	1.875	1	+ 118	- 91	- 105	1	+ 950	+ 539	- 206
	Séfa	2	1.116	1.520	1	+ 806	+ 668	- 69	1	+ 1.071	+ 1.036	- 18
	N'Diéba	1	158	206	1	+ 158	+ 340	+ 91	1	+ 1.295	+ 1.270	- 12
Moyenne générale	5	1.034	1.399	2	+ 402	+ 299	- 51	2	+ 1.068	+ 884	- 92	
Maïs	Maka	3	792	1.086	1	+ 403	+ 116	- 103	2	+ 999	+ 1.339	+ 170
Cotonnier	Maka	1	869	1.425	1	+ 95	+ 14	- 40	1	+ 797	+ 893	+ 48

TABLEAU IV-120

INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
AU COURS DE LA ROTATION ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION
(Première culture arachide)

Localisation	Nombre de résultats	Rendements sans fumure minérale		Fumure légère			Fumure forte				
		Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
					Témoin	Labour			Témoin	Labour	
Louga	3	804	1.046		+ 192	- 42	- 117		+ 192	+ 137	- 27
Forbotte	4	1.219	1.223	2	+ 5	+ 59	+ 27	3	- 53	+ 56	+ 55
Thiënaba Nord	3	1.393	1.446	2	- 238	- 127	+ 56	1	- 105	- 135	- 15
Thiënaba Sud	4	751	778	3	+ 18	+ 230	+ 106	3	+ 19	+ 201	+ 91
Tip	6	1.230	1.320	4	+ 48	+ 158	+ 52	2	+ 183	+ 119	- 32
Moyenne Nord	20	1.093	1.170	11	+ 12	+ 78	+ 33	9	+ 61	+ 87	+ 13
Boulel	6	1.371	1.435	4	+ 145	+ 204	+ 29	3	+ 386	+ 473	+ 44
Keur-Samba	6	1.504	1.773	3	+ 288	+ 85	- 101	3	+ 348	+ 413	+ 32
Keur-Yoro-Dou	5	1.526	1.612	2	+ 255	+ 265	+ 5	3	+ 391	+ 471	+ 40
Nioro-du-Rip	6	1.582	1.768	3	+ 517	+ 436	- 41	1	+ 493	+ 222	- 136
Moyenne Sine-Saloum	23	1.432	1.649	9	+ 303	+ 247	- 28	10	+ 495	+ 391	- 7
Sinthiou-Malème	4	1.663	1.754	1	+ 721	+ 512	- 105	4	+ 587	+ 748	+ 80
Maka	1	1.436	1.901		+ 291	+ 264	- 13		+ 616	+ 267	- 175
Kotiary	4	1.240	1.395	2	+ 470	+ 403	- 34	3	+ 289	+ 659	+ 185
Missira	2	1.588	2.063		+ 963	+ 675	- 144	1	+ 788	+ 738	- 25
Séfa	3	1.955	1.907		+ 339	+ 143	- 98	2	+ 286	+ 224	- 31
Moyenne Est et Sud Sénégal	14	1.578	1.739	3	+ 571	+ 407	- 82	10	+ 468	+ 575	+ 55
Moyenne générale	57	1.349	1.503	23	+ 267	+ 227	- 20	29	+ 300	+ 330	+ 15

TABLEAU IV-121

INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
AU COURS DE LA ROTATION ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION
(Deuxième culture céréale)

Localisation	Nombre de résultats	Rendements sans fumure minérale		Fumure légère			Fumure forte				
		Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
					Témoin	Labour			Témoin	Labour	
Louga	2	342	678		+ 146	- 137	- 142		+ 83	- 70	- 76
Forbotte	3	886	879	2	+ 173	+ 203	+ 15	3	+ 380	+ 635	+ 127
Thiënaba Nord	2	381	556		+ 98	- 8	- 53	1	+ 216	+ 171	- 23
Thiënaba Sud	3	210	254	2	+ 259	+ 264	+ 3	1	+ 383	+ 422	+ 20
Tip	5	540	484	4	+ 455	+ 559	+ 52	3	+ 736	+ 826	+ 45
Moyenne Nord	15	496	552	8	+ 271	+ 260	- 5	8	+ 438	+ 500	+ 31
Boulel	2	570	889	1	+ 351	+ 367	+ 8	1	+ 751	+ 988	+ 118
Keur-Samba	2	743	1.037	2	+ 269	+ 393	+ 62	2	+ 500	+ 693	+ 96
Keur-Yoro-Dou	4	689	955	2	+ 565	+ 553	- 6	2	+ 631	+ 637	+ 3
Nioro-du-Rip	2	1.098	1.212		+ 1.270	+ 617	- 326	1	+ 1.108	+ 1.117	+ 4
Moyenne Sine-Saloum	10	758	1.010	5	+ 604	+ 497	- 55	6	+ 724	+ 814	+ 45
Sinthiou-Malème	2	830	927	2	+ 238	+ 456	+ 109	2	+ 488	+ 599	+ 55
Kotiary	2	362	400	1	+ 312	+ 364	+ 26	2	+ 260	+ 429	+ 84
Missira	1	525	575	1	+ 525	+ 800	+ 137	1	+ 650	+ 875	+ 112
Séfa	1	1.532	1.720		+ 1.390	+ 995	- 217	1	+ 1.598	+ 1.610	+ 6
Moyenne Est et Sud Sénégal	6	740	825	4	+ 502	+ 566	+ 31	6	+ 624	+ 757	+ 66
Moyenne générale	31	628	753	17	+ 423	+ 396	- 13	20	+ 566	+ 651	+ 42

TABLEAU IV-122

INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
AU COURS DE LA ROTATION ARACHIDE-CÉRÉALE-ARACHIDE : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION
(Troisième culture arachide)

Localisation	Nombre de résultats	Rendements sans fumure minérale		Fumure légère			Fumure forte				
		Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moyenne de l'interaction (kg/ha)
					Témoin	Labour			Témoin	Labour	
Thiénaba Nord	1	1.726	1.743	1	- 97	+ 42	+ 120	1	+ 349	+ 44	- 152
Thiénaba Sud	2	750	396	1	+ 178	+ 118	- 30	1	+ 2	+ 49	+ 23
Tip	4	1.011	1.078	2	+ 238	+ 203	- 17	1	+ 285	+ 25	- 130
Moyenne Nord	7	1.039	978	4	+ 173	+ 170	- 1	1	+ 213	+ 34	- 89
Boulel	2	1.116	1.044	2	+ 148	+ 360	+ 106	2	+ 248	+ 442	+ 97
Keur-Samba	2	1.245	1.875	1	+ 304	+ 186	- 59	—	+ 748	+ 582	- 83
Keur-Yoro-Dou	4	1.069	1.248	2	+ 328	+ 368	+ 20	—	+ 498	+ 390	- 54
Nioro-du-Rip	2	1.790	1.502	2	+ 1	+ 411	+ 205	1	+ 233	+ 305	+ 36
Moyenne Sine-Saloum	10	1.258	1.384	6	+ 222	+ 339	+ 58	3	+ 445	+ 422	- 12
Sinthiou-Malème	1	1.704	1.421	1	+ 869	+ 995	+ 63	1	+ 861	+ 1.156	+ 147
Kotiary	2	1.045	1.419	1	+ 630	+ 535	- 47	1	+ 537	+ 830	+ 146
Missira	1	1.274	1.397	1	+ 588	+ 784	+ 98	1	+ 1.127	+ 1.201	+ 37
Séfa	1	2.531	2.098	1	+ 26	+ 90	+ 32	1	+ 131	+ 571	+ 220
Moyenne Est et Sud Sénégal	5	1.520	1.551	4	+ 549	+ 588	+ 19	4	+ 639	+ 918	+ 139
Moyenne générale	22	1.248	1.293	14	+ 281	+ 342	+ 30	8	+ 415	+ 411	- 2

TABLEAU IV-123

INTERACTIONS ENTRE FUMURES MINÉRALES ET LABOURS D'ENFOUISSEMENT
EFFETS DIRECTS SUR LES DIFFÉRENTES CULTURES : CHAMPS DE PRÉVULGARISATION

Culture	Localisation	Nombre de résultats	Rendements sans fumure minérale		Fumure légère			Fumure forte				
			Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moy. de l'interaction (kg/ha)	Nombre d'interactions positives	Effet moyen (kg/ha)		Valeur moy. de l'interaction (kg/ha)
						Témoin	Labour			Témoin	Labour	
Sorgho	Maka	1	1.325	1.325	1	+ 800	+ 1.450	+ 325	1	+ 1.312	+ 1.750	+ 219
Mil	Séfa	1	814	1.175	1	+ 431	+ 721	+ 145	1	+ 732	+ 994	+ 131
Maïs	Maka	1	483	1.763	—	+ 459	+ 49	- 205	1	+ 1.800	+ 2.295	+ 247
	Séfa	3	159	499	2	+ 751	+ 1.414	+ 331	2	+ 829	+ 1.941	+ 557
	Sindiane	3	145	232	1	+ 262	+ 162	- 50	—	+ 857	+ 684	- 86
	Moyenne	7	199	565	3	+ 500	+ 682	+ 91	3	+ 979	+ 1.453	+ 237
Cotonnier	Maka	3	1.113	1.457	2	+ 660	+ 375	- 142	1	+ 376	+ 380	+ 2
	Sinthiou-Malème	2	425	610	2	+ 148	+ 205	+ 28	2	+ 348	+ 923	+ 288
	Missira	3	765	989	1	+ 360	+ 404	+ 22	3	+ 662	+ 1.030	+ 184
	Kotiary	1	278	217	—	+ 338	+ 333	- 2	1	+ 140	+ 703	+ 281
	Vélingara	3	701	885	2	+ 304	+ 479	+ 88	1	+ 689	+ 585	- 52
	Moyenne	12	739	952	7	+ 384	+ 377	- 4	8	+ 502	+ 711	+ 105

RESUME. — Dans les zones tropicales sèches, l'étude des propriétés physiques des sols en liaison avec la croissance végétale et de leur amélioration en vue d'un accroissement de la productivité a été jusqu'à présent peu poussée. Au Sénégal, une tentative a été faite, ces dernières années, pour mieux comprendre les processus d'évolution des propriétés physiques des sols sous l'influence de l'intervention de l'agronome et les conséquences qui en résultent pour la plante cultivée. Cette démarche s'est largement inspirée de la méthode d'étude du « profil cultural » exposée par S. HÉNIN et ses collaborateurs.

L'étude du profil cultural est essentiellement axée sur celle des propriétés physiques et de la matière organique des sols. Les caractéristiques chimiques ne seront prises en considération que dans la mesure où elles interfèrent avec les premières. Les résultats mentionnés dans cette étude ne concernent pas le seul Sénégal, mais peuvent s'appliquer à tous les sols sableux ou sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine. Cette zone est délimitée d'après des critères de durée de la saison des pluies, celle-ci devant comprendre de deux à cinq mois pluvieux (≥ 50 mm).

Le plan de l'étude est exposé.

Chapitre I. Méthodes d'étude du profil cultural.

L'étude du profil cultural fait appel à la fois à l'observation directe et à des mesures annexes effectuées sur le terrain et en laboratoire. La méthode d'observation s'inspire étroitement de la procédure décrite par S. HÉNIN et ses collaborateurs. L'application de cette procédure aux sols sableux de zone tropicale sèche présente cependant quelques particularités. Celles-ci sont exposées.

Les mesures annexes concernent :

*la granulométrie,
la stabilité structurale,
la densité apparente et la porosité,
l'humidité et les caractéristiques hydrodynamiques,
la pénétrométrie,
la matière organique,
l'enracinement,*

Dans chaque cas, les méthodes de mesures sont décrites et la précision des résultats appréciée.

Chapitre II. Les facteurs naturels : climats et sols, et leur influence sur l'évolution du profil cultural.

Le climat dans la zone considérée est étudié sous différents aspects : la hauteur et la répartition des pluies, l'évapotranspiration potentielle et ses variations, le bilan hydrique et les périodes de disponibilité en eau. Une attention particulière est portée à l'érosivité des pluies : intensité, énergie cinétique, index-pluie de WISCHMEIER et indice climatique de FOURNIER.

Il ressort de cet examen que dans toute la zone tropicale Ouest-Africaine, et tout particulièrement dans son extrémité sud-occidentale, le climat présente une très grande agressivité.

Les sols de la zone sont rapidement inventoriés. Ces sols présentent des caractères communs influant sur le profil cultural et son évolution. Ce sont :

*la texture habituellement sableuse ou sablo-argileuse des horizons superficiels ;
la nette prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse du sol.*

De la combinaison de ces deux caractéristiques découle, pour le profil cultural, une conséquence importante : l'inexistence ou le peu d'importance des phénomènes de gonflement et de retrait du sol, consécutifs aux variations d'humidité. La fissuration du sol est donc peu accentuée, voire inexistante. Dans ces conditions, les facteurs mécaniques de travail du sol joueront un rôle d'autant plus grand dans l'action de division et de création d'une structure qu'ils devront pallier l'absence ou l'insuffisance des mécanismes naturels. Les sols des stations de Bambey et Séfa, sur lesquels ont eu lieu de nombreuses expériences de techniques culturales, sont ensuite décrits, en insistant sur leurs caractéristiques physiques.

Enfin est examiné le problème de l'évolution du profil cultural, au cours de l'année, sous l'influence du climat.

En hivernage, les pluies très agressives produisent sur le sol des effets de tassement, de battance, de dégradation de la structure et d'érosion qui sont d'autant plus importants que la protection du sol par la végétation est moins assurée.

Pendant la saison sèche, il se produit, consécutivement au dessèchement du profil, une augmentation très forte de la cohésion, une véritable « prise en masse » du sol. L'évolution comparée, au cours du temps, des deux processus de dessèchement et de développement de la cohésion est étudiée. Dans l'exemple choisi, le premier processus est plus rapide et le développement de la cohésion ne se manifeste que lorsque le sol a déjà perdu une notable partie de son humidité.

En conclusion, si, en pays tempéré, certains facteurs naturels peuvent jouer un rôle favorable dans l'amélioration du profil cultural, il n'en va pas de même pour les sols sableux de zone tropicale sèche. Bien au contraire, aussi bien la nature des sols que l'exceptionnelle agressivité du climat jouent dans le sens de la dégradation du profil et de la disparition de la structure. Les propriétés physiques des sols ne seront donc, à priori, guère favorables à l'installation d'une végétation cultivée. Il importera de voir dans quelle mesure les facteurs biologiques et l'intervention humaine pourront, à partir de conditions de départ médiocres, créer un profil cultural satisfaisant et protéger ensuite ce profil cultural contre l'action très dégradante du climat.

Chapitre III. Les facteurs biologiques : faune et végétation et leur influence sur le profil cultural et la productivité agricole.

Les facteurs biologiques susceptibles d'avoir une incidence sur le profil cultural et la production agricole sont la faune et la flore du sol ainsi que la végétation. Le rôle de la faune du sol est rapidement évoqué, peu d'observations précises ayant été faites dans le domaine. Le rôle de la végétation est ensuite examiné en détail.

Végétation naturelle et culture.

La végétation, naturelle ou cultivée, des zones tropicales sèches est sommairement décrite en se limitant à l'exemple sénégalais. Les données économiques et agronomiques concernant les jachères et les plantes cultivées au Sénégal sont résumées dans un tableau récapitulatif.

Une attention particulière est portée à l'enracinement des principales plantes tropicales : étude descriptive et données quantitatives. Les liaisons entre enracinement, d'une part, croissance et production végétale, d'autre part, sont ensuite examinées. Des liaisons linéaires étroites entre enracinement et rendements en grains ont été mises en évidence au Sénégal sur sorgho, arachide et maïs. L'importance d'un développement satisfaisant de l'enracinement pour les cultures est soulignée.

Influences réciproques entre propriétés physiques du sol et végétation.

Parmi les propriétés physiques du sol qui influent sur la croissance et la production végétales, la porosité, mesurée globalement par la densité apparente, paraît la plus importante. Des liaisons inverses ont été mises en évidence, au Sénégal, entre densité apparente et enracinement ainsi qu'entre densité apparente et rendement en grains sur sorgho, arachide et maïs : de faibles augmentations de densité apparente peuvent entraîner de fortes diminutions du poids de racines et du poids de grains. Les mécanismes d'action de la porosité sur l'enracinement sont discutés en termes de modifications de la perméabilité, de l'alimentation en air et en oxygène, de la résistance mécanique à la pénétration. C'est ce dernier mécanisme qui paraît, dans les sols étudiés, le mieux rendre compte des réactions de l'enracinement aux modifications de porosité du milieu. Il est souligné que, dans les sols sableux, la porosité est généralement inférieure à 40 %, valeur considérée comme limite pour un enracinement satisfaisant.

De son côté, la végétation agit sur les propriétés physiques des sols par le couvert végétal protégeant les sols contre l'action dégradante du climat, par le système racinaire agissant sur la structure et, à long terme, par les restitutions organiques modifiant le bilan humique des sols.

Ces différents mécanismes d'action sont passés en revue. Concernant le premier point, il apparaît que si, en saison sèche, le rôle du couvert végétal dans la protection du sol semble secondaire, il est au contraire primordial pendant la saison des pluies : des expériences très démonstratives ont été réalisées au Sénégal dans ce domaine. L'action structurante des racines, en l'absence de travail du sol préalable, paraît très faible ; ceci est mis en relation avec la faible aptitude des sols sableux ou sablo-argileux à se fissurer et à se diviser.

Les influences comparées des grandes formations végétales : forêt claire, jachère herbacée, cultures, sur les propriétés physiques des sols sont ensuite examinées.

Ce sont d'abord les influences sur les caractéristiques hydrodynamiques des sols : courbes de pF et perméabilité, qui sont prises en considération. On observe une nette diminution de l'infiltration de l'eau dans le sol quand on passe de la forêt à une végétation de type herbacé : jachère ou cultures ; il y a peu de différences, à ce point de vue, entre jachère et cultures, de même qu'entre diverses cultures.

Les régimes hydriques et thermiques des sols sont également totalement modifiés quand on passe d'une végétation forestière à une végétation de type herbacé ; concernant le premier point, les conséquences de la déforestation de vastes superficies sur le régime d'écoulement dans les thalwegs sont illustrées par l'exemple de Séfa, en Casamance.

Enfin, sont étudiées en comparaison les influences respectives des formations végétales sur la structure du sol, telles qu'elles peuvent être déduites des examens morphologiques, des mesures de pénétration, de densité apparente et de stabilité structurale ainsi que des mesures d'érosion. Là encore, le rôle de la végétation forestière se distingue nettement de celui de la végétation herbacée, qu'il s'agisse de jachères ou de cultures diverses.

Influences réciproques des plantes entre elles ; incidences sur la production végétale.

Ces influences sont complexes et ne se limitent pas aux seules actions de la végétation sur les propriétés physiques du sol ; elles interviennent également sur les propriétés chimiques et le bilan minéral, sur les caractéristiques biochimiques et le bilan humique des sols, ainsi que sur l'état sanitaire des cultures. Ces différents groupes de facteurs sont examinés.

On aborde alors le problème des combinaisons des plantes entre elles dans le temps et l'espace : successions et associations culturales en l'absence de travail du sol.

Les successions culturales traditionnelles sont rapidement décrites, avant de passer en revue les solutions proposées par les agronomes. Une attention particulière est portée au rôle de la jachère herbacée dans les successions culturales et à l'incidence, sur les rendements agricoles, des facteurs suivants : durée de la jachère, durée de la période culturale, traitement de la jachère. De l'examen de données expérimentales, il résulte que la jachère herbacée présente un certain intérêt pour les zones les plus déshéritées du point de vue sol et climat ; elle permet de maintenir, dans ces conditions, un niveau de production moyen. Son action ne semble pas s'expliquer, dans ce cas, par sa seule incidence sur le bilan minéral.

Par contre, en régions plus favorisées du point de vue sol et climat, le rôle de ces jachères incluses dans la rotation ne paraît pas démontré. Leur influence sur les rendements de l'arachide en présence d'une fertilisation minérale légère, est en effet peu sensible. Concernant les rendements en céréales, il est impossible de conclure étant donné la nette insuffisance des apports minéraux dans les expérimentations. On peut penser qu'en présence d'une fertilisation minérale correcte les conclusions, pour les céréales, seraient voisines de celles tirées pour l'arachide.

En dehors du problème de l'insertion de la jachère de courte durée dans les rotations, se pose celui de la succession des cultures entre elles et de la monoculture. Le nombre des plantes étant assez restreint, les combinaisons possibles, entre elles, sont peu nombreuses. En l'absence de travail du sol, les successions linéaires continues, qu'elles soient à base de céréales ou d'arachide, donnent de moins bons résultats que les successions faisant alterner les diverses plantes. Ceci s'explique par diverses considérations touchant l'exploitation du sol par des systèmes racinaires différents et les problèmes phytosanitaires. La meilleure solution, dans ces conditions, paraît être l'alternance légumineuse-céréale.

Les combinaisons de plantes peuvent se faire non seulement dans le temps, mais aussi dans l'espace, sur le même champ : on parle alors d'association. Ce sont d'abord les associations arbres/cultures qui sont examinées. Les champs traditionnels sont habituellement piquetés d'arbres, conservés par les paysans pour leurs bois ou pour leurs fruits. Cette association présente un certain intérêt pour l'agriculture : les arbres agissent sur le microclimat et enrichissent par leurs débris organiques la couche arable, en partie aux dépens des horizons profonds du sol. A ce point de vue, une essence forestière présente un intérêt tout particulier, il s'agit de l'Acacia albida. Cette légumineuse offre en outre, par ses fruits, une ressource fourragère remarquable. Tout l'intérêt agronomique des terroirs parcs à Acacia albida est décrit et analysé.

Les associations de plantes cultivées entre elles sont souvent légèrement plus productives que les cultures pures, mais la supériorité de ce système n'est pas telle qu'on puisse, actuellement, recommander sa vulgarisation dans la zone étudiée.

Conclusion.

Du point de vue des effets sur le sol et, notamment, sur les propriétés physiques du sol, il se manifeste une opposition tranchée entre végétation forestière et végétation de type herbacé. La déforestation totale étant habituellement un préalable indispensable à la mise en culture, il se produit inévitablement une détérioration rapide des propriétés physico-chimiques des sols, avec toutes les conséquences que cela entraîne pour les rendements agricoles. Un compromis permettant de conserver en partie le bénéfice de la végétation forestière pour le sol peut être recherché dans certaines formes d'associations arbres/cultures, en faisant appel aux essences forestières les plus intéressantes tel l'Acacia albida.

En l'absence de travail du sol préalable, l'action d'une végétation de type herbacé sur le sol est faible dans les zones tropicales sèches. A ce point de vue, les différents types de végétation herbacée : jachères naturelles courtes et cultures diverses, se distinguent peu entre elles. Il y a donc peu de bénéfices à attendre des combinaisons possibles entre elles dans le temps et l'espace : rotations avec ou sans jachères, alternance des cultures, associations culturales. Cette remarque doit être nuancée si l'on fait intervenir d'autres considérations, telles qu'incidences sur le bilan minéral et sur les problèmes phytosanitaires.

Le rôle de la végétation herbacée peut être important, dans les zones tropicales sèches, pour conserver le profil cultural, mais il ne peut suffire à lui seul à améliorer nettement les propriétés physiques du sol, défavorables dans les conditions naturelles, et à créer un profil cultural satisfaisant, permettant ainsi de franchir une nouvelle étape vers une productivité agricole accrue. Il convient donc de rechercher si cet objectif ne peut pas être atteint par une intervention humaine plus poussée faisant jouer les facteurs mécaniques (travail du sol) employés seuls ou en association avec les facteurs biologiques (enfouissement de matière végétale).

Chapitre IV. Les effets de l'intervention humaine sur le profil cultural et les rendements agricoles : le travail du sol avec ou sans enfouissement de matière végétale.

Les facteurs biologiques ne paraissant pas seuls, capables d'améliorer nettement les propriétés physiques du sol et de créer un profil cultural satisfaisant, il convient de rechercher si cet objectif ne peut être atteint par une intervention humaine plus poussée faisant jouer les facteurs mécaniques (travail du sol) employés seuls ou en association avec les facteurs biologiques (enfouissement de matière végétale).

Par ailleurs, les opinions des agronomes divergent en ce qui concerne l'intérêt d'un travail profond du sol pour la zone tropicale sèche. Une mise au point s'impose donc pour tenter de mieux appréhender l'incidence du travail du sol, sur le sol même, et sur les cultures.

Contraintes pédoclimatiques en zone tropicale sèche.

Celles-ci sont assez sévères. En raison de la faible durée de la saison des pluies et des baisses de rendements entraînées par les retards au semis, le travail de préparation du sol est souvent difficilement réalisable en début de saison des pluies. Il est par ailleurs impossible, la plupart du temps, pendant la saison sèche, par suite de la très forte cohésion du sol.

Les effets directs du labour sur le sol.

Les effets du labour se manifestent sur les caractéristiques du sol suivantes :

*structure,
régime hydrique,
granulométrie,
susceptibilité à l'érosion,
matière organique et vie microbienne.*

Il apparaît que le labour a des incidences multiples et complexes sur les propriétés physiques du sol. Cependant, celles qui semblent jouer le rôle le plus important ont trait aux modifications de structure et de porosité quantitative et qualitative. Ces caractéristiques agissant en effet sur l'enracinement des végétaux, le labour entraîne, de ce seul fait, une amélioration du système racinaire des végétaux, avec tout ce que cela comporte pour leur alimentation hydrique et minérale, et donc les rendements agricoles.

En ce qui concerne l'action du labour sur la susceptibilité à l'érosion, il semble que sa fâcheuse réputation soit due à une confusion, longtemps faite en zone tropicale sèche, entre profondeur et intensité de travail. Dans la plupart des cas, il joue au contraire un rôle améliorateur dans la conservation du sol.

Les effets directs du labour sur les cultures :

Ils se manifestent sur :

*les adventices des cultures,
l'enracinement des plantes cultivées,
le développement végétatif et les rendements agricoles.*

Le premier point représente un aspect bien connu et important du labour ; un labour bien fait peut économiser un ou deux binages, ce qui est essentiel dans une zone où la lutte contre l'herbe constitue le souci majeur des paysans et le premier goulot d'étranglement de la production agricole. Ce rôle du labour, important dans la pratique agricole, n'est cependant pas suffisant pour rendre compte des augmentations de rendements observées dans des expérimentations soignées.

L'action du labour sur l'enracinement des plantes cultivées est très marquée tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Il agit à la fois sur le poids, la longueur et la surface des racines ainsi que sur leur répartition dans le profil. Des liaisons très étroites ont été mises en évidence entre porosité, développement racinaire et rendements.

Pour chaque culture, on examine ensuite séparément les effets sur les rendements des deux types de labours : labours ordinaires et labours d'enfouissement de matière végétale. Le tableau suivant résume sous une forme synthétique l'ensemble des résultats obtenus :

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES EFFETS MOYENS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES
DANS LA ZONE TROPICALE SÈCHE DE L'OUEST AFRICAÏN
(essais de l'IRAT, sols à dominante sableuse)

Cultures	Labours ordinaires						Labours d'enfouissement					
	Nombre de résultats annuels			Rend ^t des témoins (kg/ha)	Plus-values sur labour		Nombre de résultats annuels			Rend ^t des témoins (kg/ha)	Plus-values sur labour	
	Totaux	Positifs	(%)	(kg/ha)	(kg/ha)	(%)	Totaux	Positifs	(%)	(kg/ha)	(kg/ha)	(%)
Mil (grain)	22	21	95	1.245	+ 256	+ 21	5	4	80	971	+ 365	+ 38
Sorgho (grain)	46	39	85	1.874	+ 536	+ 29	2	2	100	2.039	+ 532	+ 26
Maïs (grain)	6	6	100	2.093	+ 568	+ 27	12	10	83	1.474	+ 970	+ 66
Riz pluvial (paddy)	11	11	100	966	+ 1.515	+ 157	1	1	100	1.547	+ 705	+ 46
Cotonnier (coton grain)	7	7	100	1.629	+ 433	+ 27	12	10	83	1.240	+ 423	+ 34
Arachide (gousses)	31	27	87	1.412	+ 274	+ 19	113	81	71	1.661	+ 119	+ 7

Les résultats montrent que les labours ont une influence favorable sur toutes les cultures. Cette influence est variable avec les sols, les années et les cultures. On peut donc estimer que le labour joue, en zone tropicale sèche, un rôle semblable à celui qu'il joue en zone tempérée, et constitue un facteur important de l'amélioration des rendements.

A cet égard, les labours d'enfouissement de matière verte et de pailles peuvent être regardés comme des modalités particulières de réalisation des labours, produisant sur les propriétés physiques du sol les mêmes effets avec, en supplément, l'action spécifique de la matière végétale enfouie. Les effets sur les rendements des cultures sont comparables et, dans certains cas, supérieurs à ceux des labours ordinaires, pour la quasi-totalité des plantes. Seule l'arachide semble faire, jusqu'à présent, exception à cette règle, car les résultats obtenus après labours d'enfouissement, s'ils sont dans l'ensemble favorables à cette technique, présentent cependant une proportion plus forte de réponses négatives ou nulles que pour toutes les autres cultures.

Les effets résiduels des labours sur le sol et les cultures.

Après un labour ordinaire, l'effet d'ameublissement sur le sol persiste après la première culture, à condition que celle-ci ait été semée précocement. Le maïs semble faire exception à cette règle. Il y a peu de résultats sur les effets résiduels des labours, sur les rendements de la deuxième culture et des cultures suivantes. Des effets très importants sont observés sur la succession riz-riz.

La rémanence d'action sur le sol et les cultures d'un labour d'enfouissement est très différente suivant la nature de la culture-test succédant au labour.

Après une arachide, les modifications apportées au profil cultural et à la structure paraissent très atténuées ; d'après les impressions visuelles et tactiles, il y a une nette tendance à la reprise en masse du profil. Les mesures de pénétrométrie et d'enracinement permettent cependant de déceler un certain effet résiduel qui peut persister pendant trois ans. Cet effet se traduit par des améliorations de rendements assez modestes sur les deuxième et troisième cultures.

Après une céréale, au contraire, le profil cultural est beaucoup mieux conservé. La conservation de l'ameublissement est nette ainsi que son incidence sur l'enracinement. D'après les résultats disponibles, les effets sur les rendements de la deuxième culture peuvent être très importants, surtout lorsqu'il s'agit encore d'une céréale.

Le tableau suivant illustre cette influence de la rotation sur la rémanence d'action du labour d'enfouissement :

ÉVOLUTION DES PLUS-VALUES DE RENDEMENT APPORTÉES PAR LE LABOUR D'ENFOUISSEMENT
DANS DIFFÉRENTES ROTATIONS

Successions culturales	Nombre de résultats annuels		Rendement moyen témoin (kg/ha)	Plus-values sur labours	
	Totaux	Positifs		(kg/ha)	%
1. Arachide	113	81	1.661	+ 119	+ 7
2. Mil	56	38	971	+ 109	+ 11
3. Arachide	56	35	1.655	+ 157	+ 9
1. Mil	5	4	971	+ 365	+ 38
2. Arachide	4	3	1.810	+ 175	+ 10
1. Maïs	12	10	1.474	+ 970	+ 66
2. Sorgho	1	1	2.325	+ 590	+ 25
1. Sorgho	3	3	1.520	+ 359	+ 24
2. Sorgho	1	1	1.618	+ 705	+ 43
3. Arachide	1	1	2.489	+ 176	+ 7

Modalités des réalisations des labours.

Sont étudiés successivement :

— *les facteurs communs aux deux types de labours : instruments utilisés, forces de traction, profondeur de travail, humidité du sol, époque de travail et interaction avec la date de semis, modelé du terrain par les labours ;*

— *les facteurs propres aux labours d'enfouissement : nature du matériel végétal enfoui, durée de la sole de régénération, quantité de matière végétale enfouie, conditionnement de la plante avant enfouissement ;*

— *le problème de la reprise des labours pour la préparation du lit de semences.*

Interactions entre labours et engrais minéral.

Dans le cas des labours ordinaires, un seul résultat d'essai met en évidence un cas d'interaction, statistiquement significatif sur sorgho en sol sableux : l'apport de fortes doses d'azote a été nettement valorisé par le travail profond. Cependant, les résultats des champs de pré vulgarisation, plus nombreux et mieux répartis géographiquement, donnent à penser que l'importance de l'interaction dépend de la culture et de l'écologie considérée.

Il en est de même pour les labours d'enfouissement de matière verte.

Il a été prouvé, dans un certain nombre de cas, que l'enfouissement simultané d'une jachère ou d'un engrais vert et d'une forte dose de phosphate tricalcique favorisait nettement l'action de cet engrais. Ceci s'expliquerait par le placement à bonne profondeur, grâce au labour, du phosphate naturel mis ainsi directement à la disposition des racines. Il en résulterait une action plus efficace de la fumure forte, plus riche en phosphate naturel, sur les céréales (à enracinement fasciculé), dans les zones à forte pluviosité.

Travaux de préparation autres que les labours.

Les pseudo-labours permettant de travailler le sol sans retournement apportent des suppléments de rendement non négligeables sur toutes les cultures. Les effets sont dans tous les cas inférieurs à ceux du labour, mais ils peuvent constituer, pour le paysan, de bonnes solutions de remplacement. Le labour est, en effet, une opération assez longue à réaliser en culture attelée et qui ne peut être effectuée sur tous les champs de l'exploitation sans risques de perturber gravement le programme des travaux pour les différentes cultures. Les pseudo-labours présentent l'avantage de pouvoir être effectués en sec, c'est-à-dire hors saison culturale. En humide, leur réalisation demande beaucoup moins de temps que pour un labour et perturbe moins le programme de travail de l'exploitation.

Autres travaux du sol.

Les façons d'entretien et les travaux de récolte sont rapidement évoqués. Les binages paraissent avoir assez peu d'intérêt en tant que travail du sol ; l'arrachage de l'arachide à la lame souleveuse en culture attelée produit sur le profil cultural une action non négligeable, bien qu'assez superficielle.

La destruction des billons en sec après une culture de cotonnier constitue un véritable travail du sol, difficile à réaliser, mais dont l'influence sur les rendements semble intéressante.

Conclusion.

Comme dans les pays tempérés, le travail profond du sol se révèle être, dans les zones tropicales, le moyen le plus efficace pour créer le profil cultural. Les conséquences sur le plan agronomique en sont importantes : meilleur développement racinaire favorisant la croissance végétale et entraînant des augmentations de rendements sensibles sur la plupart des cultures. Son intérêt économique est donc notable.

Les labours constituent les modalités de travail profond du sol les plus efficaces et les plus généralisables. Parmi les labours, les labours d'enfouissement de matière végétale (pailles ou matière verte) se révèlent particulièrement intéressants, car à l'action du labour proprement dit s'ajoute, sur la structure, l'effet spécifique de la matière végétale enfouie. Leur action sur le sol et les rendements est, par ailleurs, nettement plus durable que celle des labours ordinaires.

Or, dans les zones sahéennes et sahélo-soudaniennes, les labours d'engrais vert ou de jachère constituent bien souvent, du fait de la courte durée de l'hivernage, les seules modalités possibles de travail profond du sol au cours de la saison de culture. La succession culturale prend donc une grande importance si l'on veut maintenir longtemps les effets bénéfiques de cet enfouissement.

SUMMARY.—THE IMPROVEMENT OF THE CULTURAL PROFILE OF THE SANDY AND SANDY-CLAY SOILS IN THE WEST AFRICAN TROPICAL RAINFED AREA AND ITS EFFECT ON AGRICULTURE (FROM THE WORK OF IRAT RESEARCH WORKERS IN WEST AFRICA).

In the tropical rainfed area, the physical characteristics of the soils in relation to plant growth and their improvement with a view to increasing productivity have not been extensively studied up to now. In Senegal, it has been tried the last years to understand the process of evolution of the physical soil characters when the agronomist intervenes and the resulting effects for the crop plant. This study is largely drawn from the method described by HÉNIN and his collaborators.

The study of the structural profile is essentially based on the physical characteristics and the organic matter of soils. The chemical characteristics are taken into consideration as far as they interfere with the former. The results mentioned in this study do not concern only Senegal, but they can be applied to all the sandy or sandy-clay soils of the West African tropical rainfed area. This area is defined by the length of the rainy season which must consist of two to five rainy months (≥ 50 mm).

The plan of the study is given.

Chapter I. Methods to study the cultural profile.

The study of the cultural profile is made both from direct observation and supplementary measurements in the field and in laboratory. The observation method is closely related to the process described by S. HÉNIN and his collaborators. Yet the application of this method to the sandy soils of the tropical rainfed area is somewhat particular. These peculiarities are given.

The supplementary measurements concern:

- the grain size distribution,*
- the structural stability,*
- the bulk density and porosity,*
- the moisture and the water dynamics characters,*
- the penetrometry,*
- the organic matter,*
- rooting.*

In each case, the measurement methods are described and the exactness of the results estimated.

Chapter II. The natural factors. Climates and soils and their effect on the cultural profile evolution.

The different aspects of climate in the area concerned are studied: the rain amount and distribution, the potential evapotranspiration and its variations, the water balance and the periods when water is available. A special attention is given to rain erosiveness: intensity, kinetic energy, WISCHMEIER's rain index and FOURNIER's climate index.

It appears from this that climate is highly hard in all the West African tropical area and particularly in its South-Western extremity.

The soils in this area are readily inventoried. They present common characters which have an effect on the cultural profile and its evolution. They are :

*the usually sandy or sandy-clay texture of the surface horizons;
kaolinite being markedly prevalent in the clay fraction of the soils.*

When combined these two characteristics have an important effect on the cultural profile: the swelling and shrinkage of the soil which usually result from moisture changes do not exist or are not very marked. The soil is therefore not cracked or only very slightly. This being so the mechanical factors of soil working will play a part all the more important in dividing and creating a structure as they must make up for the absent or inadequate natural mechanisms. The soils in the Bambey and Sefa stations, on which many cultural practices were tested, are described, with their physical characters being stressed.

Then the problem of the evolution of the cultural profile over the year under the effect of climate is examined.

In the rainy season, when they are very hard the rains have an effect of compaction, compression, structure degradation and erosion all the more important as the soil is less protected by vegetation.

During the dry season, there is a very high increase in cohesion, a true "solidification" of the soil as a result of the profile drying. The evolution in time of the two processes of drying and cohesion development are compared. In the selected example the first process is more rapid and the cohesion development appears only when the soil is already largely dried out.

In conclusion, if some natural factors can play a favourable part in the improvement of the cultural profile in the temperate countries, the case is different with the sandy soils in the tropical rainfed area. On the contrary, both the soil nature and the exceptional climate hardness contribute to the degradation of the profile and the destruction of the structure. A priori, the physical properties of the soils will not be favourable for the establishment of crop plants. It is necessary to see to what extent the biological factors and man's action will be able to create a satisfactory cultural profile from initially poor conditions and then to protect this cultural profile against the very highly degrading effect of climate.

Chapter III. Biological factors: wild-life and vegetation and their influence on the crop profile and agricultural productivity.

The biologic factors which can have an effect on the cultural profile and crop production are the fauna and flora of the soil together with vegetation. The part played by the soil fauna is briefly described as not many precise observations have been made in this field. The part played by vegetation is then studied in detail.

Natural vegetation and crop.

The natural or cultivated vegetation in the rainfed tropical areas is summarily described and it concerns only Senegal. The economic and agricultural data relating to fallows and crop plants in Senegal are summarized in a recapitulative table.

Special attention is given to the rooting of the main tropical plants: description and quantitative data. The relationship between rooting, plant growth and production are then investigated. Close linear relations between rooting and grain yields have been found in Senegal on sorghum, groundnut and maize. It was showed that a good rooting is important for the crops.

Reciprocal effect between the physical proprieties of the soil and vegetation.

Among the physical proprieties of the soil which have an effect on plant growth and production, porosity which is in the aggregate measured by the bulk density appears to be the most important. Inverse relations were found in Senegal between the bulk density and rooting as well as between the bulk density and grain yield on sorghum, groundnut and maize: small increases in the bulk density can result in high decrease of the root weight and grain weight. The mechanism of the porosity effect on rooting are discussed in terms of the permeability changes, air and oxygen supply, mechanical resistance to penetration. It seems that this last mechanism best reveals in the soils studied the response of rooting to the porosity changes of the environment. It is pointed out that in the sandy soils porosity is generally lower than 40%, which is considered as the limiting value for a good rooting.

On the other hand, vegetation has an effect on the physical proprieties of soils through the ground cover which prevents the soil to be degraded by climate, the roots which act on the structure and in the long run, the organic restitutions which modify the humus balance of soils.

These different mechanisms are reviewed. As regards the first point it appears that if the part played by the ground cover in the soil protection seems to be secondary during the dry season, it is of prime importance during the wet season: very conclusive experiments have been carried out in Senegal in this field. The structuring effect of the roots when there is no preliminary tillage seems very poor, this is related to the low ability of the sandy or clay-sandy soils to crack and divide.

The compared effect of the important formations, woodland, herbaceous fallow, crops, on the physical proprieties of the soils are then studied.

We have first the effects on the hydrodynamic characteristics of the soils: pF curve and permeability which are taken into account. We can see a marked decrease of the water infiltration into the soils when we pass from the forest to a herbaceous type of vegetation: fallow or crops; there is little difference from this point of view between fallows and crops as well as between the various crops.

The water and heat regimes of the soils are also completely modified when we pass from a forest vegetation to a vegetation of the herbaceous type; as regards the first point, the consequences of the deforestation of large areas on the flow regime in the thalwegs are illustrated by the example of Sefa in Casamance.

Then the respective effects of the formations on the soil structure are compared such as they can be deduced from morphological investigations, penetrometry measurement, bulk density, structure stability and erosion measurements. Here again, the part played by the forest vegetation is markedly different from that of the herbaceous vegetation, both fallow and various crops.

Reciprocal influence of the plants, incidence on the plant production.

These influences are complex and not limited to the effects alone of vegetation on the physical proprieties of the soils; they have also an effect on the chemical proprieties and the mineral balance, on the biochemical proprieties and the humus balance of the soils as well as on the health conditions of the crops. These different factor sets are examined.

Then the problem of the combinations of the plants between themselves in time and space is tackled: crop successions and associations when there is no tillage.

The traditional crop successions are briefly described then the solutions suggested by the agronomists are reviewed. Particular attention is given to the part played by the herbaceous fallow in the rotation and the incidence on the crop yields of the following factors: fallow length, crop length, fallow treatment. It results from the study of the experimental data that the herbaceous fallow is of interest for the poorest areas from the point of view of climate and soil; it allows then to maintain production at a mean level. It does not seem possible in this case to explain its action only by its incidence on the mineral balance.

But in the richer areas as regards climate and soil, the part played by these fallows in the rotation is not proved. Their effect on groundnut yields with light fertilizing is indeed not very marked. As regards cereal yields it is impossible to draw a conclusion because of the insufficient mineral applications in the experiments. It can be expected that with appropriate fertilizing the conclusions drawn for the cereals would be almost similar to these for groundnuts.

Beside the problem of introducing a short fallow in to the rotation the problem of the succession of the crops among themselves and of monoculture is raised. As the number of plants is somewhat reduced, there are not many possible combinations. Without tillage, the continuous linear successions, based whether on cereals or groundnut, give not so good results as the rotations in which the various plants alternate. This can be explained by various considerations about the exploiting of the soil by the different roots and the health plant problem. Under these conditions, the best solution seems to be the legume-cereal succession.

*The plants can be combined not only in time but also in space on the same field: we speak then of associations. The associations trees/crops are first studied. Trees which are kept by the farmers for their wood or their fruit are usually scattered in the traditional field. This association is of interest for agriculture: trees have an effect on the microclimate and make the plough layer richer by their organic remains, partly at the expense of the deep soil horizons. From this point of view a tree is particularly interesting, *Acacia albida*. The fruits of this legume are besides highly valuable fodder resources. All the agricultural interest of *Acacia albida* savannah-forest is described and analysed.*

The associations of crop plants are often slightly more productive than pure crops but this system is no so superior to the others systems that its extension in the area studied might be now recommended.

Conclusion.

*As regards the effects on the soil and particularly on the physical proprieties of the soils there is a marked opposition between the forest vegetation and the vegetation of a herbaceous type. As complete deforestation is generally a necessary preliminary to cultivation there is evidently a rapid deterioration of the physico-chemical proprieties of soils, with all the consequences it involves for the crop yields. It can be attempted to reach an arrangement in some associations trees/crops, which would allow to maintain in part the advantages of the forest vegetation for the soil, in introducing or maintaining the most interesting forest trees such as *Acacia albida*.*

When there is no preliminary tillage the effect of a vegetation of the herbaceous type is poor in the rainfed tropical areas. From this point of view the various types of herbaceous vegetation: short natural fallows and various crops are not very different from one another. The possible combinaisons between themselves in time and space: rotation with or without fallow, crop alternation and associations are slightly profitable. This remark must be slightly modified if other considerations are taken into account such as the incidence on the mineral balance and the plant health problems.

The part played by the herbaceous vegetation may be important in the rainfed tropical areas to maintain the cultural profile but it cannot alone markedly improve the physical proprieties of the soils which are unfavourable under natural conditions and create a satisfactory cultural profile which would allow to progress towards an increased agricultural productivity. It is therefore necessary to examine whether this cannot be obtained by an increased human action which would involve mechanical factors (tillage) alone or in association with biological factors (turned under vegetable matter).

Chapter IV. Effects of human intervention on the crop profile and agricultural yields: the role of soil with or without burying plant-life.

As it does not seem that the biological factors alone can significantly improve the physical proprieties of the soils and develop a satisfactory soil profile it must be seen whether it is not possible to reach this objective by more advanced human interventions acting on mechanical factors (soil tillage) alone or in association with biological factors (turned under vegetable matter).

On the other hand, the agronomists do not agree on the interest of deep soil tillage in the dry tropical areas. It is therefore necessary to try to better understand the effect of soil tillage on the soil itself and on the crops.

Pedoclimatic constraints in a dry tropical area.

They are rather hard. Because of the short duration of the rainy season and the reduced yields resulting from delayed sowing it is often difficult to carry out tillage operations at the beginning of the rainy season. Moreover, tillage in most cases is impossible during the dry season because of the very high degree of soil cohesion.

Direct effects of ploughing on the soil.

Ploughing has an effect on the following characteristics of the soil:

- structure,*
- water duty,*
- grain size distribution,*
- erosion susceptibility,*
- organic matter and microbial life.*

Ploughing seems to have numerous and complex effects on the physical proprieties of soil. Nevertheless, the most important ones concern the changes of structure and of quantitative and qualitative porosity. As these characteristics have an effect on plant rooting, ploughing thereby improves the roots of the plant, with all the consequences this implies as regards water and mineral supply and crop yields.

Concerning the effect of ploughing on the erosion susceptibility, it seems that its bad reputation results from the fact that depth and intensity of soil working have been confused for a long time in the dry tropical areas. On the contrary, in most cases it improves soil conservation.

Direct effects of ploughing on the crops.

They appear on:

- the weeds,*
- the rooting of the crop plants,*
- the vegetative development and crop yields.*

The first point is a well known and important aspect of ploughing; one or two hoeings can be saved by good ploughing, which is essential in an area where weed control is the most serious concern of the farmer and the first bottleneck of crop production. This part played by ploughing, which is important as cultural practice, is not nevertheless sufficient to explain the increased yields observed in trials carefully carried out.

The effect of ploughing on the rooting of crop plants is highly significant both from a quantitative and qualitative point of view. It has an effect both on the weight, length and surface of the roots and their distribution in the profile. Close relationships have been shown between porosity, the root development and yields.

The effects on yields of the two types of ploughing are then studied for each individual crop: simple ploughing and turning under of vegetable matter. The following table sums up synthetically the results obtained:

RECAPITULATIVE TABLE OF THE MEAN EFFECTS OF PLOUGHING ON THE CROP YIELDS
IN THE DRY TROPICAL AREA IN WEST AFRICA
(IRAT trials, predominantly sandy soils)

Crops	Simple ploughing						Turning under					
	Number of annual results			Check yield (kg/ha)	Excess yield		Number of annual results			Check yield (kg/ha)	Excess yield	
	Total	Positive	(%)		(kg/ha)	(%)	Total	Positive	(%)		(kg/ha)	(%)
Millet (grain)	22	21	95	1.245	+ 256	+ 24	5	4	80	971	+ 365	+ 38
Sorghum (grain)	46	39	85	1.874	+ 536	+ 29	2	2	100	2.039	+ 532	+ 26
Maize (grain)	6	6	100	2.093	+ 568	+ 27	12	10	83	1.474	+ 970	+ 66
Rainfed rice (paddy)	11	11	100	966	+ 1.515	+ 157	1	1	100	1.547	+ 705	+ 46
Cotton-tree (grain cotton)	7	7	100	1.629	+ 433	+ 27	12	10	83	1.240	+ 423	+ 34
Groundnut (pods)	31	27	87	1.412	+ 274	+ 19	113	81	71	1.661	+ 119	+ 7

The results show that ploughing has a favourable effect on all the crops. This effect depends on the soil, the year and the crops. Ploughing seems to play in the dry tropical areas the same part as in the temperate areas and it is one of the important factors of yield improvement.

In this respect, the turning under of green matter and straw can be considered as particular methods of ploughing which have the same effect on the physical properties of the soil with, in addition, the specific effect of the turned under vegetable matter. The effects on crop yields are similar and in some cases, superior to those obtained with ordinary ploughing for almost all the plants. Groundnut seems so far to be the only exception to this rule for the results obtained with turning under, even though they are favourable on the whole, give nevertheless a higher proportion of negative or null responses than all the other crops.

Residual effects of ploughing on the soil and the crops.

After ordinary ploughing, the effect of soil loosening continues after the first crop provided that this crop was early sown. Maize seems to be an exception to this rule. There are few results on the residual effects of ploughing on the yields of the second crop and the following crops. Very important effects are observed on the rice-rice succession.

The residual effect of turning under on the soil and the crops is very different according to the nature of the indicator crop which follows ploughing.

After groundnut the changes of the soil profile and structure seem to be very reduced; from visual and tactile observations it can be seen that the profile shows a marked tendency to re-solidify. Nevertheless the penetrometry and rooting measurements make it possible to detect a certain residual effect which can last over three years. This effect results in rather moderately improved yields for the second and third crops.

On the contrary, after a cereal, the soil profile is much better preserved. The maintenance of loosening is clear together with its effect on rooting. From the results available, the effects on the yields of the second crop can be very significant principally when it is again a cereal.

The following table shows this effect of rotation on the residual action of turning under:

EVOLUTION OF THE YIELD SURPLUS WITH TURNING UNDER
IN THE VARIOUS ROTATIONS

Crop successions	Number of annual results		Mean check yield (kg/ha)	Yield surplus over ploughing	
	Total	Positive		(kg/ha)	(%)
1. Groundnut	113	81	1.661	+ 119	+ 7
2. Millet	56	38	971	+ 109	+ 11
3. Groundnut	56	35	1.655	+ 157	+ 9
1. Millet	5	4	971	+ 365	+ 38
2. Groundnut	4	3	1.810	+ 175	+ 10
1. Maize	12	10	1.474	+ 970	+ 66
2. Sorghum	1	1	2.325	+ 590	+ 25
1. Sorghum	3	3	1.520	+ 359	+ 24
2. Sorghum	1	1	1.618	+ 705	+ 43
3. Groundnut	1	1	2.489	+ 176	+ 7

Conditions of ploughing.

There are successively studied:

— the factors common to the two ploughing types: the implements used, tractive force, tillage depth, soil moisture, tillage time and its interaction with sowing time, land relief after ploughing;

— the factors specific to turning under: nature of the vegetable matter turned under, length of the regenerating plot, amount of vegetable matter turned under, conditioning of the plant before turning under;

— the problem of resuming ploughing for seedbed preparation.

Interaction between ploughing and fertilizers.

In the case of ordinary ploughing one trial result alone shows an interaction case which is statistically significant on sorghum on a sandy soil: the effect of high nitrogen applications was markedly increased by deep tillage. Nevertheless, the results from pre-extension fields, more numerous and geographically better distributed, seem to indicate that the importance of this interaction depends on fertilizing and the ecology considered.

The results relative to the turning under of green matter are the same.

It was proved, in a number of cases, that the simultaneous turning under of a fallow or green manure and a high application of tricalcium phosphate markedly increased the effect of this fertilizer. This could be explained by the placement at a good depth, by ploughing, of natural phosphate which would thus be made directly available to the roots. It would result in a more efficient effect of high fertilizer applications, richer in natural phosphate, on cereals (with fasciculate rooting) in the high rainfall areas.

Preparation works other than ploughing.

Pseudo-ploughing which allows to work soils without turning it over, produces not negligible yield increases for all the crops. The effects are nevertheless inferior to those of ploughing but they can be good substitution solutions for the farmer. Ploughing is, indeed, a rather long operation in the case of drawn cultivation and it cannot be used on all the fields without running the risk of seriously disturbing the operation program for the different crops. Pseudo-ploughing has an advantage; it can be employed under dry conditions i.e. out of the crop season. Under wet conditions, it requires much less time than ploughing and disturbs less the schedule of operations of the farmer.

Other works relative to soil.

Weeding and harvesting are rapidly described. Hoeing does not seem to be of great interest when considered as soil working; the lifting of groundnut with a lifter in the case of drawn cultivation has a not negligible effect on the soil profile though this effect is rather superficial.

The destruction of ridges under dry conditions after a cotton crop is a true soil working operation which is difficult to carry out but which seems to have an interesting effect on yields.

Conclusion.

In tropical areas as in temperate areas, deep soil tillage is seen to be the best way to create the soil profile. The agricultural consequences are important: a better root development which favours the vegetative growth and produces marked increased yields for most crops. Its economic interest is appreciable.

Ploughing is the most efficient and generalizable method of deep soil working. Among ploughing, the turning under of vegetable matter (straw or green matter) shows to be of particular interest for the specific effect of the turning under of vegetable matter on structure is added to the action of ploughing proper. Their effect on the soil and yields is, moreover, markedly more lasting than that of ordinary ploughing.

Now, in the sahelian and sudanian-sahelian zones the ploughing of green matter or of a fallow is very often the only possible method which can be used, during the crop season, for the deep working of soil because of the short rainy season. The crop succession is therefore important if the favourable effects of turning under are expected to be maintained for a long time.

RESUMEN. — LA MEJORA DEL PERFIL CULTURAL EN LOS SUELOS ARENOSOS Y ARENO-ARCILLOSOS DE LA ZONA TROPICAL SECA DEL AFRICA OCCIDENTAL Y SUS INCIDENCIAS AGRONOMICAS (SEGUN LAS INVESTIGACIONES DE LOS TECNICOS DEL IRAT).

En las zonas tropicales secas, se han realizado pocos estudios sobre las propiedades físicas de los suelos en relación con el crecimiento de los vegetales y su mejora para la obtención de un aumento de productividad. En Senegal, hubo una tentativa de esta índole, en los últimos años, para comprender mejor los procesos de evolución de las propiedades físicas de los suelos originados por la intervención del agrónomo, la cual influye en el desarrollo de la planta cultivada. Dicho estudio se refirió al método de estudio del « perfil cultural » expuesto por S. HÉNIN y sus colaboradores.

El estudio del perfil cultural se basa esencialmente en el conocimiento de la propiedades físicas de la materia orgánica de los suelos. Se toman en consideración las características químicas únicamente cuando se relacionan con las propiedades físicas. Los resultados presentados en este estudio se han obtenido en Senegal, pero pueden aplicarse a todos los suelos arenosos o areno-arcillosos de la zona tropical seca del Africa occidental. Se han determinado los límites de dicha zona teniendo en cuenta la duración de la estación de lluvias, la cual comprende dos a cinco meses lluviosos (≥ 50 mm).

Se han estudiado los siguientes aspectos.

Capítulo I. Métodos de estudio del perfil cultural.

En el estudio del perfil de cultivo, se recurre tanto a la observación directa como a las mediciones complementarias efectuadas « in situ » e « in vitro ». El método de observación se basa sobre todo en la técnica que fue descrita por S. HÉNIN y sus colaboradores. Sin embargo, la aplicación de dicha técnica en los suelos arenosos de la zona tropical seca presenta algunas particularidades. Se describen éstas.

Las mediciones complementarias se refieren a :

- la granulometría,*
- la estabilidad estructural,*
- la densidad aparente y la porosidad,*
- la humedad y las características hidrodinámicas,*
- la penetrometría,*
- la materia orgánica,*
- el arraigo.*

En cada caso, se describen las mediciones indicándose el grado de precisión de los resultados.

Capítulo II. Los factores naturales : el clima y el suelo ; su influencia en la evolución del perfil cultural.

Se estudia el clima de la zona bajo varios aspectos : volumen y distribución de la lluvia, evapotranspiración potencial y sus variaciones, balance hídrico y periodos de disponibilidades de agua. Se presta especial atención a la erosión causada por la lluvia : intensidad, energía cinética, índice de lluvia de WISCHMEIER e índice climatológico de FOURNIER.

Se llega a la conclusión de que, en toda la zona tropical del Africa occidental, especialmente al extremo Sur, el clima se caracteriza por su « agresividad ».

Se presenta un breve inventario de los suelos de la zona. Estos suelos tienen caracteres comunes que influyen en el perfil cultural y su evolución, a saber :

*la estructura, que suele ser arenosa o areno-arcillosa, de los horizontes superficiales ;
la predominancia acusada de la kaolinita en la fracción arcillosa del suelo.*

La combinación de ambas características tiene una consecuencia importante, en lo que se refiere al perfil cultural : la inexistencia o escasa importancia de los fenómenos de hinchamiento y contracción del suelo debidos a las variaciones de humedad. Así, la formación de fisuras es poco acentuada y a veces nula. En tales condiciones, los factores mecánicos de preparación del suelo desempeñan un papel muy importante en la acción de división y creación de una estructura, ya que deben compensar la ausencia o insuficiencia de los mecanismos naturales. Se describen los suelos de las estaciones agronómicas de Bamby y Sefa, donde se realizaron muchas experiencias sobre las técnicas de cultivo, insistiéndose en sus características físicas.

Por último se examina el problema de la evolución del perfil cultural, durante un año, bajo la influencia del clima.

Durante la estación de lluvias intensas, se observan fenómenos de compresión del suelo, de lavado y degradación de la estructura, y de erosión, los cuales son tanto más importantes cuanto que el suelo no tiene una capa vegetal de protección suficiente.

En la estación seca, se produce un aumento excesivo de la cohesión del suelo, como consecuencia del desecamiento del perfil. Se estudia y compara la evolución de los dos procesos de desecamiento y aumento de la cohesión. En el ejemplo escogido, el primer proceso es más rápido, manifestándose el aumento de la cohesión cuando el suelo ya ha perdido un alto porcentaje de humedad.

Conclusión.

En los países templados, ciertos factores naturales pueden desempeñar un papel favorable en la mejora del perfil del cultivo, pero no sucede lo mismo en los suelos arenosos de la zona tropical seca. Por el contrario, tanto la naturaleza de los suelos como la agresividad del clima favorecen la degradación del perfil y la desaparición de la estructura. Por consiguiente, a primera vista, las propiedades físicas de los suelos no son favorables a la implantación de cultivos. Se tratará, por lo tanto, de saber en qué medida los factores biológicos y la intervención del hombre permitirán, partiendo de condiciones mediocres, crear un perfil cultural satisfactorio y protegerlo contra la acción muy degradante del clima.

Capítulo III. Los factores biológicos, fauna y vegetación : su influencia en el perfil de cultivo y en la productividad agrícola.

Los factores biológicos que pueden influir en el perfil cultural y en la producción agrícola son la fauna y la flora del suelo, y también la vegetación. Se habla muy poco de la fauna del suelo, ya que ha sido objeto de pocos estudios. Pero se estudia en detalle el papel de la vegetación.

Vegetación natural y cultivos.

Se describe brevemente la vegetación natural o cultivada de las zonas tropicales secas, insistiéndose en el caso de Senegal. En lo que se refiere a dicho país, se presenta una tabla que constituye un resumen de los datos agronómicos y económicos sobre los barbechos y los cultivos.

Se ha estudiado especialmente el arraigo de las principales plantas tropicales : estudio descriptivo y datos cuantitativos. Asimismo, se trata de las relaciones que existen por una parte entre el arraigo y, por otra, el crecimiento y la producción vegetal. Se han evidenciado las relaciones muy estrechas entre el arraigo y los rendimientos de grano en sorgo, cacahuete (maní) y maíz, lo que pone de relieve la importancia del arraigo de los cultivos.

Influencias mutuas entre las propiedades físicas del suelo y la vegetación.

Entre las propiedades físicas del suelo que influyen en el crecimiento y en la producción vegetal, la porosidad, medida globalmente por medio de la densidad aparente, parece ser la propiedad más importante. En Senegal, se han observado relaciones inversas entre la densidad aparente y el arraigo, y también entre la densidad y el rendimiento de grano de los cultivos estudiados (sorgo, cacahuete y maíz) : un ligero aumento de la densidad aparente puede provocar una disminución importante del peso de las raíces y del grano. Se examina el efecto de la porosidad en el arraigo, teniendo en cuenta los cambios que intervienen en los siguientes aspectos : permeabilidad, aire y oxígeno disponible, resistencia mecánica a la penetración. Este último factor es el que explica mejor, en los suelos estudiados, las reacciones del arraigo ante los cambios de porosidad del suelo. Cabe observar que, en los suelos arenosos, la porosidad es normalmente inferior al 40 %, lo que se considera como un límite para un arraigo satisfactorio.

Por otro lado, la vegetación influye en las propiedades físicas del suelo, ya que la cubierta vegetal protege los suelos contra la degradación debida al clima, por medio del sistema radicular que influye en la estructura, y a largo plazo, a través de la restitución de materia orgánica que modifica el balance húmico del suelo. Se describen dichos mecanismos. En lo que se refiere al primer punto, el papel de la cubierta vegetal parece ser secundaria en la protección del suelo durante la estación seca ; por el contrario, es importantísimo en la estación lluviosa. Las experiencias realizadas en Senegal han permitido comprobar este hecho. La influencia positiva de las raíces en las estructuras es poco importante en ausencia del laboreo. Esto debe relacionarse con las características de los suelos arenosos o areno-arcillosos que se fisuran poco.

Se comparan las grandes categorías de formaciones vegetales (bosque poco denso, barbecho herbáceo, cultivos) y sus efectos respectivos en las propiedades físicas del suelo.

Se toman en consideración sus efectos en las características hidrodinámicas del suelo : curvas de pF y permeabilidad. Disminuye la infiltración del agua en el suelo cuando se pasa del bosque a la vegetación de tipo herbáceo (barbecho o cultivo). A este respecto hay poca diferencia entre el barbecho y el cultivo, o entre los distintos cultivos.

Existe también una gran diferencia en los regímenes hídricos y térmicos de los suelos entre la vegetación de bosques y la vegetación de tipo herbáceo. El caso de Sefa, en Casamance, demuestra los efectos de la despoblación de los bosques en gran escala en el escurrimiento del agua en los « thalwegs ».

Por último, se presenta un estudio comparativo de la influencia respectiva de las formaciones vegetales en la estructura del suelo, basándose en los exámenes morfológicos, las medidas de penetrometría, la densidad aparente, la estabilidad y los datos sobre la erosión. En este caso también, se observa una diferencia entre el papel de la vegetación de bosques y la vegetación herbácea (barbecho y cultivos).

Influencias mutuas entre las plantas, su efecto en la producción vegetal.

Tales influencias son muy complejas, ya que no se limitan únicamente al efecto de la vegetación en las propiedades físicas del suelo. Se manifiestan también en las propiedades químicas y el balance mineral, en las características bioquímicas y en el balance húmico de los suelos, así como en el estado sanitario de los cultivos. Se examinan los grupos de factores señalados.

Acte seguido, se trata del problema de las combinaciones entre plantas, en el tiempo y en el espacio : sucesión de cultivos, asociaciones en ausencia de laboreo.

Se describen brevemente las sucesiones de cultivo tradicionales, antes de recordar las soluciones propuestas por los agrónomos. Se insiste especialmente en el papel del barbecho en las sucesiones de cultivos. Y en la influencia de los factores siguientes en los rendimientos agrícolas : duración del barbecho, duración del periodo de cultivo, tratamiento del barbecho. Teniendo en cuenta el examen de los datos experimentales, se llega a la conclusión de que el barbecho herbáceo es bastante interesante en las zonas de clima y suelo poco favorables. En dichas condiciones, el barbecho permite mantener un nivel de producción medio. En este caso, su acción no parece explicarse únicamente por su influencia en el balance mineral.

En las zonas que gozan de condiciones edafológicas y climáticas más favorables, no se ha demostrado el papel del barbecho dentro de las rotaciones. Su influencia en los rendimientos de cacahuete, con una fertilización ligera, es poco marcada. En cuanto a los rendimientos de cereales, no puede sacarse ninguna conclusión, debido a la escasez de la fertilización mineral en la experimentación. Se cree que los resultados obtenidos con los cereales hubieran sido parecidos a los resultados del cacahuete.

Además de la necesidad de incluir el barbecho en las rotaciones, se plantean el problema de la sucesión de los cultivos y la cuestión del monocultivo. Se dispone de pocas especies vegetales y existen pocas posibilidades de combinaciones entre las mismas. Cuando no se prepara el suelo, las sucesiones lineares continuas, basadas tanto en los cereales como en el cacahuete, dan resultados menos satisfactorios que las sucesiones basadas en la alternancia de varias plantas. Esto se debe a las consideraciones relacionadas con la explotación del suelo por raíces de varias clases y a los problemas fitosanitarios. La mejor solución parece ser, por lo tanto, la alternancia leguminosa-cereal.

Las combinaciones de plantas pueden realizarse en el tiempo o en el espacio, en el mismo terreno. En tales casos, se trata de asociaciones. Existen asociaciones de árboles y plantas cultivadas. Por ejemplo, se observa la presencia de árboles en los campos de tipo tradicional, que los labradores conservan para disponer de frutas o de leña. Esta asociación es interesante desde el punto de vista agrícola: la presencia de los árboles influye en el microclima y sus detritos orgánicos enriquecen la capa arable, pero en perjuicio de los horizontes profundos del suelo. A este respecto, una especie de árbol resulta muy interesante: *Acacia albida*. Además, es una leguminosa cuyas frutos constituyen un recurso forrajero muy rico. El autor describe y analiza el interés del cultivo de *Acacia albida* en las actividades agropecuarias.

Las asociaciones entre plantas cultivadas son un poco más productivas que los monocultivos. Sin embargo, el aumento de productividad no es suficiente actualmente para que se recomiende la extensión de dichas asociaciones en la zona estudiada.

Conclusión.

En lo que se refiere a la influencia que ejercen en las propiedades del suelo, especialmente en las propiedades físicas, se observa una diferencia marcada entre la vegetación forestal y la vegetación de tipo herbáceo. La despoblación total de los bosques, que es, por lo general, necesaria para implantar los cultivos, provoca un deterioro rápido de las propiedades físico-químicas de los suelos, que influye en los rendimientos agrícolas. Puede buscarse un término medio que mantenga parcialmente el interés presentado por la presencia del bosque recurriendo a ciertas formas de asociaciones entre árboles y plantas cultivadas basadas en las especies más interesantes, como por ejemplo *Acacia albida*.

Cuando no se realiza una labor de preparación del terreno el efecto de una vegetación de tipo herbáceo en el suelo es poco marcada, en las zonas tropicales secas. A este respecto, existen pocas diferencias entre los distintos tipos de vegetación herbácea. Por consiguiente, se consideran poco prometedoras las combinaciones de varios cultivos en el tiempo o en el espacio: rotación con o sin barbecho, alternancia de cultivos, asociaciones. Pero se atenúa tal afirmación cuando se tienen en cuenta otros aspectos, como su influencia en el balance mineral y en los problemas fitosanitarios.

El papel de la vegetación herbácea puede ser importante en las zonas tropicales secas, para conservar un perfil de cultivo satisfactorio, lo que permite encaminarse hacia un aumento de la productividad agrícola. Se trata de saber por lo tanto si no se puede alcanzar la misma meta mediante una intervención más acentuada del hombre, basada en los factores mecánicos (preparación del suelo) empleados solos o en combinación con los factores biológicos (incorporación de la materia vegetal).

Capítulo IV. Los efectos de la intervención humana en el perfil de cultivo y los rendimientos agrícolas: el laboreo con o sin incorporación de materia vegetal.

Los factores biológicos no son los únicos factores que permiten mejorar las propiedades físicas del suelo y crear un perfil de cultivo satisfactorio, por lo cual conviene realizar investigaciones para saber si se puede alcanzar el objetivo deseado mediante una intervención humana más acentuada, basada en los factores mecánicos (preparación del terreno) empleados solos o en combinación con los factores biológicos (incorporación de materia vegetal).

Por otro lado, existen divergencias entre las opiniones de los agrónomos en lo que se refiere al laboreo profundo en las zonas tropicales secas. Un examen más completo es necesario para tratar de conocer mejor la influencia de la preparación del terreno en el suelo y en la planta.

Limitaciones agroclimatológicas en las zonas tropicales secas.

Las limitaciones edafológicas y climáticas son bastante severas. Debido a que la estación de lluvias dura poco tiempo y teniendo en cuenta las mermas de rendimiento causadas por el retraso de las siembras, resulta muchas veces difícil realizar la preparación del terreno al principio de la estación lluviosa. Además, la cohesión excesiva del suelo, durante la estación seca, impide muchas veces estas labores.

Los efectos directos del laboreo en el suelo.

Los efectos del laboreo influyen en las siguientes características :

*estructura,
régimen hídrico,
granulometría,
sensibilidad a la erosión,
materia orgánica y vida microbiana.*

Las labores tienen efectos múltiples y complejos en las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, dichos efectos se manifiestan sobre todo en términos de cambios de estructura y porosidad cuantitativa y cualitativa. Tales características influyen en el arraigo de las plantas y el laboreo determina, por tanto, una mejora del sistema radicular de los vegetales, que es muy importante para la nutrición hídrica y mineral de la planta y para los rendimientos.

En lo que se refiere a la influencia del laboreo en la susceptibilidad a la erosión, su mala reputación se explica por la confusión entre los conceptos de profundidad e intensidad del laboreo. En realidad, las más de las veces, permite mejorar la conservación del suelo.

Los efectos directos del laboreo en los cultivos.

Dichos efectos se refieren a :

*la lucha contra las malas hierbas,
el arraigo de las plantas cultivadas,
el desarrollo vegetativo y los rendimientos agrícolas.*

El primer efecto mencionado constituye un aspecto conocido e importante del laboreo ; una labor bien realizada permite evitar una o dos escardas, lo que es muy importante en una zona en donde la lucha contra las malas hierbas es la mayor preocupación del campesino y el principal punto de estrangulamiento de la producción agrícola. Este papel del laboreo, que es muy importante en la práctica agrícola, no es suficiente para explicar los aumentos de rendimiento observados en las experimentaciones bien realizadas.

El efecto del laboreo en el arraigo de las plantas cultivadas es muy marcado, tanto en el aspecto cuantitativo como en el cualitativo. Se manifiesta en el peso, la longitud y la superficie de las raíces, como en su distribución en el perfil del suelo. Se han observado relaciones muy estrechas entre porosidad, desarrollo radicular y rendimientos.

Para cada cultivo, se examinan separadamente los efectos en los rendimientos de los dos tipos de labores existentes : labor corriente y labor con enterramiento de la materia vegetal. La tabla siguiente da un resumen de los resultados obtenidos :

TABLA RECAPITULADORA DE LOS EFECTOS MEDIOS DE LAS LABORES EN LOS RENDIMIENTOS DE LOS CULTIVOS
EN LA ZONA TROPICAL SECA EN EL OESTE DE ÁFRICA
(ensayos realizados por el IRAT, sobre suelos con predominancia arenosa)

Cultivos	Labores corrientes						Labores con incorporación de vegetales					
	Número de resultados anuales			Rendimiento de los testigos (kg/ha)	Plus-valías obtenidas		Número de resultados anuales			Rendimiento de los testigos (kg/ha)	Plus-valías obtenidas	
	Totales	Positivos	(%)		(kg/ha)	(%)	Totales	Positivos	(%)		(kg/ha)	(%)
Mijo (grano)	22	21	95	1.245	+ 256	+ 24	5	4	80	971	+ 365	+ 38
Sorgo (grano)	46	39	85	1.874	+ 536	+ 29	2	2	100	2.039	+ 532	+ 26
Maíz (grano)	6	6	100	2.093	+ 568	+ 27	12	10	83	1.474	+ 970	+ 66
Arroz secano (paddy)	11	11	100	966	+ 1.515	+ 157	1	1	100	1.547	+ 705	+ 46
Algodón (grano)	7	7	100	1.629	+ 433	+ 27	12	10	83	1.240	+ 423	+ 34
Cacahuete (vainas)	31	27	87	1.412	+ 274	+ 19	113	81	71	1.661	+ 119	+ 7

Los resultados demuestran que las labores tienen una influencia favorable en todos los cultivos. Esta influencia varía en relación con el suelo, el año y la planta. Se puede considerar, por tanto, que, en las zonas tropicales secas, las labores tienen el mismo papel que en las zonas templadas, y constituye un factor importante de la mejora de los rendimientos.

A este respecto, las labores de incorporación de materia verde y pajas pueden considerarse como modalidades particulares de realización del laboreo, que tienen el mismo efecto que este, además de la acción específica de la materia vegetal enterrada. En casi todos los tipos de cultivo, los efectos sobre el rendimiento son parecidos a los efectos del laboreo corriente. La única excepción parece ser el cacahuete (mani) : los resultados de las labores de enterramiento de vegetales son positivos, por lo general, pero el número de repuestas negativas o nulas es mayor que en otros cultivos.

Los efectos residuales de las labores en el suelo y los cultivos.

El mullimiento producido por una labor corriente sigue manifestándose después del primer período de cultivo, siempre que la siembra haya sido temprana. El maíz puede constituir una excepción. Se dispone de pocos resultados sobre los efectos residuales de las labores en los rendimientos del segundo período de cultivo y los siguientes. Dichos efectos son importantes en la sucesión arroz-arroz.

La persistencia de los efectos de la labor de enterramiento de materia vegetal, en el suelo y en la planta, depende de la naturaleza del cultivo que sigue el laboreo.

Después del cacahuete, los cambios intervenidos en el perfil de cultivo son, según parece, poco marcados. Se cree que el perfil tiende a formar una nueva masa. Sin embargo, las mediciones sobre la penetración y el arraigo permiten observar cierto efecto residual que puede perdurar durante tres años. Tal efecto se manifiesta también por mejoras de rendimientos poco marcadas, en el segundo y el tercer período de cultivo.

Por el contrario, el perfil de cultivo se conserva mejor después del cultivo de un cereal. Se mantiene el efecto del mullimiento del terreno, lo que influye en el arraigo. Los resultados obtenidos muestran que el efecto sobre los rendimientos sigue siendo importante en el segundo cultivo.

La tabla siguiente demuestra la influencia de la rotación en la persistencia de la acción de las labores de incorporación :

EVOLUCIÓN DE LAS PLUS-VALÍAS DE RENDIMIENTO DEBIDAS A LA LABOR DE ENTERRAMIENTO
EN LAS DISTINTAS ROTACIONES

Sucesiones de cultivo	Número de resultados anuales		Rendimiento medio testigo (kg/ha)	Plus-valías en las labores	
	Totales	Positivos		(kg/ha)	(%)
1. Cacahuete	113	81	1.661	+ 119	+ 7
2. Mijo	56	38	971	+ 109	+ 11
3. Cacahuete	56	35	1.655	+ 157	+ 9
1. Mijo	5	4	971	+ 365	+ 38
2. Cacahuete	4	3	1.810	+ 175	+ 10
1. Maíz	12	10	1.474	+ 970	+ 66
2. Sorgo	1	1	2.325	+ 590	+ 23
1. Sorgo	3	3	1.520	+ 359	+ 24
2. Sorgo	1	1	1.618	+ 705	+ 43
3. Cacahuete	1	1	2.489	+ 176	+ 7

Modalidades de realización de las labores.

Se estudian los siguientes aspectos :

— factores comunes a los dos tipos de labores : aperos empleados, fuerza de tracción, profundidad de laboreo, humedad del suelo, época de laboreo e interacción con la fecha de siembra, aspecto del terreno después del laboreo ;

— factores particulares de las labores de incorporación de materia vegetal, duración de la parcela de regeneración, cantidad de materia vegetal enterrada, condicionamiento de la planta antes del enterramiento ;

— problema de la reanudación de las labores para la preparación del terreno destinado a la siembra.

Interacciones entre los labores y los abonos minerales.

En el caso de las labores corrientes, sólo se ha observado un resultado de ensayo significativo que indica una interacción : cultivo del sorgo en un suelo arenoso. En este caso, el empleo de dosis de abonos elevadas ha resultado más eficaz con una labor profunda. Sin embargo, los resultados obtenidos en los campos de predivulgación, más numerosos y mejor distribuidos desde el punto de vista geográfico permiten pensar que la importancia de la interacción depende de la fertilización y la ecología.

Se observa lo mismo en el caso de las labores de incorporación de materia verde.

Queda demostrado que, en ciertos casos, el enterramiento simultáneo de los vegetales del barbecho, o un abono verde, y de una dosis fuerte de fosfato tricálcico, favorece mucho la acción del abono. Esto se explicaría por el hecho de que el laboreo permite colocar el abono a la profundidad apropiada, donde las raíces pueden aprovecharlo directamente. Así, las dosis elevadas, más ricas en fosfato natural, resultarían más eficaces en el cultivo de los cereales, en las zonas muy lluviosas.

Otros trabajos de preparación.

Las pseudo-labores, que permiten preparar el suelo sin volteo de la tierra, aumentan bastante los rendimientos. Sin embargo, dichos rendimientos son inferiores a los que se obtienen con las labores propiamente dichas. Las pseudo-labores pueden constituir una buena técnica supletoria para los campesinos. En efecto, el laboreo es una operación que necesita mucho tiempo con la tracción animal y no puede efectuarse sin inconveniente en todas las parcelas dedicadas al cultivo. Las pseudo-labores presentan la ventaja de poder efectuarse « en seco », es decir fuera del periodo de cultivo. Además, en un terreno húmedo, requieren menos tiempo y perturban menos el programa de trabajo de la explotación.

Otros trabajos de preparación.

Las prácticas de mantenimiento y las técnicas de cosecha se describen en el artículo. Las binas parecen ser de escaso interés como técnica de preparación del suelo. El arrancamiento del cacahuate con una lámina levantadora (tracción animal) influye bastante en el perfil de cultivo, pero de modo superficial.

La destrucción de los cabellones, cuando el suelo está seco, después del cultivo del algodón, constituye una verdadera técnica de preparación del suelo, difícil de realizar, pero que influye de modo positivo en los rendimientos.

Conclusión.

Como en las zonas templadas, la labor profunda del suelo es, en las zonas tropicales, el medio más eficaz para crear el perfil de cultivo. Sus consecuencias son muy importantes desde el punto de vista agronómico : mejor desarrollo radicular, que favorece el crecimiento y determina aumentos de rendimiento en la mayoría de los cultivos.

El laboreo constituye la modalidad de preparación profunda del suelo más eficaz y más fácil de divulgar. Dentro de esta técnica, las labores de enterramiento de la materia vegetal (paja y materia verde) son muy interesantes, ya que el efecto específico de la materia vegetal en la estructura completa el laboreo propiamente dicho. Además, su efecto en el suelo y los rendimientos es más duradero que el efecto de los labores corrientes.

En las zonas sahéliicas y sahelosudanesas, las labores con enterramiento del abono verde o del barbecho constituye casi la única técnica de preparación profunda del suelo, durante el periodo de cultivo, debido a la brevedad de la estación de lluvias. La sucesión de cultivo es, por lo tanto, muy importante si se quiere mantener por mucho tiempo los efectos benéficos de la incorporación de vegetales.