

CC/BN

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT DE RECHERCHES  
AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES  
VIVRIERES

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)

Tome I

C. CHARREAU

Mars 1970

E R R A T U M

Dernier paragraphe, 6ème ligne, lire :

S. HENIN: J.P. DEFFONTAINES en Mai-Juin  
1964 et Septembre 1965, G. MONNIER en No-  
vembre 1966, C. MAERTENS en Octobre 1968.

Tome I

- INTRODUCTION
- CHAPITRE I. • Les méthodes d'étude du profil cultural
- CHAPITRE II. • Les facteurs naturels : climats et sols, et leur influence sur l'évolution du profil cultural

## AVANT PROPOS

Les études sur le travail du sol furent entrepris 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. GAUDEFROY 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 (1955-60) 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 je fus associé en qualité de pédologue, 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. HENIN 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. HENIN, J.P. DEFFONTAINES en octobre 1968. Ces chercheurs nous aidèrent grandement à préciser nos méthodes de travail, analyser les situations, 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 moi-même, de la réaliser. Pris par d'autres obligations, R. TOURTE fut contraint de m'abandonner la charge de la rédaction, tout en continuant à me faire bénéficier, de façon constante, de ses avis et critiques. Je me dois de souligner également l'aide précieuse que j'ai reçue dans ce domaine de R. NICOU, à qui, par ailleurs, en tant que responsable de la Division "Techniques culturelles" de l'IRAT/Sénégal, nous sommes redevables d'une part très importante des résultats expérimentaux concernant le travail du sol et l'enracinement des plantes cultivées.

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. J'ai 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 m'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 quelques peu les règles de références bibliographiques usuelles, en citant nommément 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 oeuvre commune :

Sénégal : D. BLONDEL, P. BONFILS, A. BONLIEU, S. BOUYER, C. CHARREAU, J. FAUCHE, J. FAURE, P. GAUDEFROY-DEMOMBYNES, R. HAMON, M. LE MOIGNE, M. MARA, J. MONNIER, R. NICOU, G. POCHIER, J.F. POULAIN, L. SEGUY, H. THIROUIN, R. TOURTE

Mali : M. BONO, C. PIERI.

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 me semble qu'une doctrine en faveur du travail du sol se dégage avec une certaine évidence.

A aucun moment de mon développement, je n'ai 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, j'ai souhaité m'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, j'espère 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./.

C. CHARREAU

## S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE I.-</u>	
LES METHODES D'ETUDE DU PROFIL CULTURAL DANS LES SOLS SABLEUX DES ZONES TROPICALES SECHES	6
1. La méthode d'observation	6
2. Les mesures annexes	8
21 La granulométrie	8
22 La stabilité structurale	8
23 Densité apparente et porosité	10
24 Humidité et caractéristiques hydrodynamiques	12
25 La pénétrométrie	14
26 L'enracinement	17
<u>CHAPITRE II.-</u>	
LES FACTEURS NATURELS : CLIMATS ET SOLS, ET LEUR INFLUENCE SUR L'EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL	23
1. Le climat	23
11 Les pluies : hauteur et répartition	23
12 L'évapotranspiration potentielle et ses variations	24
13 Le bilan hydrique	25
14 Les périodes de disponibilité en eau pour la végétation	25
15 L'érosivité des pluies	28
151 L'intensité des pluies	29
152 L'énergie cinétique des pluies	35
153 L'index-pluie de WISCHMEIER	38
154 L'indice climatique de FOURNIER	41
155 Comparaison entre les indices d'érosivité de FOURNIER et de WISCHMEIER	44

2. Les sols	:	45
21 Caractères communs aux sols de la zone influant sur le profil cultural et son évolution	:	46
22 Les sols de Bambey et Séfa : principales caractéristiques	:	47
221 Caractères généraux	:	47
222 Caractères physiques et hydrodynamiques	:	50
3. L'évolution du profil cultural, au cours de l'année, sous l'influence du climat	:	54
31 Evolution du profil cultural pendant la saison des pluies	:	55
311 Tassement du sol	:	55
312 Battance et érosion	:	55
32 Evolution du profil cultural au cours la saison sèche	:	56
4. Conclusion	:	58
	:	
	:	
	:	
	:	

## I N T R O D U C T I O N

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 influence-  
ra, 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. Les 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. HENIN et ses collaborateurs (4). Sous ce vocable, S. HENIN 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 Cote 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'CRSTOM.

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 2 mois et inférieure ou égale à 5 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 à 1500 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 n°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 conduit 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 5 mois et allant jusqu'à 7 mois. Cette troisième limite figure également sur le graphique n° 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 1/5.000.000e (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 kaolinitique. 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 5 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.

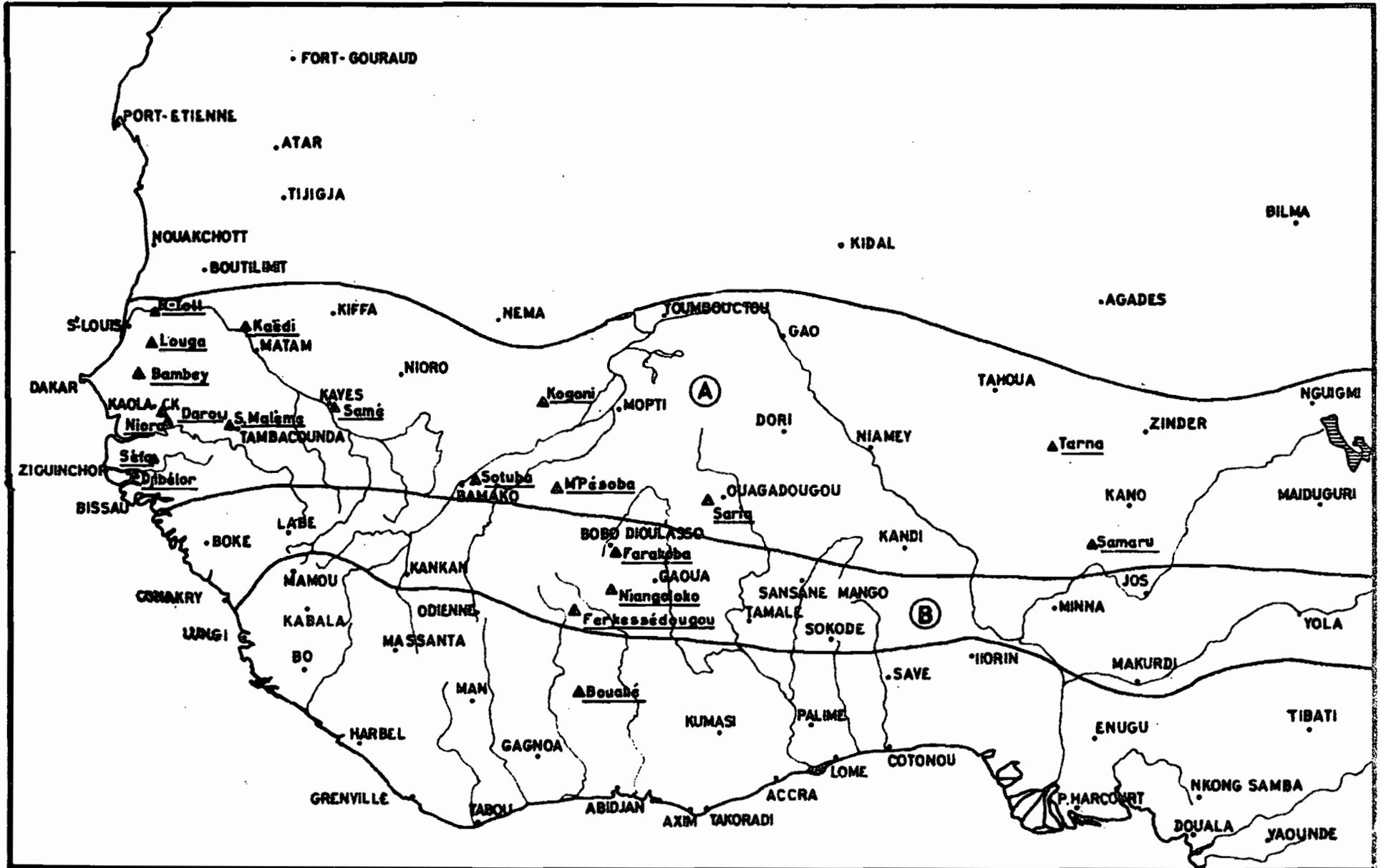
# G.n°0-1. Limites de la zone étudiée et implantation des principales Stations Agronomiques

**(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

B I B L I O G R A P H I E

- (1) - AUBREVILLE A., 1949  
Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale.  
Soc. d'Ed. Géograph., Marit. et Coloniales, Paris.
- (2) - COCHEME J. FRANQUIN P, 1967  
Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au Sud du  
Sahara en Afrique Occidentale  
Projet conjoint d'agroclimatologie FAC/UNESCO/OMM, FAO, Rome
- (3) - D'HOORE J.L., 1964  
La carte des sols d'Afrique au 1/5.000.000e  
Commission de Coopération Technique en Afrique, Lagos.
- (4) - HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R., MONNIER G., 1960  
Le profil cultural - Principes de physique du sol  
Société d'Editions des Ingénieurs Agricoles, Paris.
- (5) - O.U.A. (S.T.R.C.), 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 SECIES

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.

#### 1 - LA METHODE D'OBSERVATION

Elle s'inspire étroitement de la procédure décrite par S. HENIN 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 sol sableux humide, 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.

## 2 - 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

### 21. La granulométrie

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 à 50 g) pour avoir une bonne précision sur les fractions fines. Cinq fractions sont habituellement distinguées :

- 2 à 0,2 mm : Sables grossiers
- 0,2 à 0,05mm : Sables fins
- 0,05 à 0,02mm : Sables très fins
- 0,02 à 0,002mm : 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.

### 22. La stabilité structurale

La détermination de l'indice d'instabilité structurale d'après la technique mise au point par HENIN 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 agronomiques.

Rappelons que l'indice  $I_S$  est défini par le rapport :

$$I_S = \frac{(A+L) \text{ max } \%}{\sum \text{ agrégats } \%} = 0,9SG\%$$

où  $I_S$  = Indice d'instabilité structurale

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

$\frac{\sum \text{ agrégats } \%}{3}$  = 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. HENIN 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  $\mu$  par le tamisage à 100  $\mu$ , 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 pour 100

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 donnée par la formule :

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

où e = hauteur en cm de la colonne de terre (4 à 5 cm en général)  
V = volume en cc recueilli au cours de la première heure de percolation.

H = hauteur en cm de la colonne d'eau

S = section intérieure du tube en cm<sup>2</sup>

K est exprimé en cm/h.

Dans nos sols sableux et sablo-argileux contenant une forte proportion de sables fin, 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.

### 23. Densité apparente et porosité

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 et 250 cc. Les hauteurs et les diamètres sont de 5 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 8 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 8 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 n° I - 1

Tableau n° I - 1

Moyenne et paramètres de distribution de la densité apparente sur les traitements de l'essai 25 S P K 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.

#### 24. Humidité et caractéristiques 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 n° I-2

Moyennes et paramètres de distribution des humidités pondérales sur les traitements de l'essai 25 S P K x Labour

Horizon	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 rend 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 FORCHET (20), de MUNTEZ (15) ou de VERGIERE (3) peuvent fournir des indications relatives intéressantes et permettre un classement des sols suivant les techniques culturales éprouvées. A cet égard, la méthode de FORCHET, 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 MUNTEZ étudiant l'infiltration de l'eau sur le sol en place et sous charge constante, et celle de VERGIERE 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.

### 25% La pénétrométrie

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. HENIN (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. HENIN (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 1/4 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 traitements. 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 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 quelque 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. Quoiqu'il en soit, l'intérêt des mesures réside 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 n° I-3

Tableau n° I-3

Forces de résistance moyennes à la pénétration sur 20 et 40 cm dans l'essai 25 S x P x K x Labour (juin 1967)

Indices	Traitements	Forces moyennes kg	Ecart-type kg	Coefficient de variation	Erreur sur la moyenne en kg	
					32 répétitions	14 répétitions
FO-20	A	354	112	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, D correspondaient aux différences 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 4 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 36%. 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, HEMIN, cité par ENGELON (6) a introduit la notion de coefficient d'ameublissement. Il se définit ainsi. Si  $W_A$  est le travail accompli pour enfoncer la pointe à une profondeur donnée dans un sol A idéal, considéré comme parfaitement meuble et  $W_B$  le même travail pour la même profondeur dans un sol B quelconque, le coefficient d'ameublissement du sol B sera fourni par le rapport :  $W_A/W_B$ .

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  $W_T$  est le travail à accomplir pour enfoncer la pointe à une profondeur donnée dans un sol témoin non ameubli et  $W_x$  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 :  $W_x/W_T$ , exprimé en pourcentage.

## 26. 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 ORGIAS (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 est 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 SEGUY (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 oeuvre 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. BICHDEL (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 dm<sup>3</sup> 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 3 niveaux : 0-10, 10-20, 20-30 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 regresser 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.

B i b l i o g r a p h i e

- (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      IRAR-Sénégal, doc. miméo.
- (2) - BOUYER S., 1949  
Croissance et nutrition minérale de l'arachide.  
L'Agr. Trop., IV, 229-265
- (3) - BOURRIER J., 1954  
Mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols à la Station Expérimentale d'hydraulique agricole ('Vergière)  
Bull. H S 21, mult. 14 p.
- (4) - CHAUVEL A., LOMBIER 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, 1969-72
- (5) - CHAUVEL A., 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. Ac. Sciences, T 264, 2089-2092.
- (6) - DEMOLON A., 1952  
Dynamique du sol  
Dunod, ed., Paris
- (7) - GAUDEFROY-DEHOMBYIES 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, 238-254.
- (8) GAUTREAU J., 1963  
Compte rendu des essais "Systèmes radiculaires"  
Rapport IRHO Sénégal, Station de Bambey, 16-23.
- (9) - HENIN S., 1937  
Significations des résultats obtenus avec les sondes dynamométriques.  
Ass. Int. de la Science du sol Zürich
- (9bis)- HENIN S., 1939  
Influence des facteurs climatiques sur la stabilité structurale d'un sol de limon.  
Ann. Agr. p. 301.

- (10) - HENIN S., THEODOPOFF A., GRAS R., LONHEUR G., 1960  
Le profil cultural - Principes de physique du sol  
Sec. 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) - JACQUINOT L., 1967  
Croissances et alimentations minérales comparées de quatre  
variétés de niébé (*Vigna unguiculata*, Walp.).  
L'Agr. Trop., XXII, 6-7, 575-640.
- (13) - MABRELSO., 1964  
Influence des propriétés physiques des sols sur le dévelop-  
pement racinaire et conséquences sur l'alimentation hy-  
drique et azotée des cultures  
Science du Sol, 2
- (14) - MABRELSO., 1965  
Deux méthodes de détermination de la densité du sol en  
place. Leurs possibilités d'utilisation.  
Bull. de l'A.F.E.S., août 1965
- (15) - MUNTZ A., FAURE J., LAIRE B., 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) - NICOU R., SEGUY L.  
Etude de l'enracinement de différentes variétés de riz  
pluvial en présence ou en absence de travail du sol.  
A paraître.
- (18) - NICOU R., THIROUIN H., 1968  
Mesures sur la porosité et l'enracinement - Premiers ré-  
sultats.  
IRAT/Sénégal, Doc. miméo., 52 p.
- (19) - GUGIAS A., 1951  
Recherches préliminaires sur le système racinaire de  
l'arachide. Clérogineux, VI, 10, 571-575.
- (20) - PORCHET H., LAFERRIERE 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) - POULAIN J.F., 1965-1968  
Compte-rendu de l'essai 25 SPK x Labour  
Rapports annuels IRAT-Sénégal - Division d'Agropédologie.
- (23) - POULAIN J.F., FOURRE 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'EVOLUTION 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.

#### 1 - LE CLIMAT

Le climat et son incidence dans la production végétale dans la zone semi-aride d'Afrique Occidentale ont été étudiés par COCHENE 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.

#### 11. Les pluies : hauteur et répartition

Les pluviométries annuelles des zones semi-arides varient entre 250 et 1600 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 1580 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 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 atteindre 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).

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.

## 12. L'évapotranspiration potentielle et ses variations

L'ETP a été calculée, par la formule de PENMAN, en 35 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 1500 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 4 stations du Sénégal. La variabilité interannuelle de l'ETP est beaucoup plus faible que celle de la pluviométrie.

### 13. 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 4 stations du Sénégal : St-Louis, Matam, Thiès et Tambacounda.

Ces graphiques ont été établis d'après les données fournies par COCHEME 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 4 à 6 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 (3 semaines à 4 mois) où la pluviométrie se trouve être supérieure à l'ETP. L'excédent peut même être très important dans les régions méridionales et atteindre 5 ou 600 mm ; il y a alors non seulement recharge des réserves du sol, mais drainage et ruissellement.

### 14. Les périodes de disponibilité en eau pour la végétation

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 COCHEME & 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 COCHEME & 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

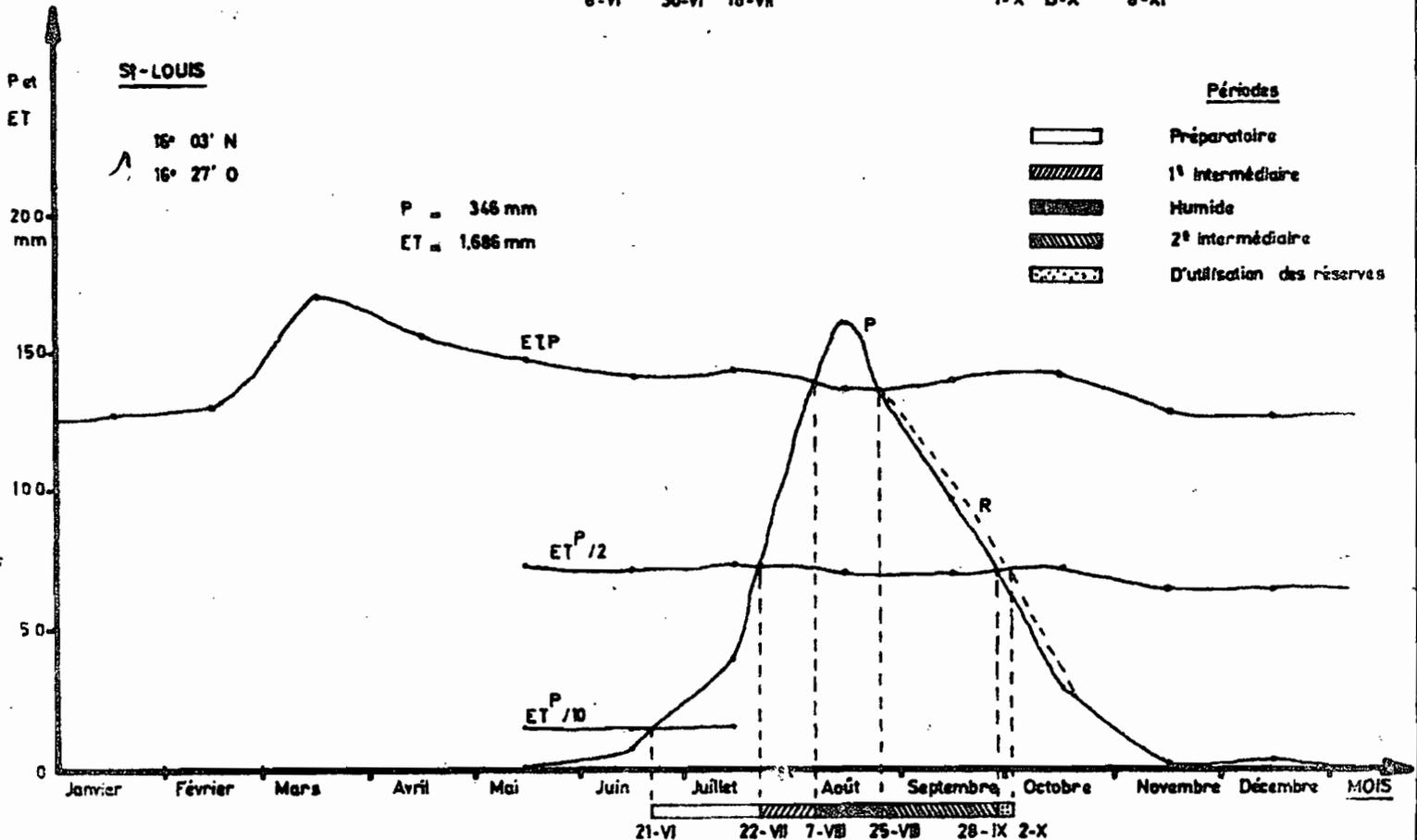
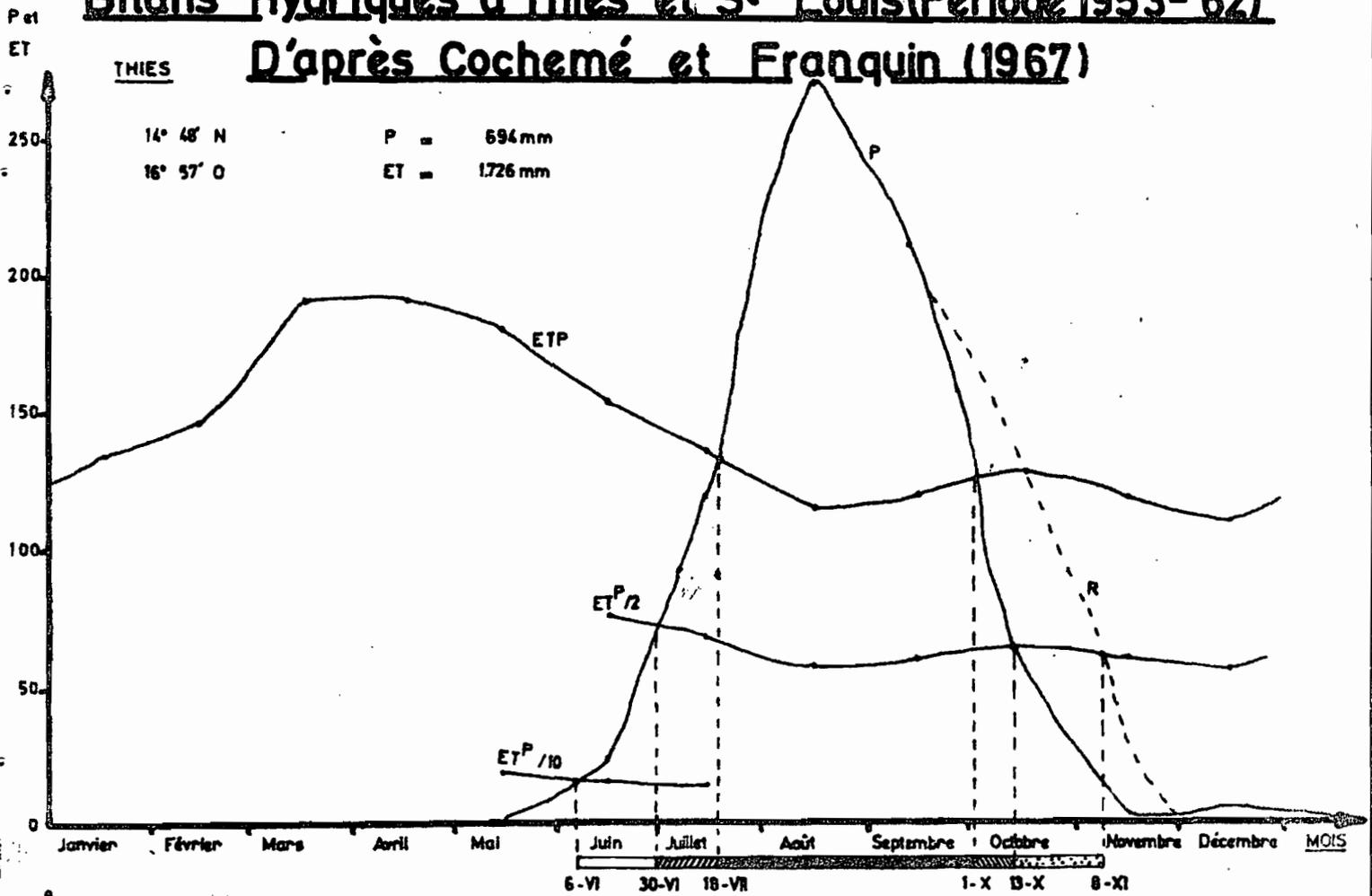
- la période "d'utilisation des réserves du sol" (ligne "R" sur les graphiques). Pour définir cette période, les auteurs ont tablé sur une hauteur d'eau utilisable du sol égale partout à 100 mm. La récolte a lieu, en général, à la fin de cette période.

.../...

GRAPHIQUE N° II-1

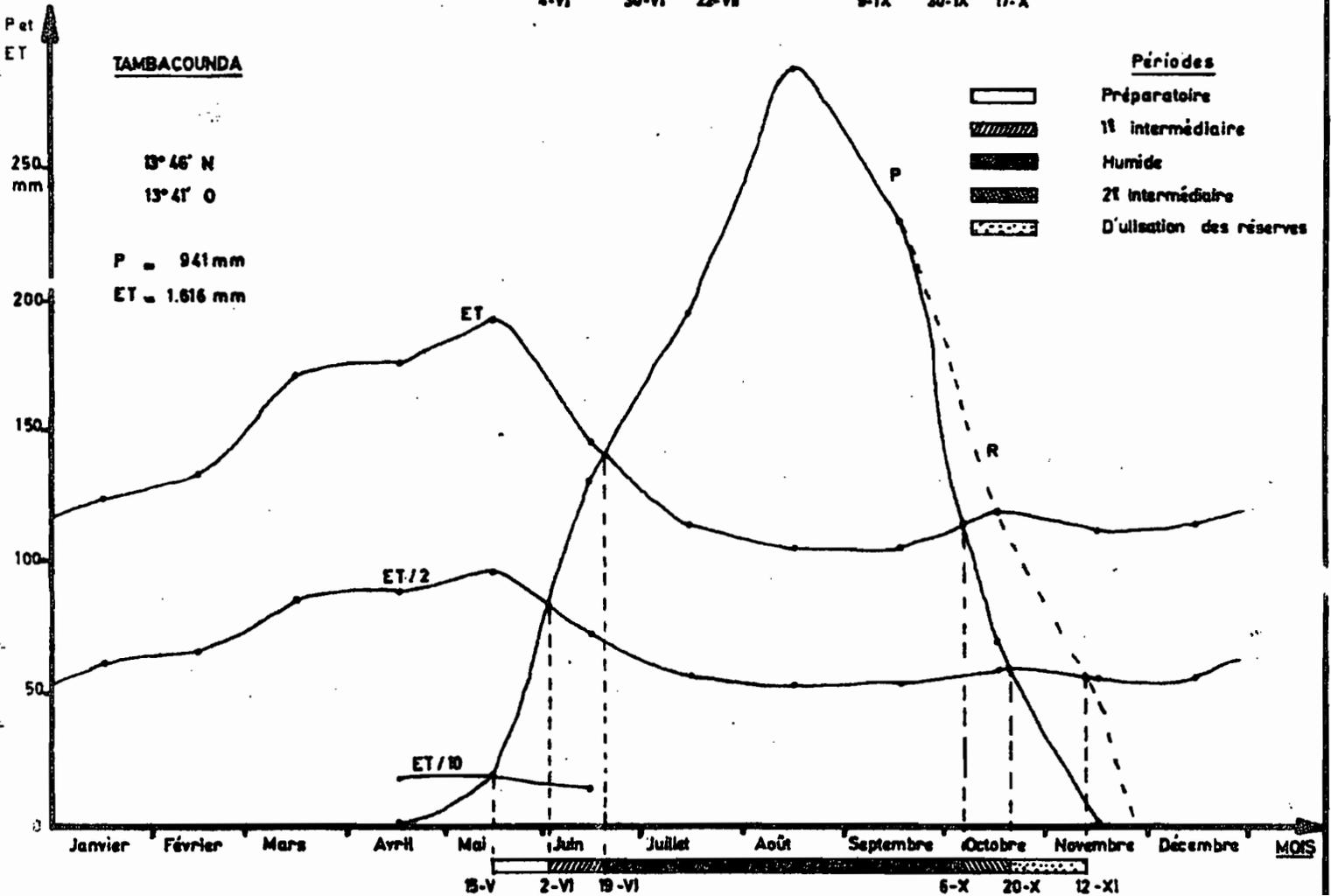
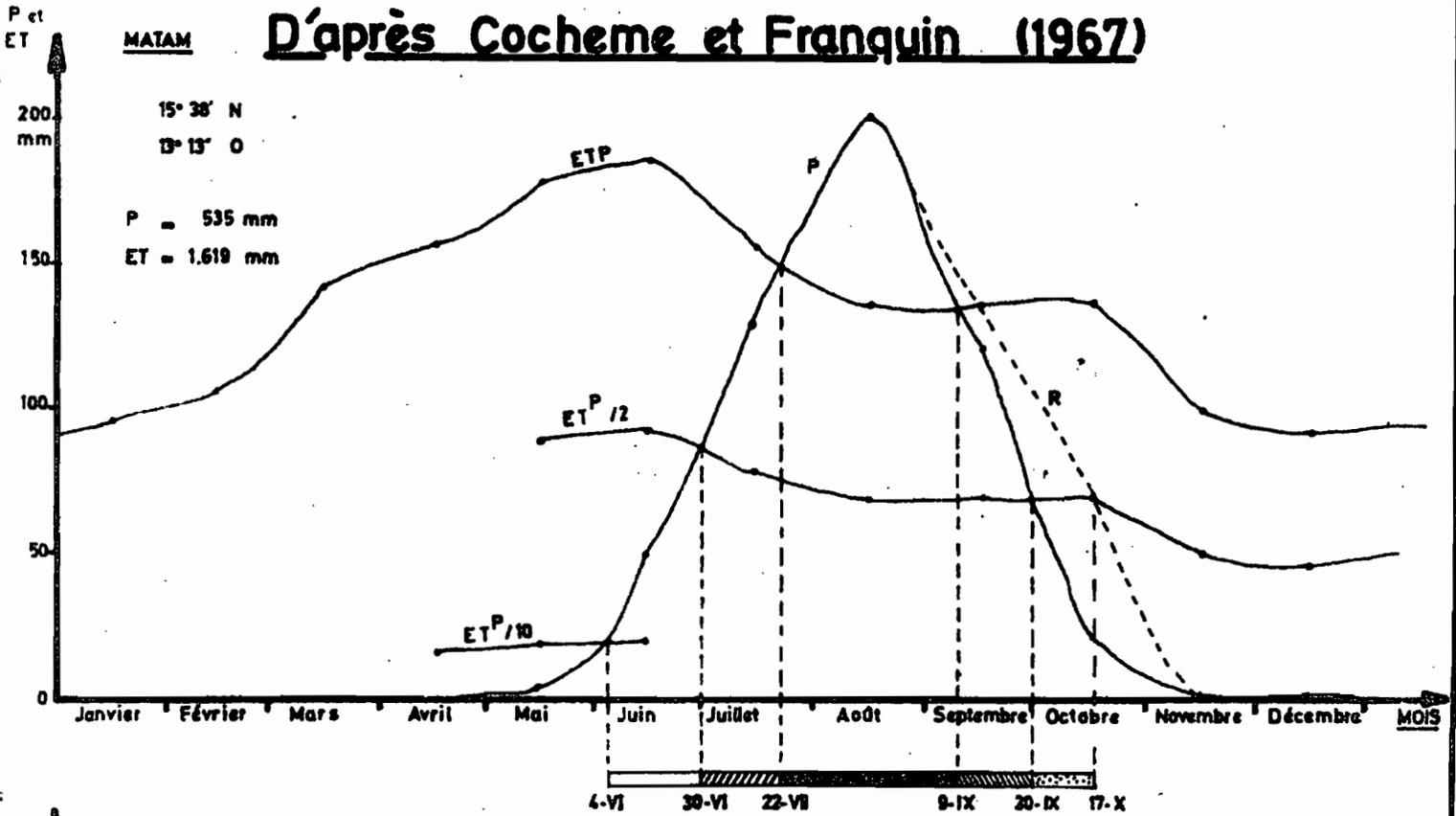
**Bilans Hydriques à Thiés et St Louis (Période 1953-62)**

**D'après Cochemé et Franquin (1967)**



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

**D'après Cocheme et Franquin (1967)**



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 4 Stations du Sénégal.

Stations	Prépara- toire P	1 <sup>o</sup> In- terméd. I <sub>1</sub>	Humide K	2 <sup>e</sup> In- terméd. I <sub>2</sub>	Réserve sol R	Saison végét. I <sub>1</sub> +H+I <sub>2</sub> +R	Date début II
Saint-Louis	31	16	18	34	4	72	22-VII
Matam	26	23	49	21	17	110	30-VI
Thiès	24	18	74	13	25	130	30-VII
Tambacounda	18	17	109	14	23	163	2-VI

Pour l'ensemble de la zone, la durée de la période préparatoire varie de 18 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 pour la seconde (en tenant compte de la période d'utilisation des réserves). Quant à la période humide, elle varie considérablement, de 0 au Nord, à 140 jours au Sud. Au total la durée de la saison de végétation variera de 70 à 200 jours.

Ces données ne constituent cependant que des moyennes calculées sur une période de 10 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 n° 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 <sup>(1)</sup>
Séfa	Nombre	9	15	19	19	19	19
	Fréquences %	53,4	86,6	100,0	100,0	100,0	100,0

(1) 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 n° II-3

Nombre d'années pendant lesquelles plus de 20 mm de pluie sont tombés après le

Stations		Dates							
		20 Sept.	1er Oct.	10 Oct.	20 Oct.	1er Nov.	10 Nov.	20 Nov.	1er Déc.
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 39 années d'observations à Bambeï (1930-1968) et 19 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 Bambeï.

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

Il y a donc environ trois mois et demi de pluies utiles à Bambeï en moyenne, contre 5 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 Bambeï. Cette dernière station est donc très nettement désavantagée par rapport à la première et se trouve dans une position presque "marginale" pour l'agriculture.

#### 15. 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 & 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.

### 151. 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.

COCHERIE 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 3 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 n° 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 mm, et dans le tableau II-5 ils le sont en pour cent de la tranche d'eau mensuelle ou annuelle.

.../...

TABLEAU II-4

REPARTITION MOYENNE DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITE A BAMBEY ET SEFA (1)  
RESULTATS EXPRIMES EN HAUTEUR D'EAU (mm)

CLASSES	ETENDUE DE LA CLASSE mm/h	BAMBEY 1959 - 1968						SEFA (1) 1965 - 1968					
		JUIN	JUILLET	AOUT	SEPT.	NOV.	ANNEE	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPT.	NOV.	ANNEE
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	9.0	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	1214.4

(1) Séfa : Moyenne de 2 pluviographes distants de 5 km.

TABLEAU II-5

REPARTITION MOYENNE DES PLUIES PAR CLASSES D'INTENSITE A BAMBEY ET SEFA (1) (1965-1968)  
RESULTATS EXPRIMES EN POUR CENT DE LA TRANCHE D'EAU MENSUELLE OU ANNULEE

CLASSE	ETENDUE DE LA CLASSE mm/h	J U I N		J U I L L E T		A O U T		S E P T E M B R E		O C T . N O V .		A N N E E	
		Bamby	Séfa	Bamby	Séfa	Bamby	Séfa	Bamby	Séfa	Bamby	Séfa	Bamby	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

(1) Séfa : Moyenne de 2 pluviographes distants de 5 km.

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

Tableau n° II-6

Limites des quartiles des courbes mensuelles et annuelles  
de fréquences des pluies par classes d'intensité (mm/h) à  
Banbey et Séfa (1)

Localisation et période	Limite supé- rieur du	P é r i o d e					
		Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct. Nov.	Année
Banbey 1959-1968	1er Quartile	6,6	8,3	9,7	8,5	6,2	8,6
	2e "	18,0	29,2	29,2	25,8	15,7	26,7
	3e "	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
S é f a 1965-1968	1er Quartile	9,0	13,9	7,0	9,2	9,3	8,9
	2e "	28,2	41,4	24,3	34,3	28,2	32,0
	3e "	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	1214,4

(1) 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 Banbey qu'à Séfa. A Banbey 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 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 n° 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 Banbey (II-7) et à Séfa (II-8).

TABLEAU N° II-7

VARIATIONS INTERANNUELLES DES LIMITES DES QUARTILES DE LA COURBE ANNUELLE DE FREQUENCES DES PLUIES  
PAR CLASSES D'INTENSITE (en mm/h) A BAMBEY

LIMITE SUPERIEUR DU	A N N E E S										MOYEN- NE
	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	
1er Quartile	6.2	9.8	26.0	10.5	9.0	5.9	6.3	8.0	9.9	8.5	8.6
2ème "	14.5	32.3	44.2	31.2	32.5	14.0	17.4	25.8	20.6	25.2	26.7
3ème "	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 enre- gistrée (en mm)	406.5	758.5	661.1	565.1	1498.3	500.4	575.0	566.6	343.7	814.6	1561.6

TABLEAU N° II-8

VARIATIONS INTERANNUELLES DES LIMITES DES QUARTILES DE LA COURBE ANNUELLE DE FREQUENCES DES PLUIES  
PAR CLASSES D'INTENSITE (mm/h) A SEFA

LIMITE SUPERIEURE DU	1965		1966		1967		1968		MOYENNES INTERANNUELLES		GENE- RALE
	S.V (1)	P.63 (2)	S.U	P.63	S.U.	P.63	S.U.	P.63	S.U.	P.63	
1er Quartile	6.8	7.1	8.8	9.8	10.6	16.7	9.1	9.6	8.4	9.4	8.9
2e "	29.3	31.6	30.3	31.1	32.7	40.2	28.2	34.0	30.1	34.0	32.0
3e "	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 enre- gistrée (mm)	1400.3	11716.1	11221.7	11248.8	1354.91	1435.2	725.5	607.3	11175.5	11251.9	11213.21

(1) S.U. : Poste pluviographique de la Sous-Unité (Soukoutote)

(2) P.63 : Poste pluviographique de la parcelle 63.

Comme on le voit, la variabilité est nettement plus grande à Bambeby qu'à Séfa. A Bambeby 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 Bambeby, 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 Bambeby 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 élevés : 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 OCHELE 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 Sefa (parcelles 63) pour la période 1965-1968  
181 à Sefa (Soukoutoto) pour la période 1964-1968.

Des régressions linéaires ont été établies pour chacun des 3 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 :

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

où  $x$  = hauteur de pluie en mm  
 $y$  = intensité maximum pendant 30 minutes consécutives en mm/h.

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

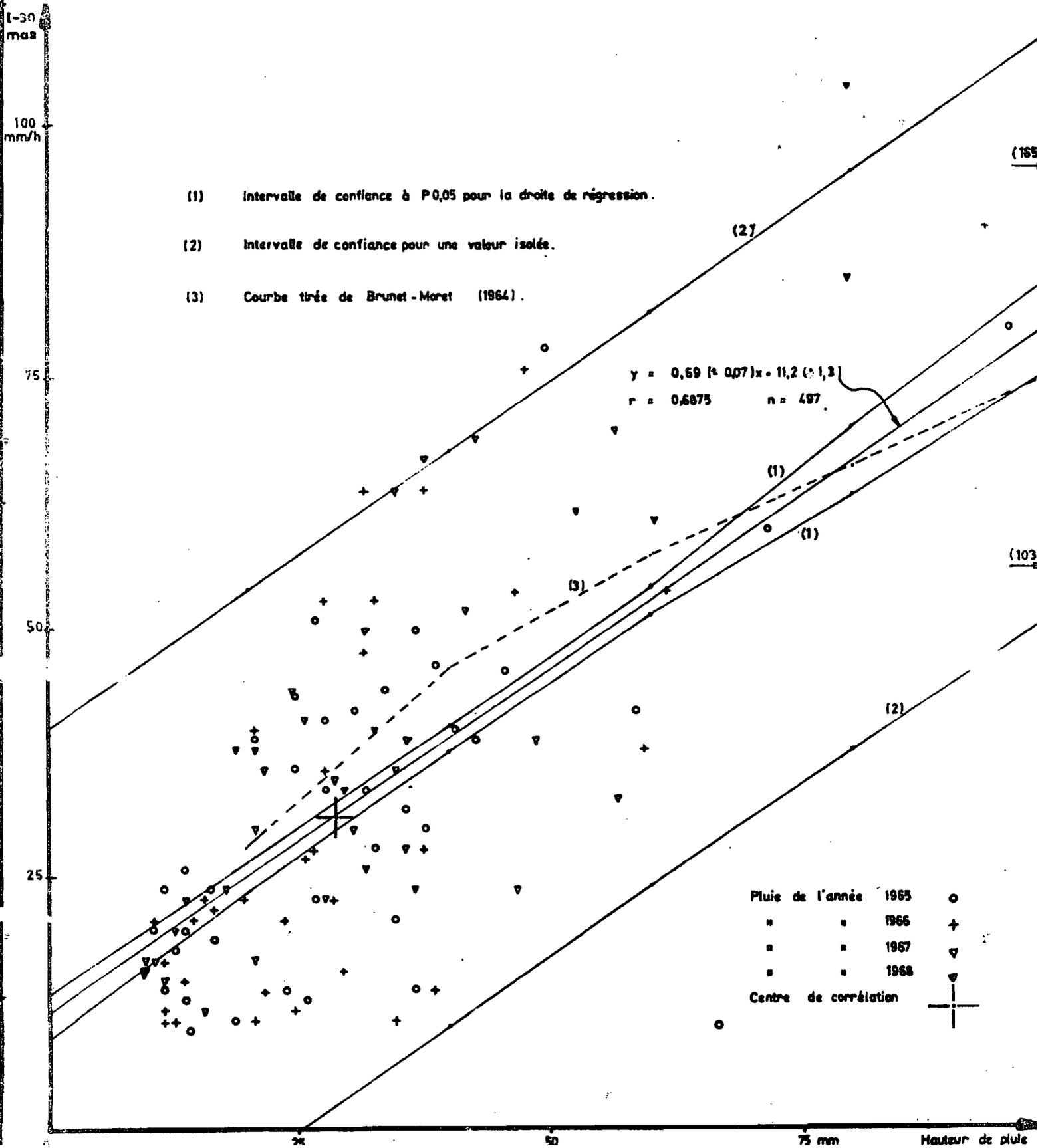
La droite de régression et les intervalles de confiance à la probabilité de P 0,05 pour la droite de régression et pour une valeur isolée ont été figurés sur le graphique n° II-3. Pour ne pas surcharger le graphique, seules les pluies enregistrées à Sefa (parcelle 63), soit

---

(1) 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.

# Relations entre Hauteur de Pluie et Intensité en 30<sup>mn</sup> consécutives

## Séfa (Parcelle 63) 1965 - 1968



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.

Etant donnée 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 et 74 mm/h, avec une moyenne théorique de 46 mm/h.

### 152. 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 & 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 N° II-9 pour Bambey et II-10 pour Séfa.

Tableau n° II-9

Valeurs annuelles et mensuelles de l'énergie cinétique des pluies  
à Bambeï, de 1960 à 1968

Energie cinétique en kg/m <sup>2</sup>								
Années	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct. Nov.	Année	Pluie annuelle mm	Eg/p
1960	197,0	379,5	720,9	643,8	19,3	1963,5	745,4	2,63
1961	69,8	635,6	689,8	373,6	0,0	1768,8	624,9	2,83
1962	77,3	189,2	855,1	176,4	49,1	1347,1	537,1	2,51
1963	36,3	379,5	299,6	335,1	195,2	1245,7	529,1	2,35
1964	54,1	362,6	375,3	342,9	18,0	1153,9	527,0	2,19
1965	9,9	122,0	877,7	221,6	45,4	1276,6	580,1	2,20
1966	24,2	9,5	397,4	559,9	301,6	1292,6	563,4	2,29
1967	21,5	502,3	606,2	620,1	225,9	1976,0	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	1421,9	552,1	2,58

Tableau n° II-10

Valeurs mensuelles et annuelles de l'énergie cinétique des pluies  
à Séfa de 1964 à 1968

Station pluvio- métrique	Année	Energie cinétique en kg/m <sup>2</sup>						Pluie annuel- le mm	Rap- port Eg/p
		Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct. Nov.	Année		
Soukou- toto	1964	275,5	624,6	798,1	540,8	237,9	2476,9	1240,3	2,00
	1965	202,1	351,0	949,1	1475,0	231,7	3208,9	1381,9	2,32
	1966	457,9	481,3	664,1	810,7	558,0	2981,9	1222,5	2,44
	1967	257,3	954,7	695,5	1018,0	400,1	3315,1	1416,9	2,34
	1968	209,1	362,2	191,1	723,5	229,8	1720,7	729,3	2,36
	Moy.	280,4	554,8	659,2	914,6	331,5	2740,7	1198,2	2,29
Parcelle 63	1965	162,5	866,9	990,1	1377,4	366,7	3763,6	1699,4	2,21
	1966	434,8	476,6	611,6	805,3	731,3	3059,6	1249,0	2,45
	1967	162,9	817,5	1071,8	1046,3	523,8	3622,3	1507,9	2,40
	1968	145,7	323,9	121,5	522,3	240,0	1553,4	611,4	2,21
	Moy.	226,5	621,2	598,8	937,8	465,4	2949,7	1266,9	2,33
Ensemble	Moyen- ne	256,4	584,2	676,7	924,8	391,0	2833,3	1228,6	2,31

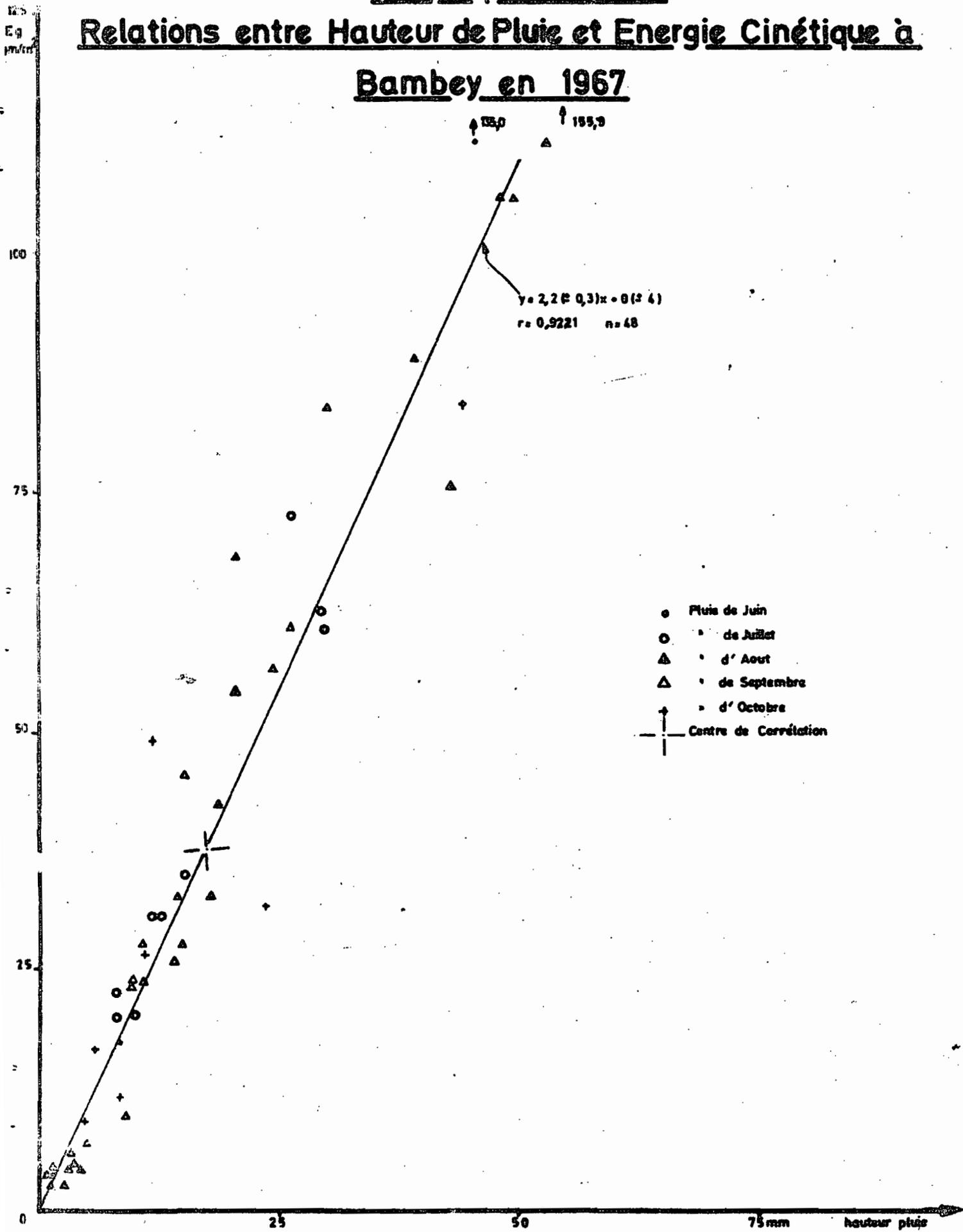
L'énergie cinétique développée par les pluies pendant une année est en moyenne de 1420 kg/m<sup>2</sup> à Bambey (période 1960-1968) et de 2830 kg/m<sup>2</sup> à Sôfa (période 1964-1968), soit une variation du simple au double, qui correspond sensiblement à celle de la pluviométrie. On peut d'ailleurs 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 mm 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 Sôfa : 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 Sôfa. 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 kg/m<sup>2</sup>.

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 Sôfa (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 x 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 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 kg/m<sup>2</sup> correspond à l'énergie développée par 1 mm de pluie tombant avec une intensité de 17 mm/h (d'après la formule de WISCHMEIER & SMITH, citée plus haut).

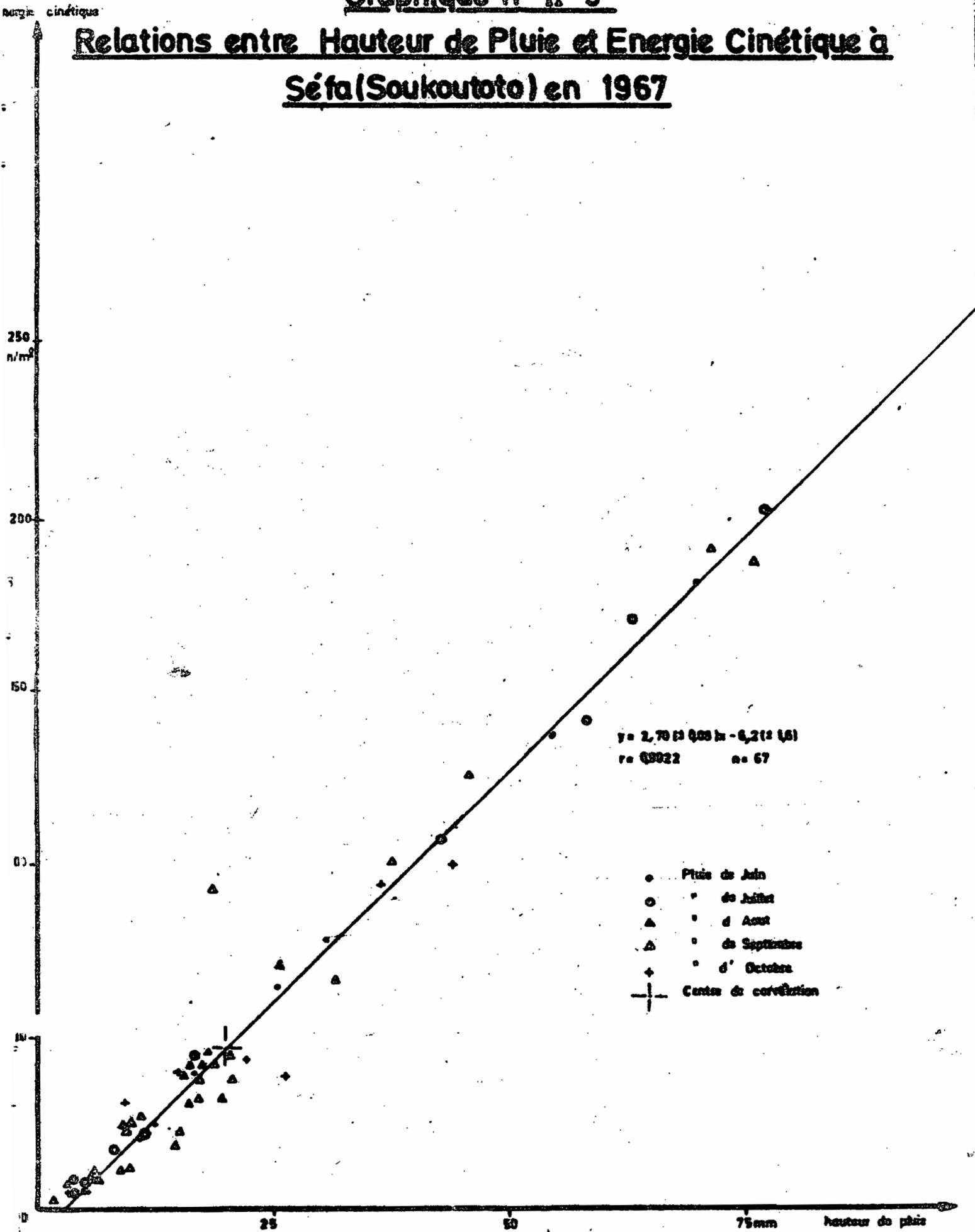
# Graphique n° II-4

## Relations entre Hauteur de Pluie et Energie Cinétique à Bambeï en 1967



# Graphique n° II-5

## Relations entre Hauteur de Pluie et Energie Cinétique à Séfa (Soukoutoto) en 1967



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 WISCHEBIER.

### 153. L'index-pluie de WISCHEBIER

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. WISCHEBIER (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<sub>g</sub> est exprimé en pied-tonne/acre

I est exprimé en pouces/heure.

R " " 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-II et II-12.

Tableau n° II-11

Valeurs mensuelles et annuelles de l'index-pluie de 1960 à 1968

Année	Index-pluie en tonnes/hectare						Année	Hauteur de pluie annuelle mm	Rapport IP/P annuel
	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov			
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	1155,4	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 n° II-12

Valeurs mensuelles et annuelles de l'index-pluie à Séfa de 1964 à 1968.

Stations pluviographiques	Année	index-pluie en t/ha					Année	Hauteur de pluie annuelle (mm)	Rapport IP/P annuel
		Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.-Nov.			
Soukoutote	1964	126,5	403,0	657,0	241,1	89,5	1497,1	1240,3	1,21
	1965	84,4	301,6	351,9	795,7	71,7	1604,9	1381,9	1,16
	1966	163,9	458,3	179,0	431,3	229,0	1461,5	1222,5	1,20
	1967	89,1	724,7	500,2	482,8	158,5	1955,3	1461,9	1,34
	1968	145,6	110,5	89,8	295,2	51,8	692,9	729,3	0,95
	Moy.	121,9	399,6	351,6	449,2	120,1	1442,4	1207,2	1,19
Parcelle 63	1965	146,9	591,1	379,3	902,6	163,3	2183,3	1699,4	1,28
	1966	257,7	405,5	187,4	324,5	375,2	1550,3	1299,3	1,24
	1967	79,2	522,9	847,4	480,5	216,4	2146,4	1507,9	1,42
	1968	128,0	107,6	32,8	204,4	67,8	540,6	611,4	0,88
	Moy.	153,0	406,8	361,7	478,0	205,7	1605,2	1267,0	1,27
Ensemble	Moyenne	135,7	402,8	356,1	462,0	158,1	1524,5	1233,6	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 Bamby, alors que la valeur correspondante est de 0,83 à Bourké en Côte d'Ivoire (3). A hauteur égale, les pluies sont donc en moyenne un peu plus érosives à Séfa qu'à Bamby. 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 1,05 à Bamby, 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 Bamby.

Les valeurs mensuelles sont, en moyenne, les suivantes :

	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.-Nov.	Année
Bamby	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 Bamby, 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 Bamboey (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 III-3 et III-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 : Energie cinétique de la pluie x 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 Bamboey 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 (55). Celle-ci est la suivante :

$$A = R.K.IS.C.P.$$

où A = Perte de terre (en tonnes par acre ; unités américaines ou tonnes par hectare en système métrique).

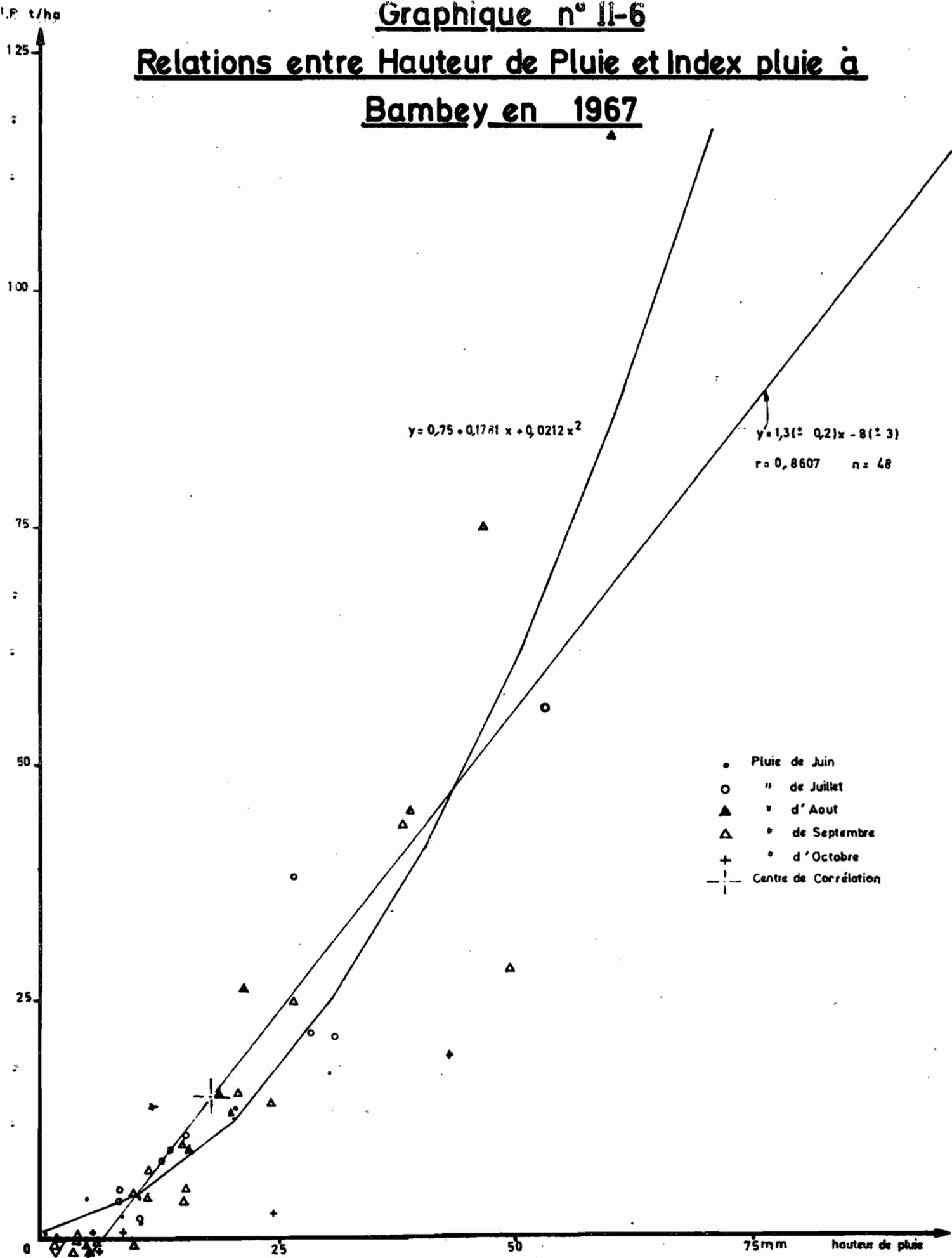
R = Index-pluie, caractérisant l'agressivité de la pluie. Il est exprimé dans les mêmes unités que A. C'est le seul facteur du second terme de l'équation qui ait une dimension.

K = Indice sol ; facteur sans dimension, mesurant la plus ou moins grande susceptibilité d'un sol à l'érosion.

IS = 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.

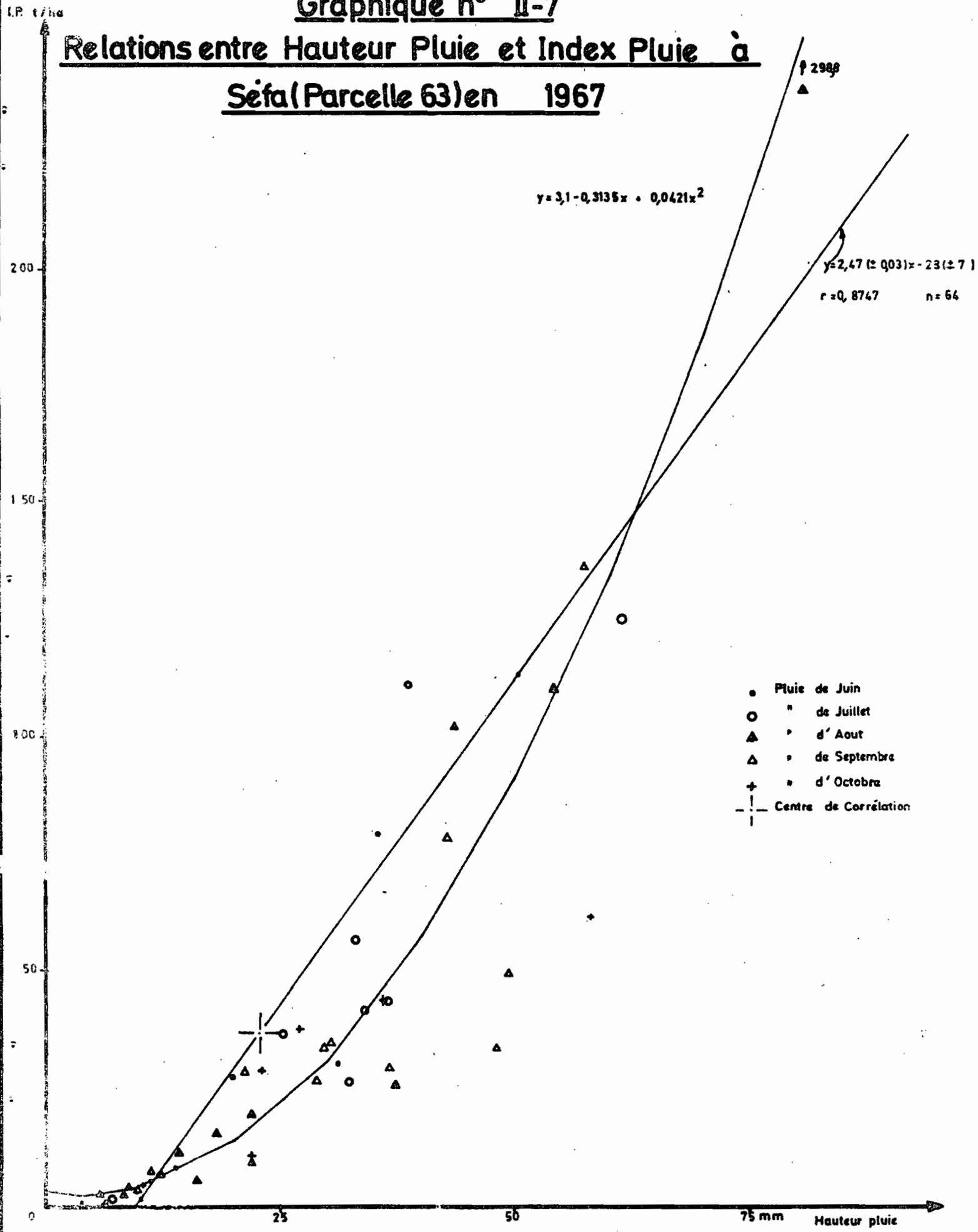
# Graphique n° II-6

## Relations entre Hauteur de Pluie et Index pluie à Bambeï en 1967



# Graphique n° II-7

## Relations entre Hauteur Pluie et Index Pluie à Sefa (Parcelle 63) en 1967



C = Indice culture ; facteur sans dimension, caractérisant le degré de protection du sol par la couverture végétale.

P = Indice remède C.E.S. ; 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 Etats-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 oeuvre 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 IS se calcule à partir des indications fournies par WISCHLIER (33).

#### 154. 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 mm  
P = pluviosité annuelle en mm.

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  $H \times tg \alpha$ , combinant la hauteur moyenne du relief (H) et son coefficient de massivité ( $tg \alpha$ ).

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/km<sup>2</sup>/an, la majeure partie se situant à plus de 1000 t/km<sup>2</sup>/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/km<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>/P et les valeurs correspondantes de la dégradation spécifique ont été calculées de 1954 à 1968, soit sur une période de 15 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 n° II-13.

TABLEAU N° II-13

VALEURS DE L'INDICE CLIMATIQUE DE FOURNIER, DE LA DEGRADATION SPECIFIQUE ESTIMEE ET DE L'EROSION MESUREE A BAMBEY ET A SEFA AU COURS DE LA PERIODE 1954-1968

A N N E E S	BAMBEY		S E F A											
	Sole		POSTE DE SOUKOUTOTO					POSTE DE LA PARCELLE 63					POSTE SOUS	
	Sélection												FORET	
	Indice FOURNIER		Indice FOURNIER		Erosion mesurée (t/ha)			Indice FOURNIER		Erosion mesurée (t/ha)			Indice FOURNIER	
	p <sup>2</sup> /P	D.S. t/ha	p <sup>2</sup> /P	D.S. t/ha	Minimum	Moyenne	Maximum	p <sup>2</sup> /P	D.S. t/ha	Minimum	Moyenne	Maximum	p <sup>2</sup> /P	D.S. 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 5m de large, de 40 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 :

$$y = 6,14x - 49,78$$

où  $x$  = valeur du rapport  $p^2/P$  ( $p$  et  $P$  exprimés en mm)  
 $y$  = dégradation spécifique en  $t/km^2$ .

Les valeurs moyennes obtenues pour la période 1954-1968 à Bambey et Sôfa (moyenne des 3 postes) sont les suivantes :

	<u>Bambey</u>	<u>Sôfa</u>
$p$ mm	289	429
$P$ mm	636	1235
$p^2/P$	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  $3000 t/km^2$  soit parmi les plus fortes valeurs mondiales : à titre de comparaison, les valeurs correspondantes dans les pays tempérés non montagneux sont de moins de  $100 t/km^2$ . Le climat, dans cette région du Sénégal, serait donc plus de 30 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 Sôfa, 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 100 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 de pluies et les valeurs du coefficient  $p^2/P$  sont nettement plus variables à Bambey qu'à Sôfa. Les valeurs de ce coefficient vont de 48 à 358 à Bambey et de 84 à 248 à Sôfa, soit des dégradations spécifiques estimées de 8,3 à 92,3 à Bambey et de 18,0 à 62,5 à Sôfa.

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 invariable 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 100 fois supérieure à la moyenne des érosions maxima mesurées (37,3 t/ha contre 0,3 t/ha).

155. Comparaison entre les indices d'érosivité de FOURMIER et de WISCHMEIER

On a tenté également de comparer les valeurs des indices climatiques de FOURMIER 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<sub>m</sub> ; 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 Bamby.

Les résultats de ces calculs figurent dans le tableau II-14 ; il concerne la période 1960-1968 à Bamby et 1964-1968 à Séfa. (2 postes pluviométriques).

TABLEAU N° II-14

COMPARAISON DES DEGRADATIONS SPECIFIQUES ESTIMEES PAR LES FORMULES DE FOURMIER ET DE WISCHMEIER A BAMBET ET A SEFA

B A M B E Y					S E F A						
ANNEES	Indice d'agressivité		Dégradation spécifique estimée		POSTES	ANNEES	Indice d'agressivité		Dégradation spécifique estimée		Erosion mesurée maximum t/ha
	FOURNIER p <sup>2</sup> /P	WISCHMEIER t/ha	FOURNIER t/ha	WISCHMEIER t/ha			FOURNIER p <sup>2</sup> /P	WISCHMEIER t/ha	FOURNIER t/ha	WISCHMEIER t/ha	
1960	99	840	22.1	30.2	SOUKOUTOTO	1964	119	1497	27.5	53.9	12.6
1961	98	1155	21.8	41.6		1965	218	1605	54.4	57.8	5.4
1962	197	637	48.7	22.9	"	1966	92	1462	20.2	52.6	10.6
1963	48	475	8.3	17.1	"	1967	149	1955	35.7	70.4	33.7
1964	66	393	13.2	14.1	"	1968	128	693	30.0	24.9	18.1
1965	259	728	65.5	26.2	PARCELLE 63	1965	205	2150	50.8	77.4	8.0
1966	112	523	25.6	18.8		1966	90	1550	19.7	55.8	13.5
1967	89	773	19.4	27.8	"	1967	134	2146	31.6	77.3	26.7
1968	79	368	16.7	13.2	"	1968	84	541	18.0	19.5	1.3
MOYENNE	116	655	26.8	23.5	-	MOYENNE	135	1511	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 Bambo, des estimations comparables. De Bambo 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 interrannuelles 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.

## 2 - 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 dominant 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 Bombay et Séfa où se sont déroulées une bonne part des études et expérimentations concernant le profil cultural.

#### 21. Caractères communs aux sols de la zone influant sur le profil cultural et son évolution

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 sédimentaire 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'amplitude 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.

## 22. Les Sols de Bambey et Séfa : principales caractéristiques

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.

### 221. Caractères généraux

A Bambey, un manteau sableux quaternaire, d'épaisseur variant entre 1 et 10m 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 efficient. La végétation naturelle est une forêt claire à essences caduques et pyrophiles. La roche mère est un grès argileux d'origine continentale (dérivé du Fouta-Djallon), épanché 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 N° II-15

## CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DE QUATRE PROFILS DE SOLS DE BAMBEY ET SEFA

Caractéristiques		SOL DIOR				SOL DEK				SOL ROUGE				SOL BEIGE			
		C.R.A. BAMBEY, SOLE II S				BAMBEY, C.R.A., SOLE B				SEFA, STATION				SEFA, ROUTE DE SEDHIOU			
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	-	-	-	-	5YR 4/2	5YR 4/2	5YR 4/4	5YR 5/6	2.5YR 4/2	2.5YR 4/2	2.5YR 4/6	2.5YR 5/8
GRANULOMETRIE %	Mat. 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
	Limon	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
PERMEABILITE cm/h Darcy		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
HUMIDITE DE LA TERRE SECHE %		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
AZOTE TOTAL %		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
	des Ac. humiques	0.47	0.41	0.42	0.45	0.12	0.08	0.06	Traces	0.33	0.17	0.06	0.03	1.09	0.53	0.65	0.29
	des Ac. 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 ECHANGEABLES mé/100 g	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
P205	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
	Trueg ppm	7	8	3	3	2	0	0	0	12	7	5	0	12	4	5	0
Fe 203	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	5.3	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 n° II-15 rassemble les principales caractéristiques analytiques des profils typiques des sols Dior et Dek de Banbey, beige et rouge de Séfa.

## 222. 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 Banbey une origine complexe : fluviatile, 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 fluviatile ; ils sont plus anguleux qu'à Banbey, 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 MENIN (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'AGREGATS (1) %			A + L	Is	K cm/h
		ALCOOL	EAU	BENZENE	maxi. %		
SOLS ROUGES	FORET	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	FORET	8,2	5,6	3,6	6,1	0,79	2,21
	CULTURE	5,5	2,9	0,9	8,4	1,56	1,15

(1) 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 sur beige. Il en est de même du coefficient de filtration.

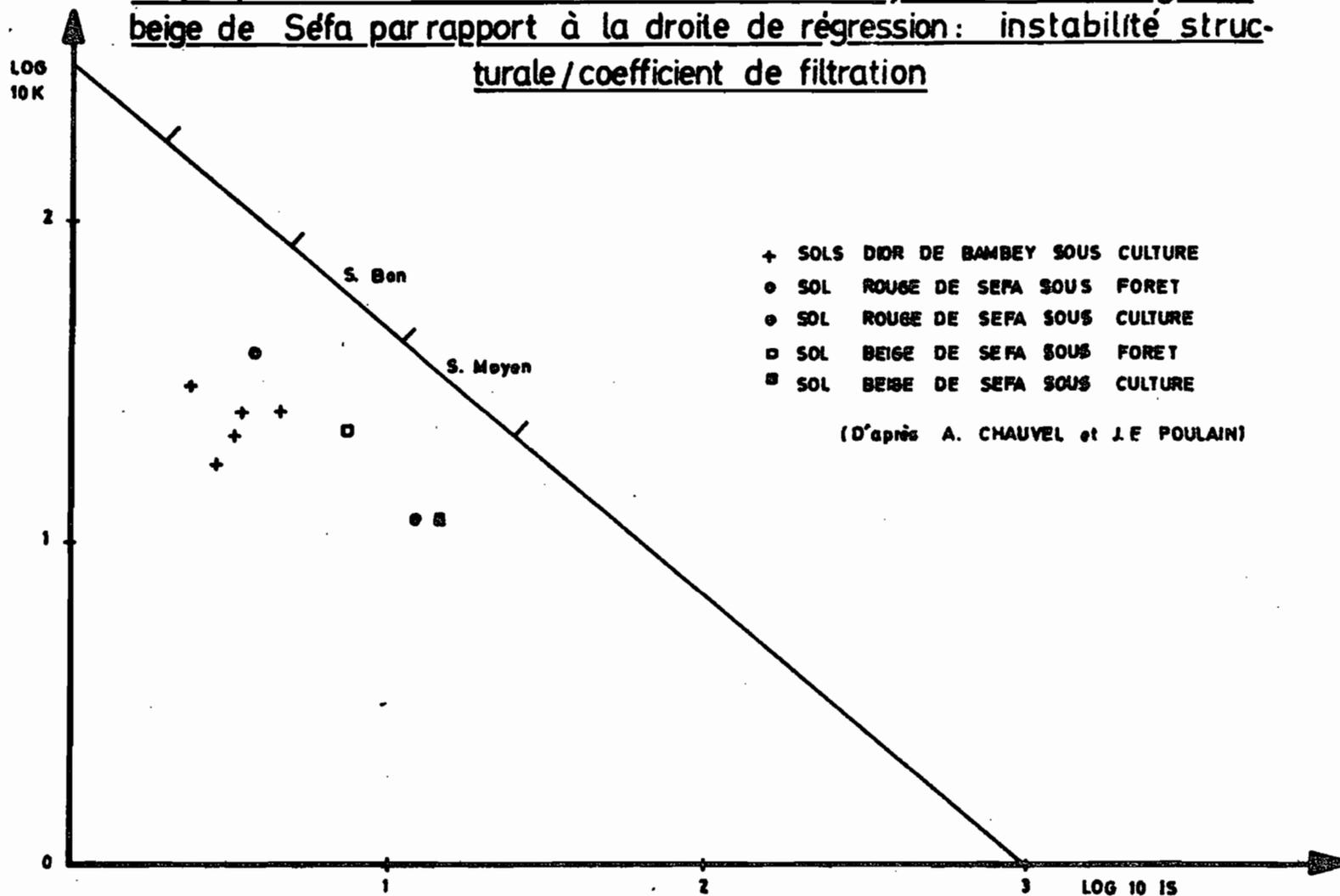
On peut noter que celui-ci est assez faible pour les sols de Séfa, ainsi que pour les sols de Bamboey ; le coefficient K, mesuré au laboratoire, varie entre 0,5 et 4 cm/h. Les résultats des mesures de K et de IS ont été reportés sur le graphique n° II-8, suivant le mode de représentation proposé par HENIN et al. (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  $\Sigma$  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 HERTZ, ou de PORCHET : les valeurs obtenues sont généralement élevées et comprises entre 20 et 50 cm/h à Bamboey, entre 10 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'espacement 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

Graphique n°II-8-Position des sols dior de Bambey et des sols rouges et beige de Séfa par rapport à la droite de régression: instabilité structurale/coefficient de filtration



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%. A Bombeï il se produit seulement pour les fortes pluies (supérieures à 30 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. A Bombeï 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 Dck (9) en utilisant un matériel assez rudimentaire. A 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 30 fois plus faible dans les horizons de 20 à 100 cm, ce qui expliquerait l'engorgement de la zone de 20 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 VERGIÈRE 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 n° II-16.

Tableau n° II-16

Valeurs de la perméabilité après 5 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	1067	692	840	1102
15-25	412	745	1272	295	593	1086
30-40	105	154	230	462	1141	1970
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 4 à 5 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 6 à 10 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 Barbey et Séfa. Le tableau n° 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 N° II-17

FORCES DE RESISTANCE A LA PENETRATION EN SAISON SECHE ET EN SAISON HUMIDE

S O L S et HORIZONS	ARGILE LIMON	H U M I D I T E %			SAISON SECHE F en kg				SAISON DES PLUIES F en kg			
		Capacité de rétention	pF 4.2	Fin de saison sèche	Nombre d'essais	Moyen- ne	Mini- mum	Maximum	Nombre d'essais	Moyen- ne	Mini- mum	Maximum
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	12.2-2.7	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	1070	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	1080	180	0	-	-	-
SEFA 20-40	15-25	12-16	6-9	4-6	146	802	3458	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. 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. GAUDEPROY-DEMOMBYNES et CHARNEAU (24<sup>bis</sup>) ont montré, pour ces sols, l'analogie entre courbes d'amaublissement et courbes d'humidité.

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

### 3 - 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.

### 31. 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.

#### 311. 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 Bambeï, 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 n° II-18

Evolution de la densité apparente en fonction de la pluie cumulée sur un sol Dior à Bambeï.

Date de prélèvement	Pluie cumulée (mm)	Témoin		L a b o u r	
		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 Bambeï, 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.

#### 312. Battance et Erosion

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 et 50 t/ha suivant les années, sur les parcelles de 40 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 de pertes en sol de WISCHMEIER (35). Suivant les périodes, la valeur de K varie de 0,04 à 0,17, valeurs qui sont, de toutes façons 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).

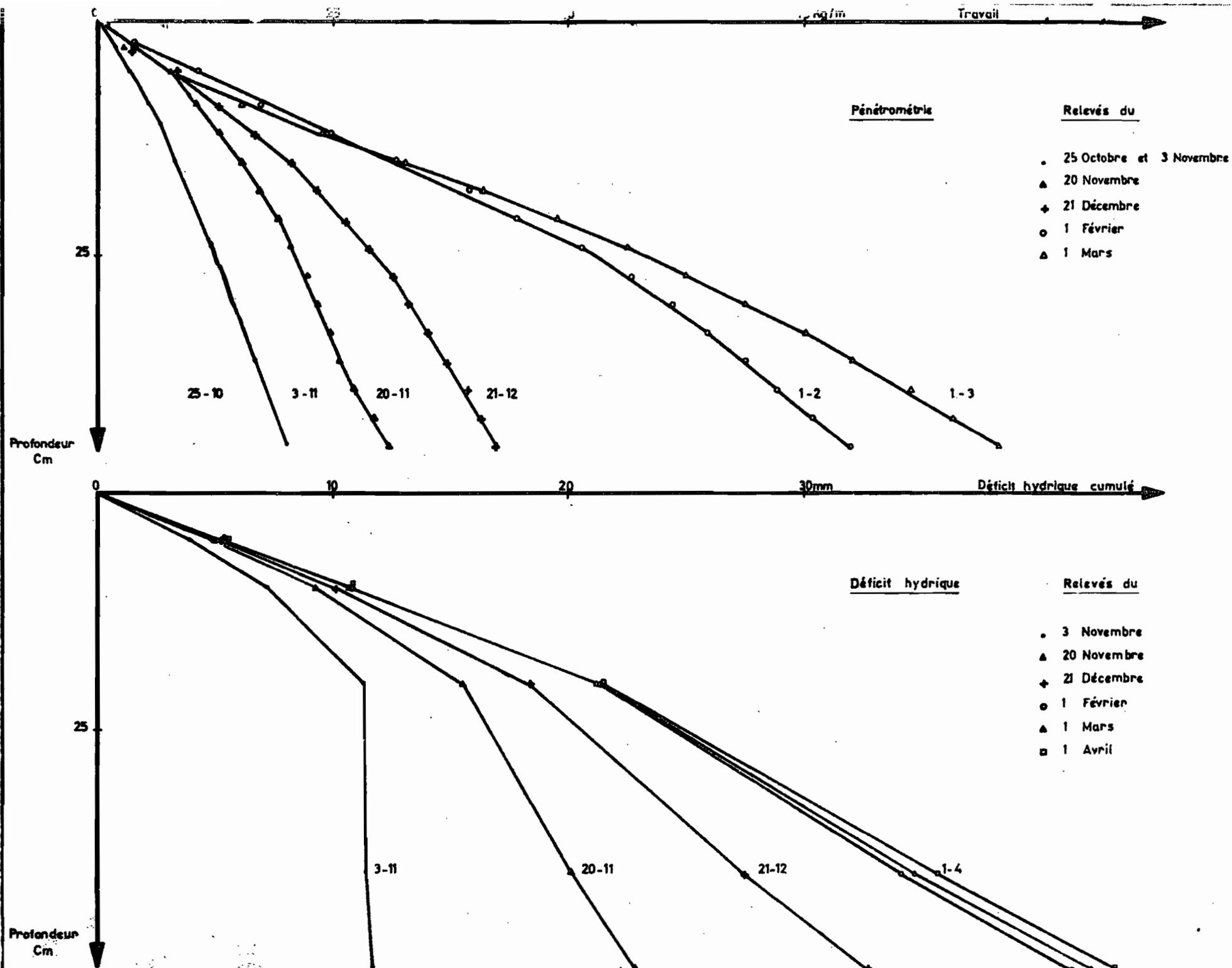
Sous couvert végétal, l'érosion varie à Séfa de 0,02 à 27 t/ha. Une étude assez complète, poursuivie sur une quinzaine d'années, a été réalisée dans ce domaine. Les différents facteurs influençant l'érosion seront examinés par ailleurs.

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 5e 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.

### 32. Evolution du profil cultural au cours de la saison sèche

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.



Graphique n°II-9-Comparaison des courbes de pénétrométrie et de déficit hydrique en fonction de la profon

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.

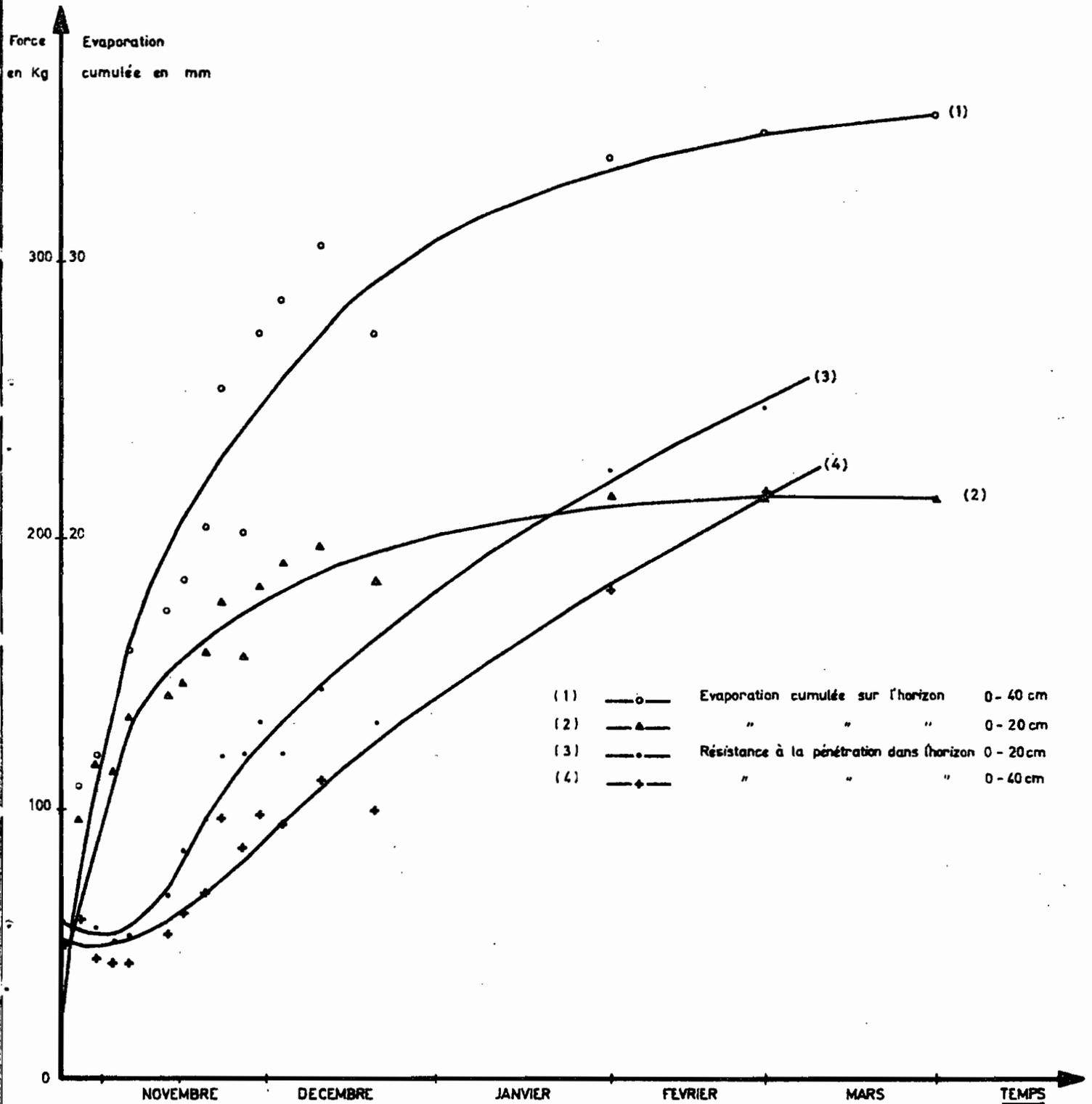
Sur le graphique n° II-10 on a fait figurer en comparaison les courbes d'évaporation cumulée et de résistance à la pénétration en fonction du temps dans les horizons 0-20 et 0-40 cm. Comme on peut le constater, l'allure des deux séries de courbes est nettement différente. L'évaporation est très rapide au début, pour se ralentir progressivement à partir du 10<sup>e</sup> ou 15<sup>e</sup> 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<sup>er</sup> 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 stopée à partir du 1<sup>er</sup> Mars.

Les graphiques n° 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 kg, en fonction du déficit de rétention en mm, dans les deux horizons 0-20 et 0-40 cm. Les deux courbes sont nettement distinctes.

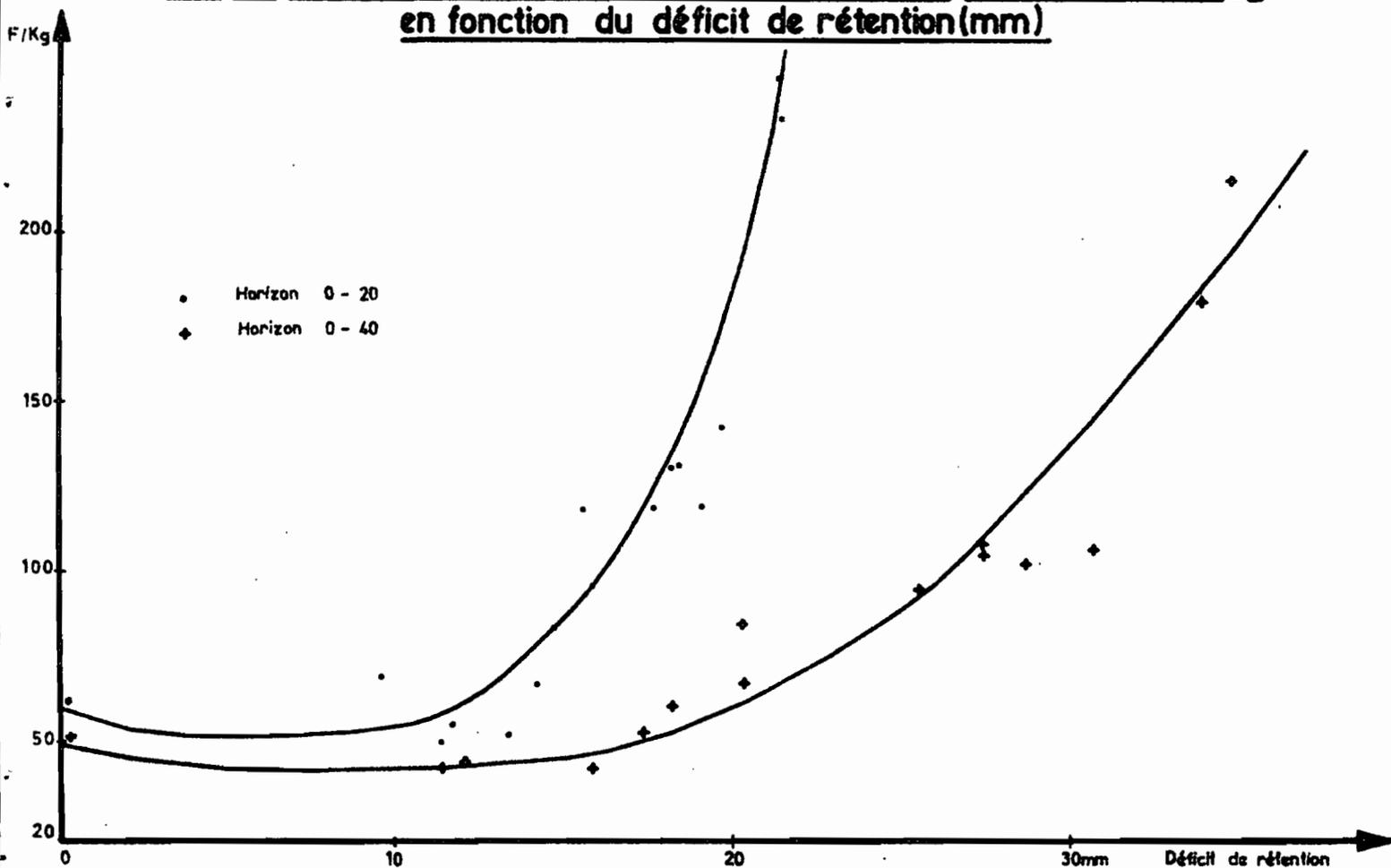
Comme on le voit, il y a un certain temps de latence avant que la cohésion ne se développe, très rapidement dans l'horizon 0-20, plus progressivement dans l'horizon 0-40. Si l'on exprime les pertes d'eau en pourcentage du déficit de rétention et la cohésion en pourcentage de la plus forte cohésion observée ("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.

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 dessèche-

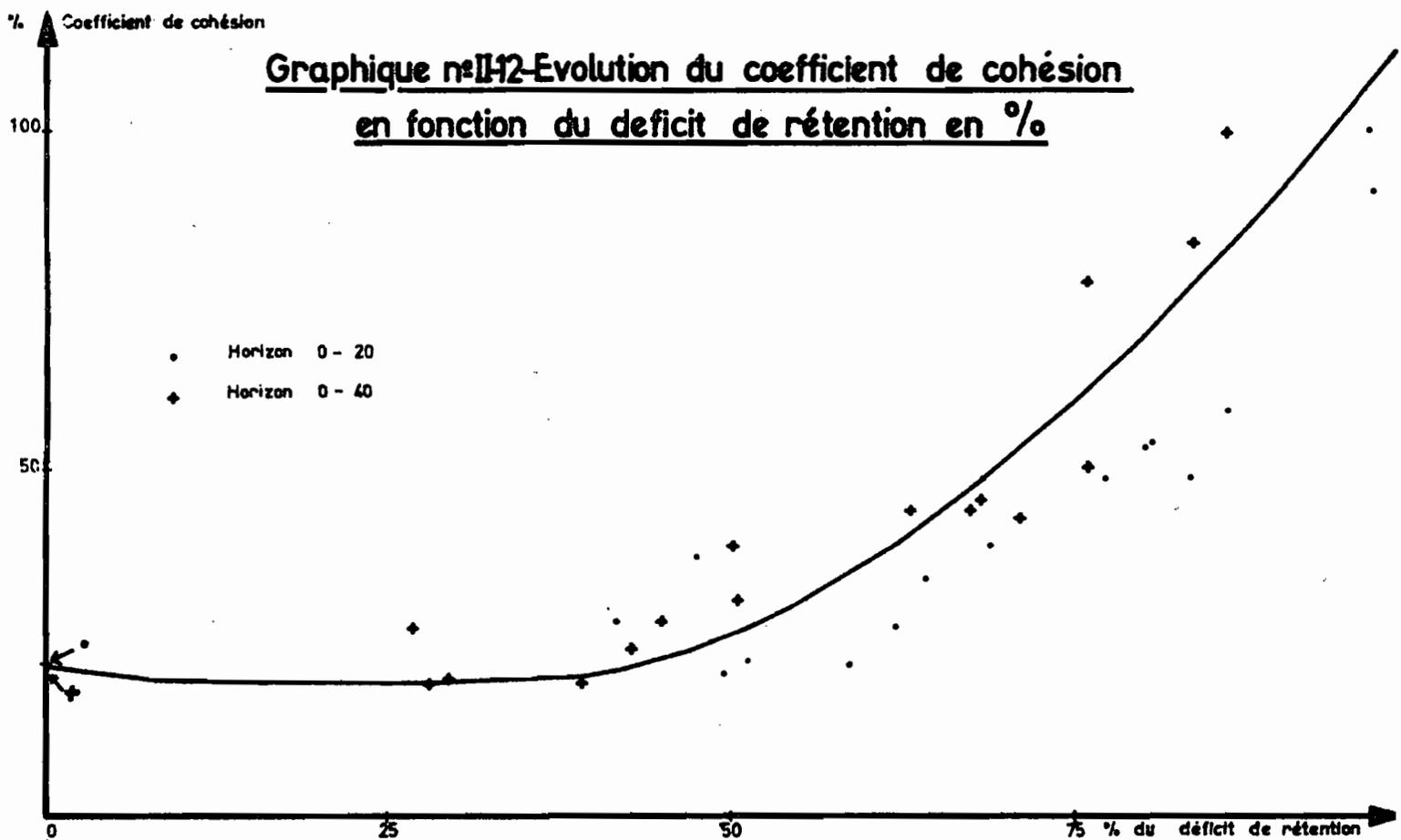
# Graphique n°II-10-Courbes comparées en fonction du temps, de l'évaporation cumulée et du développement de la cohésion



Graphique n°II-11-Evolution de la résistance à la pénétration (F en Kg)  
en fonction du déficit de rétention (mm)



Graphique n°II-12-Evolution du coefficient de cohésion  
en fonction du déficit de rétention en %



ment de ces sols. Ceci peut sembler assez surprenant et en contradiction avec les observations de HARRIS (20) 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 Bamby 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 degrés 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.

#### 4 - 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.

B i b l i o g r a p h i e

- (1) - Anénagement du Territoire, 1967  
Quelques données pluviométriques de 16 Stations du Sénégal  
(Période 1932-1965)  
Minist. du Plan et du Dévelop. Anéage. 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, 269-288.
- (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)  
Tome II, Con. n° 106, 1281-1295.
- (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., 427-436
- (5) - BONFILS P., FAURE J., 1955  
Etude des sols du C.R.A. Bambey, avec carte au 1/10.000e  
Annales du CRA Bambey, 5-24.
- (6) - BONFILS P., FAURE J., 1956  
Les sols de la région de Thies (carte au 1/100.000e)  
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, 3e Conf. Intéraf. des Sols, Dalaba, II, 841-850.
- (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, 504-562.
- (10) - CHARREAU C., 1968  
Pluie et érosion  
Con. présentée au Séminaire de Météo. et Climat. (Dakar 27 Juin  
1968). Doc. mult. IRAT-Sénégal, 14 pp.

- (11) - CHARREAU C., 1969  
Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance  
C.R. du VIIe Cong. Int. du Génie Rural, Baden-Baden.
- (12) - CHARREAU C., SCHDCH P.G., DANCEMTE C., 1964-1968  
Analyse de l'agressivité des pluies à Banjey et Séfa.  
Rapports annuels de l'IRAT-Sénégal, Division de Bioclimatologie.
- (13) - CHAUVEL A., 1966  
Etudes physiques des sols de Séfa.  
Centre ORSTOM, Dakar ; rapp. mult. 56 pp.
- (14) - CHAUVEL A., TOBIAS C.  
Quelques données sur les caractéristiques physiques et le pédoclimat des sols de Séfa (Casamance)  
A paraître.
- (15) - COCHEME 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 VIe Cong. Int. de la Sc. du Sol, Paris, VI-15, 569-576.
- (17) - COINTEPAS J.P., 1958  
Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa.  
Centre ORSTOM, Dakar, doc. mult. 110 pp.
- (18) - CORMARY Y., et 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 WISCHLEIER.  
Cah. ORSTOM 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 sels d'Afrique au 1/5.000.000e  
Con. 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 C G O T, Doc. mult.

- (22) - FAUCK R., 1955  
Etude de pédologie de la région de Sédhiou (Moyenne-Casamanse)  
L'Agr. Trop., X, 6, 752-793.
- (23) - FOURNIER F., 1960  
Climat et érosion  
Thèse Doct.ès lettres, Paris - P.U.F., Paris.
- (24) - FOURNIER F., 1962  
Notice explicative de la carte du danger d'érosion en Afrique  
au Sud du Sahara.  
Document CEE-CCTA.
- (24bis) - 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'Agr. Trop., XVI, 3, 238-254.
- (25) - GOUJON P., 1968  
Conservation des sols en Afrique et à Madagascar - 1ère Partie :  
Les facteurs de l'érosion et l'équation universelle de WISCHMEIER.  
Bois et Forêts des Tropiques, n° 118, Mars-Avril, pp 3-17.
- (26) - HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R., MONNIER G., 1960  
Le profil cultural - Principes de physique du sol.  
Soc. d'Ed. des Ingé. Agric. Paris.
- (27) - IRHO-Sénégal, 1961-1966  
Comptes rendus de l'essai jachère-engrais vert-couverture à Darou.  
in Rap. 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), 539-554.
- (29) - MAERTENS C., 1969  
Influence de quelques facteurs sur la fissuration des sols  
So. 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 :  
Etude d'une toposéquence dans la région de Séfa  
Centre ORSTOM, Dakar. Doc. mult., 116 p.
- (32) - TOBIAS C., 1968  
Mesure au laboratoire de la perméabilité d'échantillon de sols non  
remaniés  
ORSTOM, Cahiers de Pédologie, IV, 2, 251-257.

- (33) - WISCHMEIER W.H., 1959  
A rainfall erosion index for a universal soil loss equation.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 23, 246-249.
- (34) - WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1958  
Rainfall energy and its relationship to soil loss  
Trans. Amer. Geo. Un. 39, 2, 285-291.
- (35) - WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D., 1960  
A universal soil-loss estimating equation to guide conservation  
farm planning.  
Trans. 7th Intern. Cong. Soil Sci., 1, 418-425.

## R é s u m é

### INTRODUCTION

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. HENIN 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 2 à 5 mois pluvieux ( $\geq 50$  mm).

Le plan de l'étude est exposé.

### CHAPITRE I.- METHODES D'ETUDE 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. HENIN 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'EVOLUTION DU PROFIL CULTURAL.-

Le climat dans la zone considérée est étudiée 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'absence 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, a 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./.

CC/BN

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT DE RECHERCHES  
AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES  
VIVRIERES

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)

Tome II

C. CHARREAU

Mars 1970

Tome II

Chapitre III : Les facteurs biologiques : faune et végétation,  
et leur influence sur le profil cultural et la  
productivité agricole.-

## S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
1 - LA FAUNE DU SOL	63
2 - VEGETATION NATURELLE ET CULTURES	64
21. La végétation naturelle	64
22. Les plantes cultivées	65
23. L'enracinement des plantes	68
231 Généralités	68
232 Enracinement des plantes de jachère	71
233 Enracinement des céréales	73
234 Enracinement des légumineuses	78
235 Enracinement du cotonnier	79
24. Liaisons entre l'enracinement, la croissance et la production végétales	80
3 - INFLUENCES RECIPROQUES ENTRE PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL ET VEGETATION	81
31. Les propriétés physiques du sol influant sur la croissance et la production végétale	81
32. Action de la végétation sur les propriétés physiques des sols	87
321 Les mécanismes d'action	87
321 1 Couvert végétal et protection du sol	87
321 11 Pendant la saison sèche	87
321 12 Pendant la saison des pluies	91
321 2 Action des racines sur la structure du sol	93
322 La résultante des effets sur les propriétés physiques des sols : influences comparées des différentes formations végétales	96
322 1 Les formations végétales étudiées	96
322 2 Influences comparées sur les caractéristiques hydrodynamiques des sols	97
322 3 Influences comparées sur le régime hydrique des sols	103
322 4 Influences comparées sur le régime thermique des sols	106
322 5 Influences comparées des formations végétales sur la structure du sol	106
322 6 Influence de la nature du couvert végétal sur le développement de l'érosion	112

322 7 Conclusion sur l'influence des différents types de végétation sur les propriétés physiques du sol	:	:	115
4 - INFLUENCES RECIPROQUES DES PLANTES ENTRE ELLES - INCIDENCES SUR LA PRODUCTION VEGETALE	:	:	115
41. Influences exercées par la végétation sur l'enracinement des propriétés du sol et sur les cultures	:	:	116
411 Facteurs influant sur les propriétés chimiques des sols et le bilan minéral	:	:	116
412 Facteurs influant sur les caractéristiques biochimiques et le bilan humique	:	:	118
413 Facteurs d'ordre sanitaire	:	:	119
42. Les successions culturales	:	:	119
421 Les successions culturales traditionnelles	:	:	120
422 Les successions culturales proposées par les agronomes	:	:	121
422 1 Influence de la jachère sur la production végétale	:	:	122
422 11 Résumé des effets de la jachère sur le sol	:	:	122
422 12 Données expérimentales concernant l'influence de la jachère sur les rendements des cultures de la rotation	:	:	123
422 121 Durée de la jachère	:	:	124
422 122 Durée de la période culturale	:	:	128
422 123 Traitements de la jachère	:	:	134
422 13 Conclusion sur le rôle de la jachère dans les systèmes agricoles sans travail du sol	:	:	137
422 2 Alternance des cultures	:	:	138
43. Les associations de plantes	:	:	142
431 L'association arbres/cultures	:	:	143
432 Les associations entre cultures	:	:	149
5 - C O N C L U S I O N	:	:	155

### CHAPITRE III.-

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 mésofaune du sol, mais ces problèmes ne seront pas pris en considération ici.

#### 1. 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 (10cm) 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, désignés 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 méso-faune, 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.

## 2. VEGETATION NATURELLE ET CULTURES DE LA ZONE

La végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée, est influencée par les caractéristiques du sol et notamment pour 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.

### 21. La végétation 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 (85bis) 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 à 1800 mm) et la durée de la saison des pluies (2 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'eu-climax (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 Roetbellia exaltata.

Les herbes se dessèchent pour la plupart dès les 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 les 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 n° 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'ha sont compris entre 16 et 60 tonnes, avec un maximum de 70 tonnes pour Pennisetum purpureum.

La production annuelle de litière pour les arbres est peu connue. Cependant, DOMERGUES (29) a évalué à 4,7 et 5,8 t/ha la quantité de litière produite chaque année en Casamance sous de jeunes teckeraies de 4 à 8 ans. D'après cet auteur le chiffre de 5 t/ha représenterait une moyenne acceptable pour les forêts de la zone tropicales 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.

## 22. Les plantes cultivées

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

Parmi les céréales, les mils Pennisetum dominant nettement au Nord de la Gambie: mils hâtifs (100-120 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 (100-120 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 sur 2 millions d'ha). 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 (90-100 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 n° III-1 sont regroupées un certain nombre de données intéressantes 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.

T A B L E A U N° III-1

Données économiques et agronomiques concernant les jachères et cultures au Sénégal

Caractéristiques Cultures	DONNEES ECONOMIQUES (1)			S E M I S			CYCLE VE- GETATIF	RENDEMENT t/ha grains ou gousses			RENDEMENTS PAILLES PAILLES t/ha		
	Superfi- cie culti- vée	Produc- tion x1000	Rende- ment moyen kg/ha	M o d e	Ecarte- ment cm	Den- sité/ha	Durée en jours	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
	x1000ha	tonnes	kg/ha										
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	1155	655	567	Poquets	100 x 100	10 000	90-150	0,3	3,0	1,5	2,0	18,0	9,0
Sorgho grain				Poquets	100 x 50	20 000	90-150	0,5	3,5	2,0	1,8	18,0	7,0
Maïs grain	72	87	1205	Poquets	100 x 50	20 000	90-150	0,5	3,5	2,0	1,8	18,0	7,0
				Poquets	90 x 25	45 000	90-110	0,3	5,0	2,5	0,5	6,0	3,0
Riz pluvial	-	-	-	Lignes	40	-	90-120	0,5	3,0	2,0	0,5	6,0	3,0
Arachide	1114	1005	865	Lignes	60 x 15	110 000	120	0,7	3,5	2,0	1,5	5,0	2,5
				Lignes	40 x 15	167 000	105						
Niébé	99	30	303	Poquets	50 x 40	50 000	120-180	0,3	2,5	1,0	0,5	4,0	1,5
Cotonnier	4,0	4,3	1075	Poquets	90 x 20	55 000	150	0,4	3,5	1,5	0,6	6,0	3,0

(1) D'après le rapport annuel 1967-1968 de la Direction des Services Agricoles du Sénégal./.

## 23. L'enracinement des plantes

### 231. Généralités

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 (ch.I, 26) 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 n° 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 nil 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 n° 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/quelques  $\text{dm}^3$  alors que l'extrapolation à l'hectare concerne un volume de 3 à 5000  $\text{m}^3$  de terre. Le rapport entre le volume échantillonné et le volume global est donc de 1 à  $10^5$  ou  $10^6$ . 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'ha 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  $1/10^3$ .

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 grains 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 n° 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. PELEBERTS (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.

### 232. Enracinement des plantes de jachères

Les jachères dont il est question ici sont des jachères de courte durée (1 ou 2 ans) incluses dans la rotation culturale. Ces jachères sont composées essentiellement de graminées annuelles à systèmes racinaires fasciculé 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 racinaires 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 perennes introduites telles que Panicum coloratum, Panicum antidotale, Cenchrus setigerus et Cenchrus 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 enfoncés 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/dm<sup>3</sup> au tonnage de racines à l'hectare, avec cependant toutes les réserves faites plus haut sur la précision des valeurs ainsi obtenues.

Tableau n° III-2

Données estimatives concernant l'enracinement des jachères 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 en cm	Superficie couverte	Intensité d'action sur la structure	Mini mm	Maxi- mm	Moyenne	Mini mm	Maxi- mm	Moyenne	Mini- mm	Maxi- mm	Moyenne
Jachères	10-20	90-100	+	200	7000	1000	500	10000	3000	1,0	6,0	3,0
Mil engrais vert	15-25	80-100	+	200	3000	1700	500	15000	5000	1,5	5,0	3,0
Mil grain	20-40	10-40	++	400	3000	1500	2300	21000	10500	-	-	7,0
Maïs	20-40	35-70	++	300	4000	2000	800	11000	5500	2,0	8,5	5,0
Sorgho	20-40	25-40	++	400	4000	1000	2300	21500	9000	3,5	20,0	9,0
Riz pluvial	15-30	50-90	++	300	3000	1000	1000	9000	5000	2,0	9,0	5,0
Arachide	20-40	50-80	0	400	1500	800	2200	8500	4500	1,5	9,0	4,0
Niébé	20-40	50-80	0	150	1300	500	800	6500	2500	-	-	5,0
Cotonnier	50-80	50-80	0	150	1500	750	1000	9500	4500	-	-	6,0

Les auteurs précités ont étudié une vingtaine de situations au Sénégal. Les poids de racines varient entre 0,79 et 7,75 t/ha avec une moyenne de 2,07 t/ha. Les valeurs correspondantes de matière sèche produites par l'appareil végétatif s'étagent entre 2 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 4 à 5 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/dm<sup>3</sup> sur une couche de 45 cm de profondeur (3,41 g/dm<sup>3</sup> dans la couche 0-10). 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 (3 niveaux dans chaque cas). La proportion de racines concentrée dans l'horizon superficiel (0-10 cm) varie entre 60 et 75%. Il n'y en a guère plus de 10 à 15% dans la couche la plus profonde (20-30 cm dans les zones Nord et Centre, 30-40 dans la zone Sud).

### 233. Enracinement des céréales

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 0-20 cm dans la zone Nord et 0-30 dans la zone Sud; il y en a moins de 10% dans le niveau inférieur (20-30 ou 30-45). Les tonnages de racines trouvés expérimentalement vont de 1,27 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 nil grain dans des conditions de culture artificielle : plantisolé 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 d'un mètre 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 nil 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 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 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 nil (*Pennisetum gibbosum*), en fin de cycle végétatif, une valeur de 6.

Le nil 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 0-15, 32% dans la couche 15-30 et 2% dans la couche 30-45. BLONDEL (7) a noté que sur un sol non travaillé, à Bamby, l'enracinement descendait à 1m de profondeur, 45% des racines se trouvant entre 20cm et 1m; par contre, à Séfa, sur un terrain labouré, la totalité des racines était concentrée dans la couche superficielle (0-20cm), 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 à 3,91 t/ha avec une moyenne de 2,59 t/ha pour 7 cas. A Sinthiou, les valeurs correspondantes sont nettement plus faibles puisqu'elles vont de 1,24 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 90cm 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 Etats-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 montre qu'il y a en moyenne 60% de racines dans la couche 0-15 cm, 37% dans la couche 15-30 et seulement 3 à 4% dans la couche 30-45 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 radicelles, 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 14 cas étudiés des valeurs allant de 1,28 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 à 1,02 t/ha, malgré une croissance végétative satisfaisante (6,10 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 radicelles. Le diamètre moyen des racines adultes est un peu supérieur à 1 mm, la longueur moyenne va de 44 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 m<sup>2</sup> sur le témoin et de 12 m<sup>2</sup> 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 0-10). 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 0-10, 16% dans l'horizon 10-20 et 4% seulement dans l'horizon 20-30 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 SEGUY, 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 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 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 10-20 aux dépens de l'horizon 0-10. On trouve cependant quelques racines en dessous de 50 cm de profondeur. Le riz étant semé en lignes continues à 40cm 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 7 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 dm<sup>3</sup>), 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 pour l'Iguape Cateto, 3,3 pour le Taïchung et 4,6 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 dm<sup>2</sup> pour le 63-83, 77 dm<sup>2</sup> pour l'Iguape Cateto, 71 dm<sup>2</sup> pour le Taïchung et 97 dm<sup>2</sup> 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 TN1 et l'IR8 ont un enracinement plus ramifié, plus fin et plus enchevêtré : la prospection du sol est certainement bien meilleure, mais, en contre partie, 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.

#### 234. Enracinement des légumineuses cultivées

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 un mètre 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 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 (0-25 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 Bamby les évaluations de poids de racines allaient de 445 à 1330 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 Tanganyka. Dans ce dernier cas la vitesse d'élongation moyenne est de 17,3 mm par jour pendant 100 jours, mais elle peut atteindre 31,5 mm/jour pendant les 10 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.

### 235. 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 d'un mètre 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 radicules peut prendre un développement important et de façon assez rapide (58).

LEA (60) constate que dans un verticol 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 14 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 0-60 cm; quelques racines descendent cependant en-dessous de 1 m. Le poids de racines est de 750 à 800 kg/ha.

Faute de données plus précises, la valeur de 60 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.

#### 24. 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 d'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'ont 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 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 x Dates de semis" à Nioro, "Labour de fin de cycle" à Séfa, "Travail du sol x Fertilisation" à Bambey. A ce dernier emplacement deux types de sols étant concernés : sols Dior pour l'arachide, sol Dek pour le sorgho. Les prélèvements racinaires étaient faits par sondages au moyen de tubes de faible diamètre (5 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 (0-10, 10-20, et 20-30 cm). A Nioro et Séfa les prélèvements racinaires concernent ici l'horizon intermédiaire (10-20 ou 15-30) 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 concernés par les prélèvements racinaires.

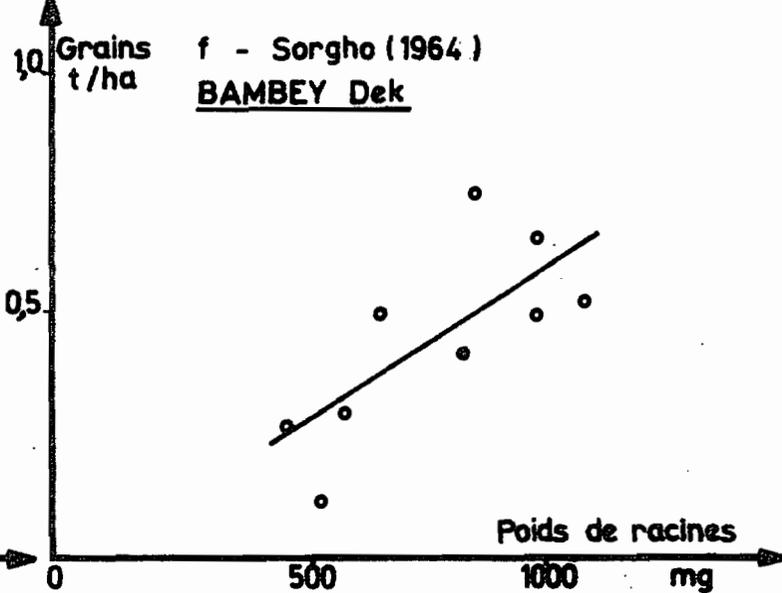
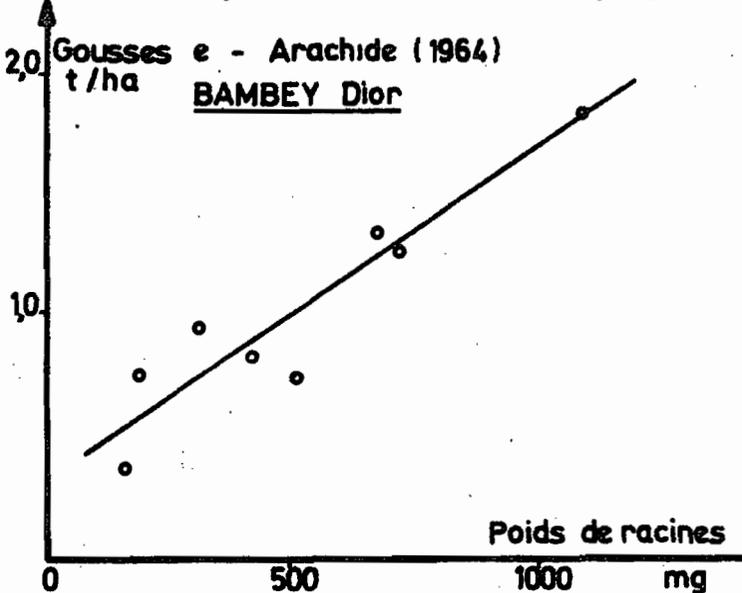
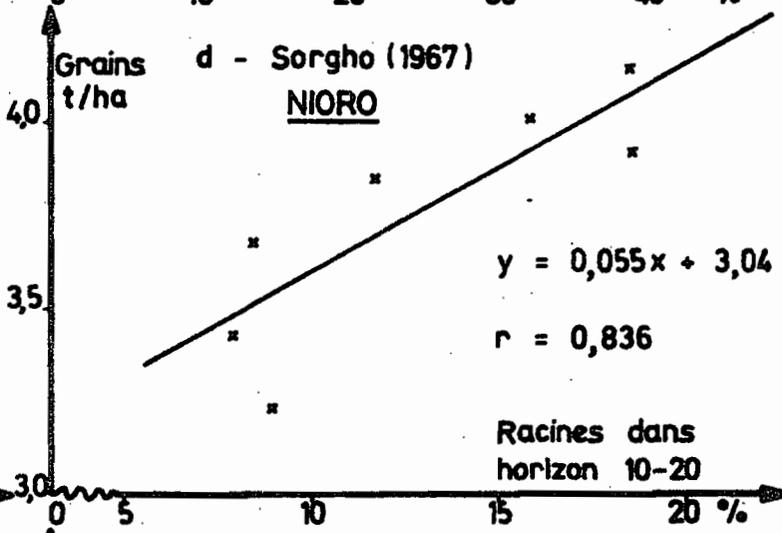
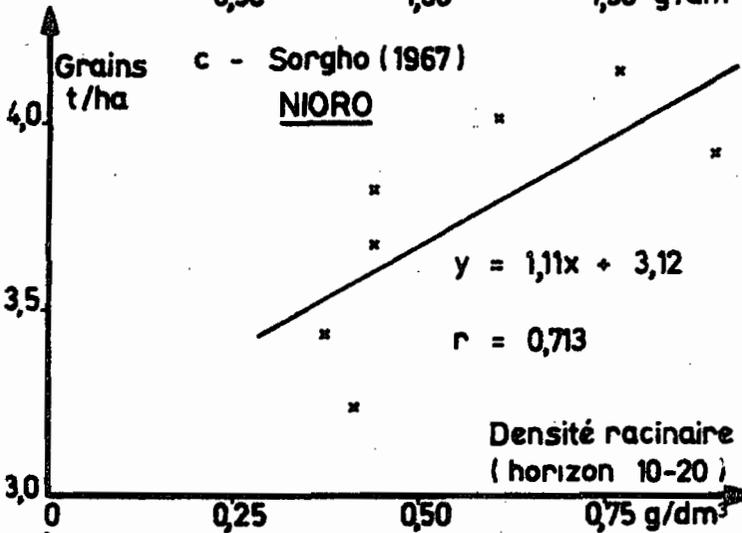
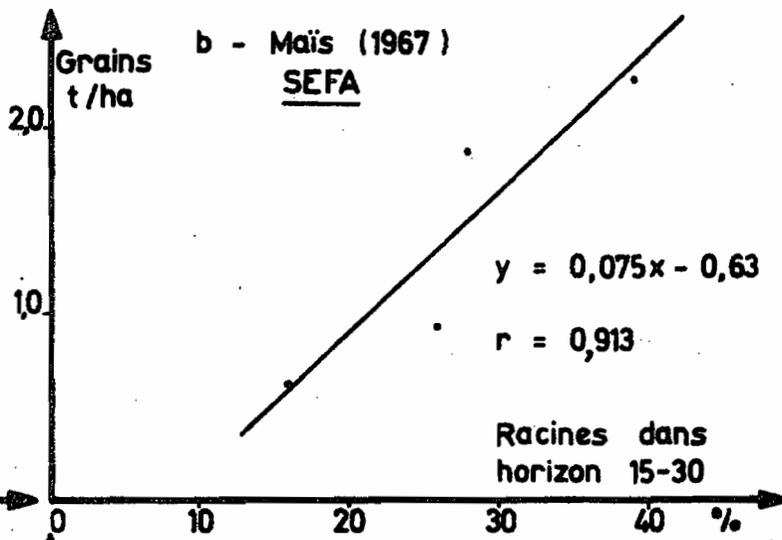
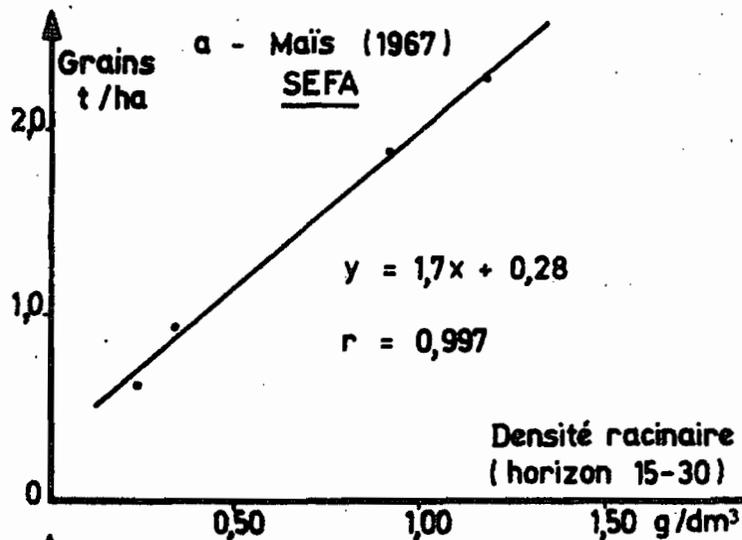
Dans tous les cas étudiés, les liaisons entre enracinement et rendements sont linéaires; les probabilités des liaisons calculées à Séfa et à Nioro sont supérieures à 0,99. Les corrélations à Séfa et Nioro sont meilleures pour l'horizon intermédiaire que pour l'ensemble des horizons prélevés.

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.

# 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



En appelant  $x$  le poids de racines par plant, en g  
et  $y$  le poids de racines par plant, en g

on obtient, pour 2 variétés de sorgho les relations suivantes :

- Pour le congossane :  $y = 2,49 x - 62,5$  avec  $r = 0,749^{++}$ ,  $n = 11$
- Pour le 63-18 :  $y = 9,225x - 388,7$  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 :

$$y = 33,57 x - 1316 \text{ avec } r = 0,954^{+++}, n = 6.$$

### 3. 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.

#### 31. Les propriétés physiques du sol influant sur la croissance et la production végétale

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 dont 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, PHILLIPS et DON KIRKHAM (76) sur maïs, MEREDITH et PATRICK (62) sur sorgho fourrager; en Allemagne, GLIEBEROHN, 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 Niéro 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 x Dates de semis") et à Séfa en 1969 (Essai "Régénération du profil"); elles intéressent dans les deux cas le niveau 10-20 cm; à Sinthiou les densités apparentes ont été mesurées au semis, tandis qu'à Séfa les prélèvements ont été effectués environ un mois après.

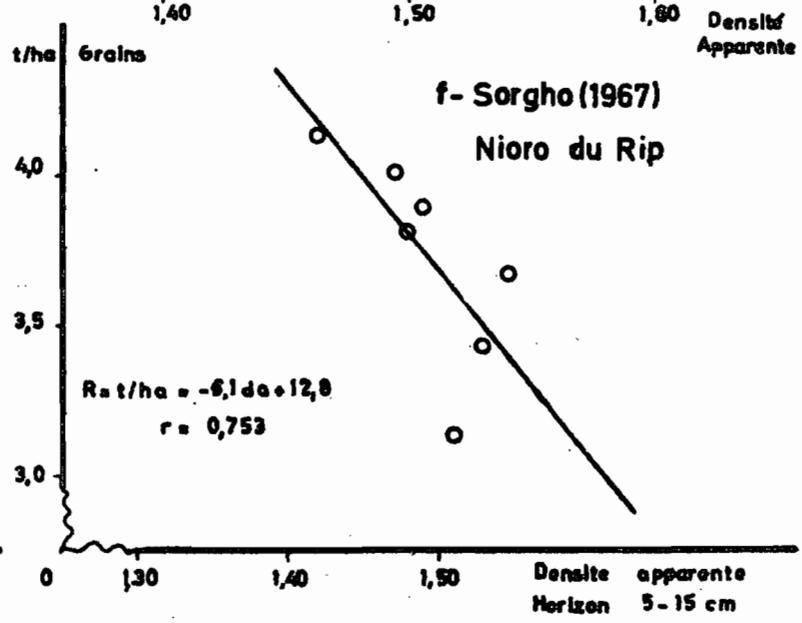
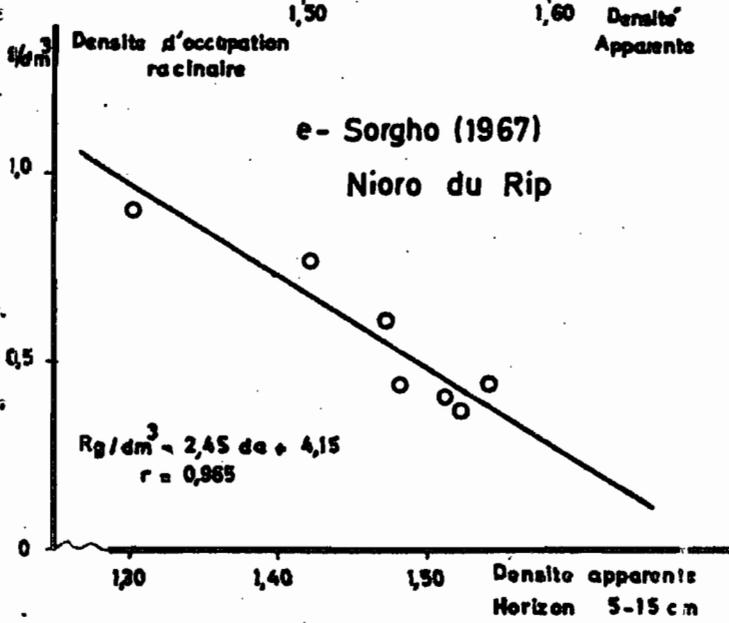
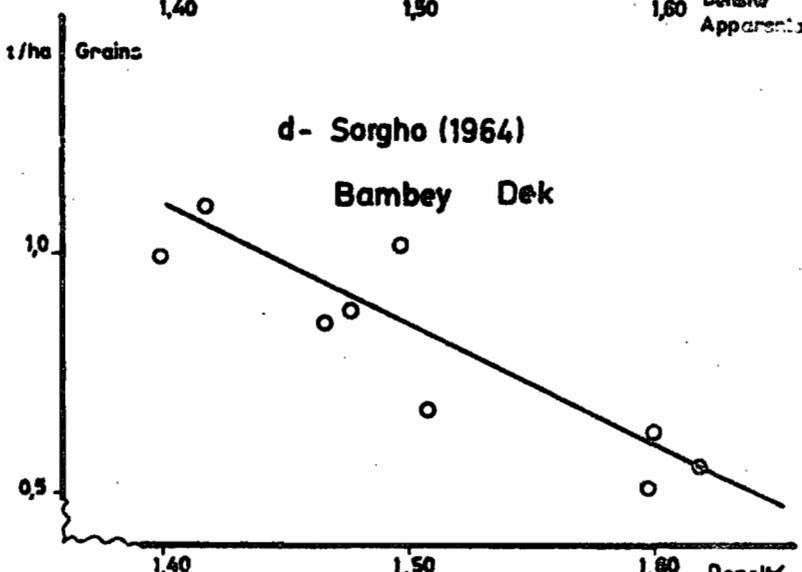
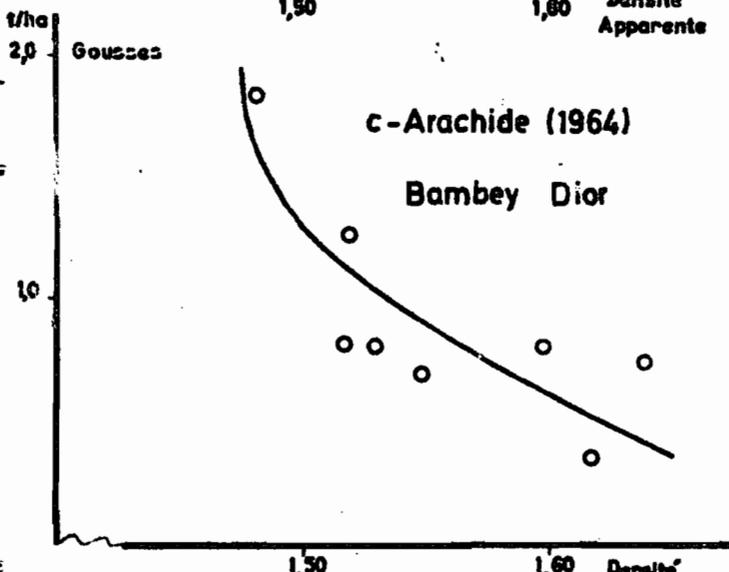
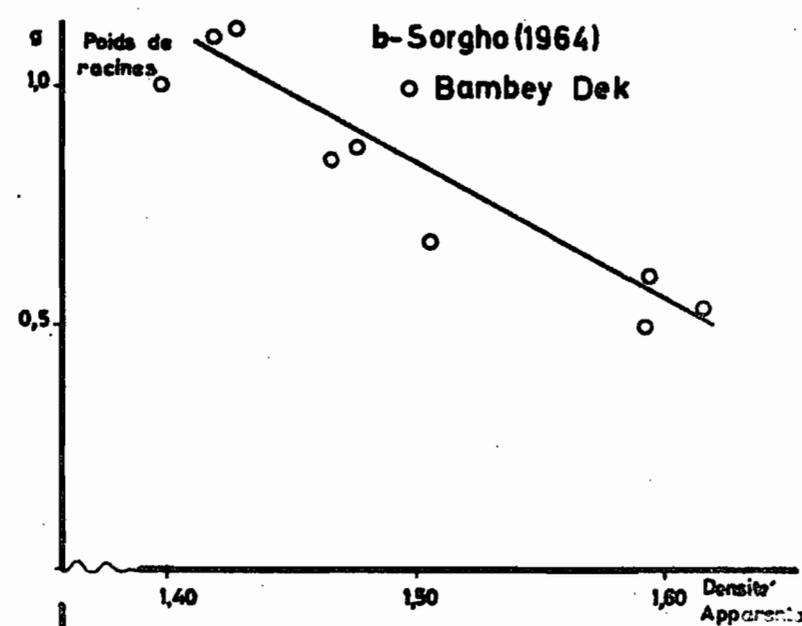
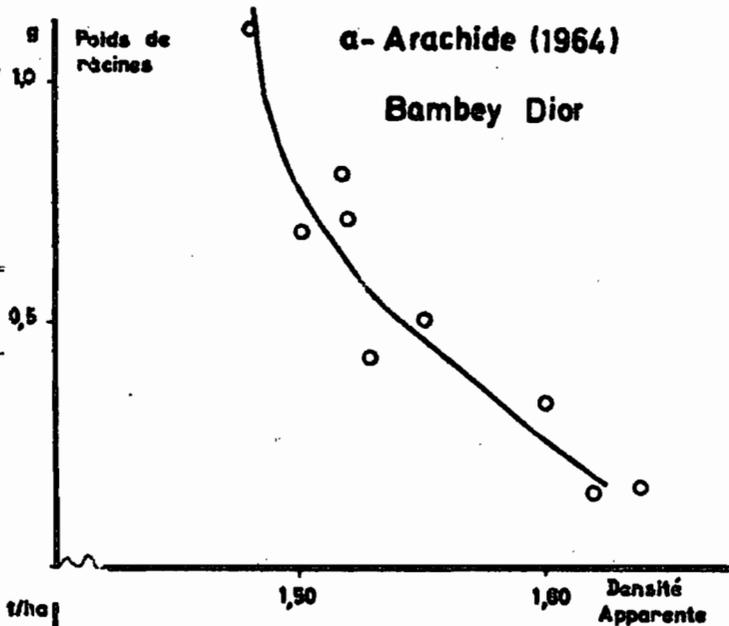
Dans les deux cas, les régressions sont linéaires, négatives et très hautement significatives. En appelant  $x$  la densité apparente en  $g/cm^3$  et  $y$  la densité d'occupation racinaire en  $g/dm^3$ , les équations de régression sont les suivantes :

- A Sinthiou-Malème :  $y \hat{=} 1,96 x + 3,46$ , avec  $n = 9$ ,  $r=0,891$ ,  $P=0,001$
- A Séfa :  $y = 4,85 x + 7,71$ , avec  $n = 6$ ,  $r=0,988$ ,  $P=0,00001$

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 à 600 kg/ha pour une augmentation de 0,10 points 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;

# 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



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  $10^4 \mu$ ) 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 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 16,25cm/h à 0,50cm/h quand la densité apparente augmente de 1,31 à 1,64. La baisse de perméabilité est très rapide, <sup>pour</sup> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> ou CO<sub>2</sub> peut être variable suivant la nature de la plante; la production d'éthanol par les plantes submergées est une importante réponse aux bas niveaux d'O<sub>2</sub>.

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<sub>2</sub> 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 mise en évidence, dans des conditions de sols très variées, entre résistance mécanique et développement radiculaire. 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 radiculaire 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 radiculaire 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 édaphiques 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 radiculaire.

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 2 à 3 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 (1). 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).

(1) Observations faites par MM. MAERTENS et NICOU sur arachide en sol sableux à Bambey.

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.

### 32. Action de la végétation sur les propriétés physiques des sols

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

#### 321. Les mécanismes 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.

#### 321.1 - Couvert végétal et protection du sol

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

##### 321.11 - 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.

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 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 toutes manières, 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 deux centimètres 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 20-25cm), 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 et 20cm 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 20cm 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. DOMERGUES. Elles montrent que les amylolytiques passent de 50000 à 900000 par gramme de terre du sol nu au sol couvert, les nitréux de 250 à 890, les cellulolytiques aérobies de 480 à 1720, 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 Ambatobô, BOUCHARD (8) a observé qu'après réalisation d'un labour de fin de cycle, il y avait, au cours de la saison sèche de 3 à 4 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 :

	<u>Janvier 68</u>	<u>Octobre 68</u>
Arachide	1,17	1,01
Maïs	0,95	0,76
P. 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 pourraient 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.

## 321 12. 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 x Jachère x 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 3 années consécutives (1958-60). Dans le second (H), le terrain est dénudé systématiquement les 3 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 n° III - 3

Influence de la couverture artificielle sur les rendements des cultures à Darou - d'après l'IRHO/Sénégal (49)

Traitements	Années	1961	1962	1965	1966
		Arachide gousses kg/ha	Arachide gousses kg/ha	Arachide gousses kg/ha	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 signi- ficatif	295	124
PPDS 1 %		277		395	166

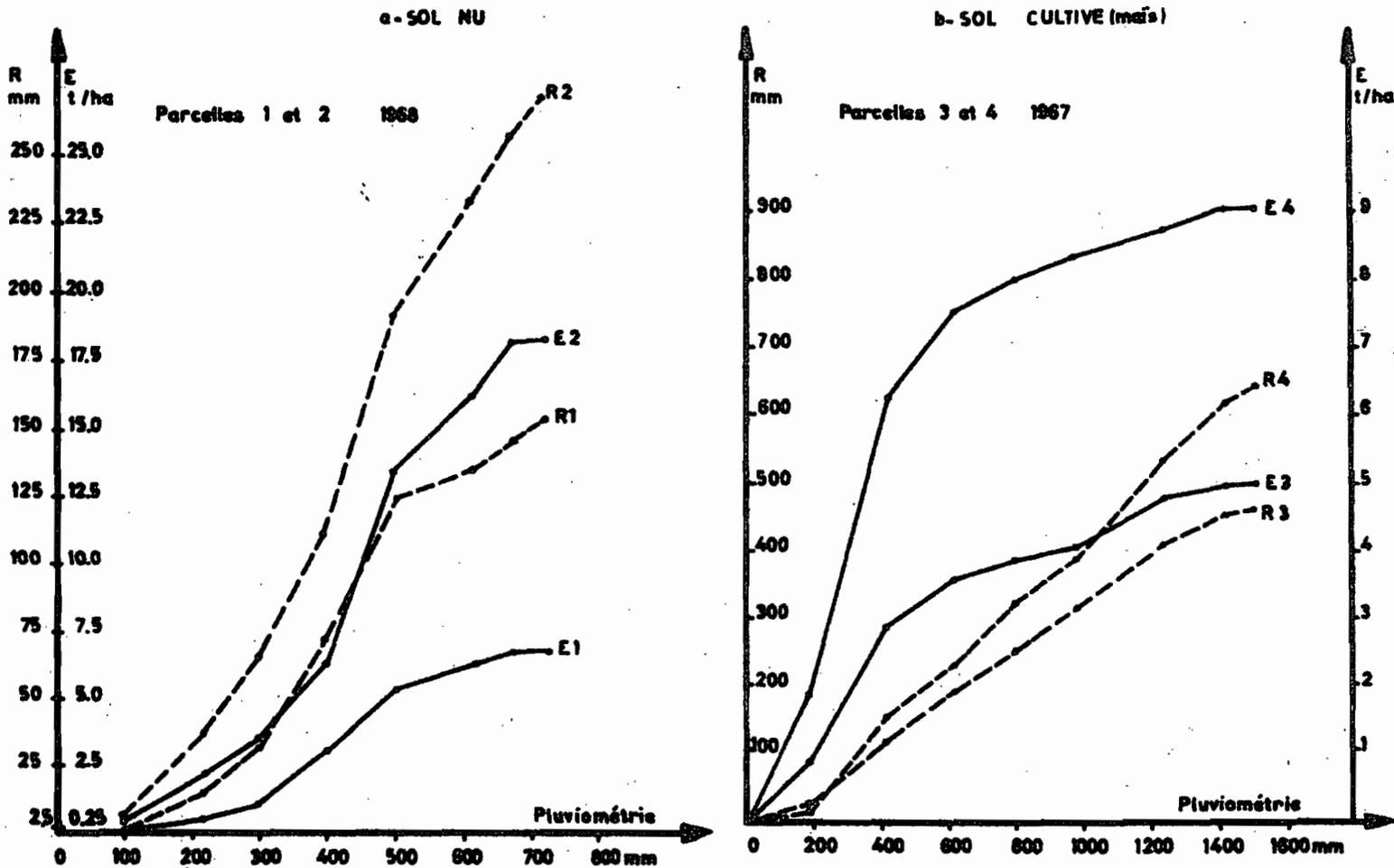
On voit donc, d'après cet exemple, quelles peuvent être, en l'absence de couvert végétal, les conséquences de la dégradation de l'état structural du sol par suite de la battance de la pluie et de l'érosion : les diminutions de rendement pour l'arachide qui suit immédiatement le traitement de dénudation sont de 480 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).

L'expérimentation menée à Séfa en cas de 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.

### 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)



——— E 1 Erosion sur la parcelle 1  
 ——— E 2 " " 2  
 ——— E 3 " " 3  
 ——— E 4 " " 4

- - - - R 1 Ruissellement sur la parcelle 1  
 - - - - R 2 " " 2  
 - - - - R 3 " " 3  
 - - - - R 4 " " 4

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.

### 321 2. 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, HENIN et alt. (43) ont constaté que, "sous une végétation continue et permanente, type prairie, il se constituait progressivement une structure gruneuse 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 (50-200 $\mu$ ), 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 so; 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 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 naturelle, 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 HEMIN). 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, Brachiararia brizantha, Setaria sphacelata (3ème stade) et de Pennisetum purpureum, (4ème 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 gayanus). 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.

### 322. La résultante des effets sur les propriétés physiques des sols : influences comparées des différentes formations végétales

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.

#### 322 1. 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 (1 à 4 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.

### 322 2.- Influences comparées sur les caractéristiques hydrodynamiques 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, 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 :

	<u>Sous forêt</u>	<u>Sous culture</u>
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 départage de l'essai. Les résultats ont été les suivants :

	<u>Jachère</u>	<u>Rotation</u>	<u>Arach.continue</u>
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.

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 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 0-20 cm et de 1 à 20 ou 30 pour la couche de 20 à 40cm.

Plus récemment, CHAUVEL et TOBIAS (22) ont procédé à d'autres mesures de perméabilité en utilisant une méthode proche de celle de VERGIERE (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 n° III-4 et sur le graphique III-4.

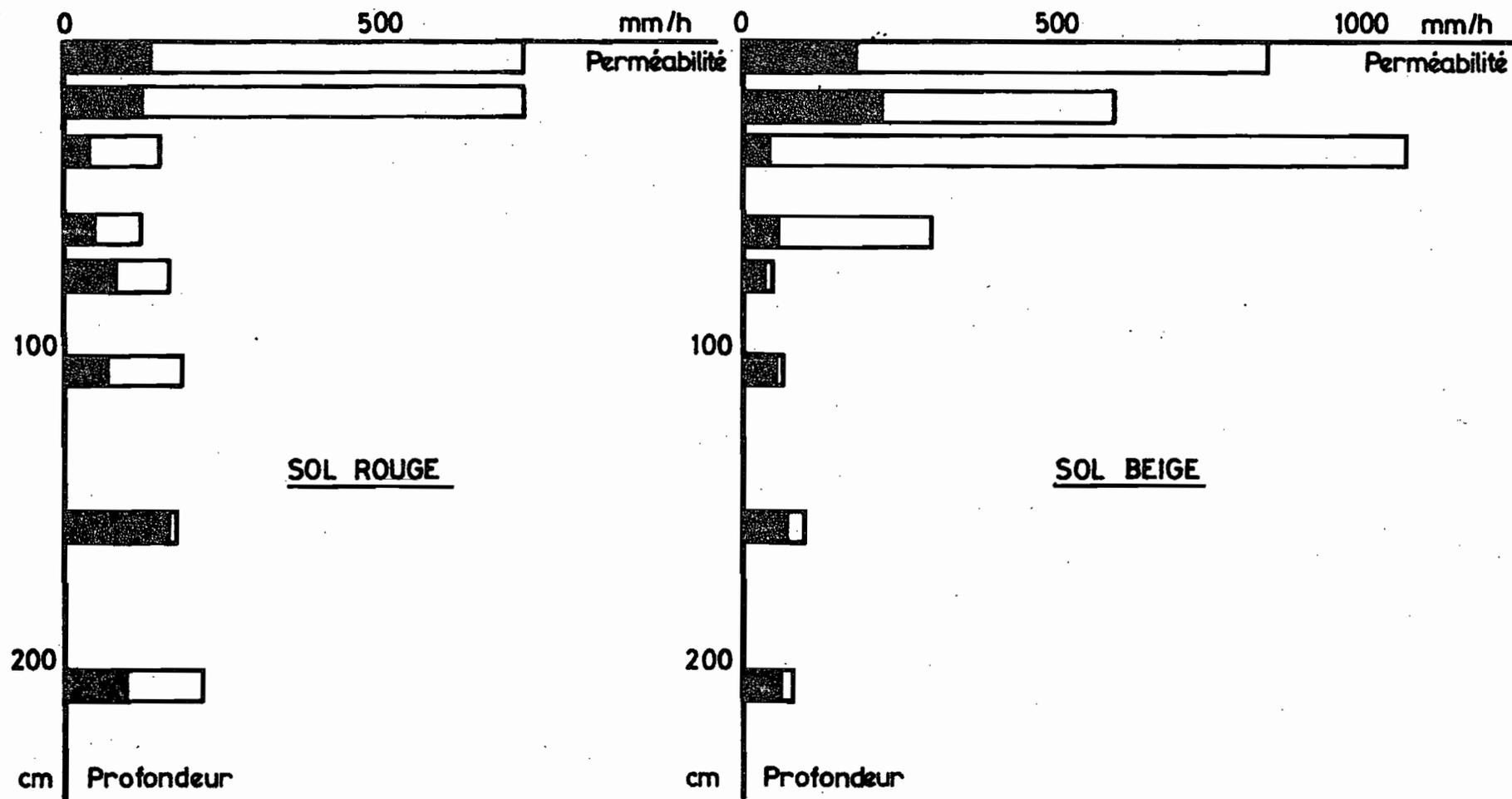
Tableau n° III-4

Comparaison des valeurs de perméabilité en sol rouge et beige de Sôfa sous forêt et sous culture (mm/h) - D'après CHAUVEL et TOBIAS (19)

Type de sol	Profondeur cm	F O R E T			C U L T U R E		
		Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima	Valeurs minima	Valeurs moyennes	Valeurs maxima
Rouge	0-10	370	744	1067	48	142	256
	15-25	412	745	1272	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	1102	57	179	380
	15-25	295	593	1086	180	215	250
	30-40	462	1141	1970	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

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)



■ Perméabilité sous culture    □ Perméabilité sous forêt

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 30-40 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 MUNTZ (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 MUNTZ 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 (ch. II, 151) 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 1960 en cas deérosion ont permis de chiffrer chaque année, pour différentes cultures, les valeurs de ruissellement. Les mesures ont été faites sur parcelles de 40 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 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 45 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, regroupés par ROOSE (86) et celles conduites de 1964 à 1968 par CHARREAU et alt. (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 à 14 mm en moyenne, soit 1% de la pluviométrie.

Tableau III-5

Influence comparée de diverses couvertures végétales  
sur le ruissellement à Séfa (1954-1968)

Nature du couvert végétal	Nbre de répétitions	Puie Moyenne m m	Ruissellement mm			Ruissellement %		
			Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
Forêt protégée	11	1293	12,9	5,0	44,7	0,9	0,1	2,3
Forêt brûlée	13	1289	14,0	8,0	42,9	1,1	0,3	2,2
Jachère herbacée	7	1203	199,7	142,0	250,6	16,6	11,8	21,5
Arachide	32	1329	275,3	66,6	529,1	20,7	3,7	42,5
Cotonnier	3	1151	322,3	10,4	491,5	28,0	0,9	42,7
Sorgho engr.vert	13	1246	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	1113	379,4	271,6	467,5	34,1	24,4	42,0
Maïs	17	1405	248,2	19,4	698,0	17,7	1,1	46,3
Mil grain	4	1328	389,6	271,6	529,1	29,3	18,8	39,7
Cultures dévastées et sol nu	11	1154	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 :

	<u>Hauteur d'eau ruisselée mm</u>	<u>Coefficient de ruissellement %</u>
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 la 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.

### 322 3.- Influences comparées sur le régime hydrique des sols

Des observations précédentes faites sur les sols de Séfa, on aurait pu dire 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 inférieur 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 à 500 l/s (bassin versant de l'ordre de 20 km<sup>2</sup>). 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 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 20 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 4 ou 5 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 capacité 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 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.

#### 322 4.- Influences comparées sur le régime thermique des sols

Cette question a été évoquée plus haut (III, 321 11). 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 un mètre de profondeur; c'est donc l'ensemble du profil qui se trouve sous un régime pédoclimatique différent du fait de la déforestation.

#### 322 5.- 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.

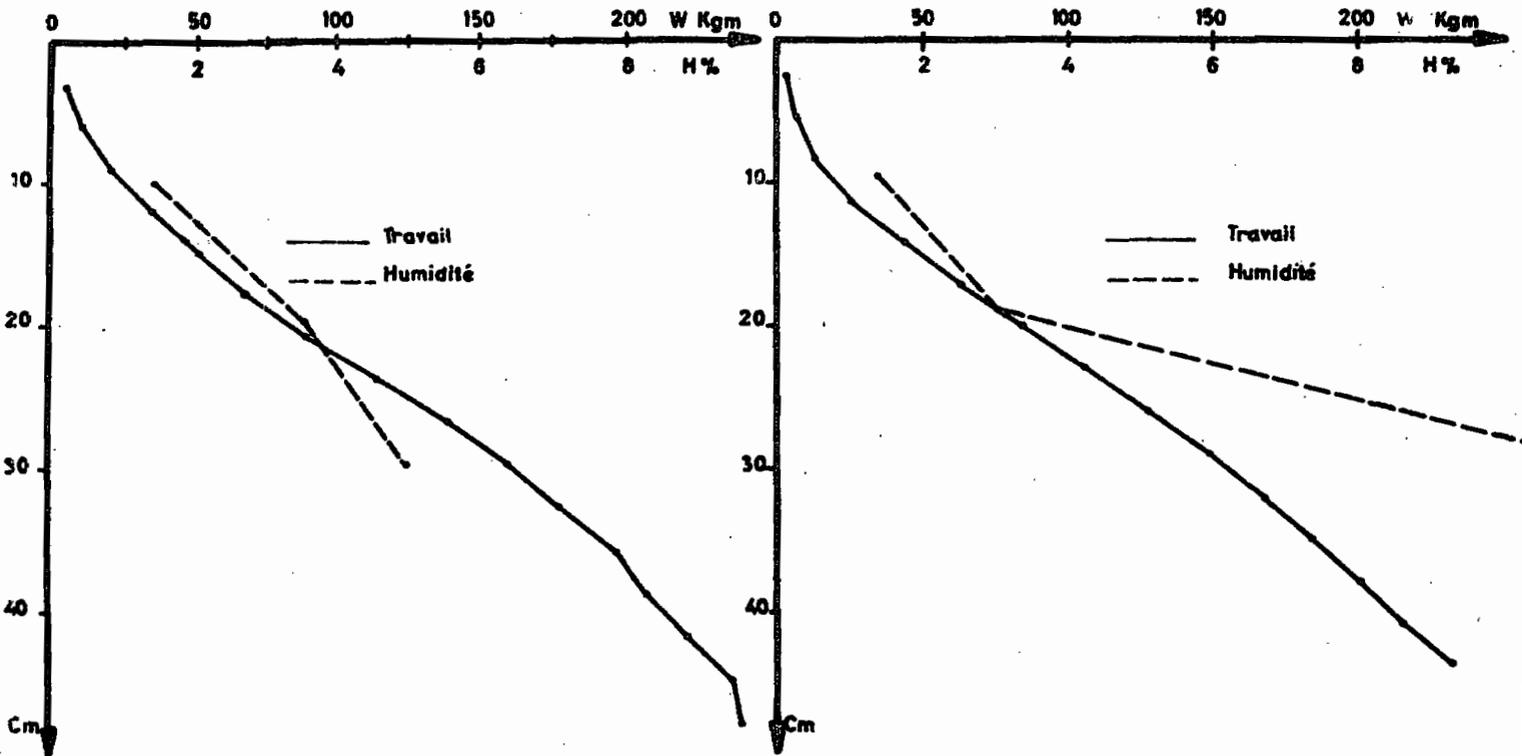
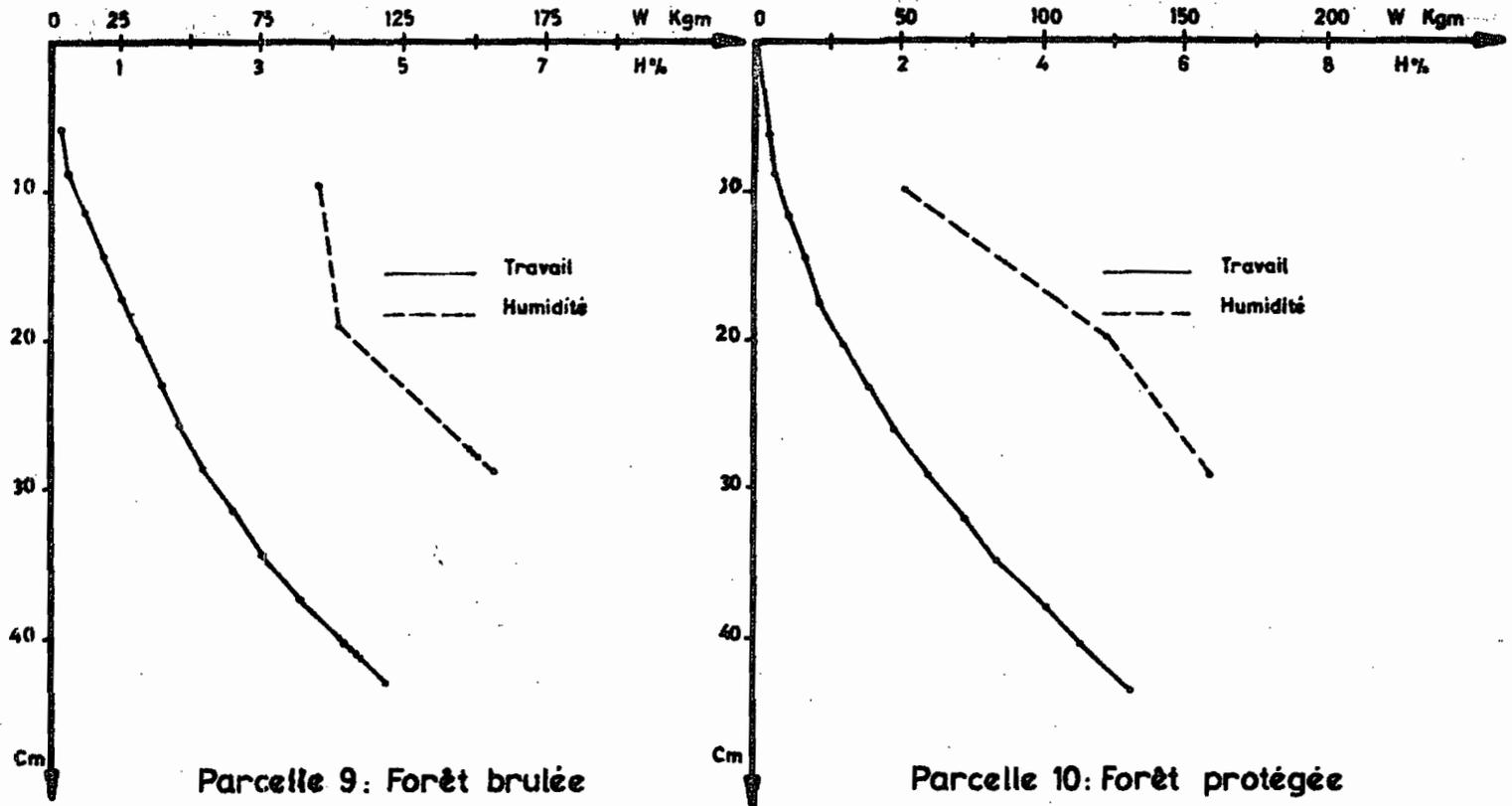
On passera en revue les résultats obtenus par ces différentes méthodes.

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 morphologiques dans les couches superficielles du sol (0-30 cm) entre ces deux situations.

# Graphique III-5

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

D'après Charreau et Picon. (1966)



Parcelle 5: Mil grain

Parcelle 8: Arachide

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 10cm: 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 à 70 kg dans l'horizon 0-20 cm et de 60 à 120kg dans l'horizon 20-40. 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.

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 et 40 cm de profondeur et les coefficients de cohésion correspondants sont les suivants : (tableau III-6) :

Tableau n° III-6

Comparaison des forces de pénétration et des coefficients de cohésion à Séfa, en saison sèche, sous différentes formations végétales

V é g é t a t i o n		Forêt protégée	Forêt brûlée	Arachide	Mil
Horizon	C o h é s i o n				
0-20	Force, kg	150	161	430	442
	coefft. de cohésion %	34	36	97	100
0-40	force, kg	442	514	1010	1035
	Coefft. 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 n° III-7

Comparaison des forces et coefficients de cohésion en saison sèche à Séfa sous jachère et sous cultures d'arachide

Horizons	Force et coefficient de cohésion	1 9 6 6		1 9 6 7	
		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 20 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 n° III-8) :

Tableau n° III-8

Comparaison des forces et coefficients de cohésion en saison sèche, à Bambey, sous différentes formations végétales

Horizons	Force et coefficient de cohésion	Jachère longue	Arachide	Mil
0-20cm	Force, kg	312	275	310
	Coef. de cohésion %	101	89	100
0-40cm	Force, kg	330	215	242
	Coef. 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 10 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 0-20. 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 n° III-9) :

Tableau n° III-9

Comparaison des valeurs de densité apparente sous forêt et sous culture à 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 0-20 cm sous forêt à 37% sous culture. Ces mesures confirment les observations faites sur les profils cultureux.

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 x 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 effectués, 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 : 5-15 cm (tableau n° III-10)

Tableau n° III-10

Influence du couvert végétal (date de semis) sur l'évolution de la densité apparente en début de saison des pluies à Nioro-du-Rip

Date de prélèvement	Pluvio- métrie mm	Témoin 2ème date de se- mis	Labour de fin de cycle		Labour en sec		Labour en humide	
			1 <sup>re</sup> date de se- mis	2 <sup>e</sup> da- te de semis	1 <sup>re</sup> da- te de semis	2 <sup>e</sup> da- te de semis	1 <sup>re</sup> da- te de semis	2 <sup>e</sup> da- te de semis
22/6	48	1,50	1,42		1,47		1,30	
31/7	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 CHAUVÉL (21), utilisant la méthode de HENIN (43) et permettant de comparer les comportements des terres sous forêt et sous culture. Nous rappellerons ici les résultats obtenus pour l'horizon superficiel (0-10 cm).

Tableau n° III-11

Comparaison de la stabilité structurale sous forêt et sous culture à Séfa

Nature des sols	Couverture végétale	T A U X			A + L maximum %	I S	K cm/h
		d'agrégats	vrais %				
		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 alt. (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 4 ans de mise en culture. La méthode utilisée par cet auteur était inspiré de celle de HENIN (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 (ch.I,22). Les résultats furent les suivants (tableau n° III-12):

tableau n° III-12

Comparaison de la stabilité structurale sous jachère  
et sous culture à Banbey

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 pas 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.

322 6.- 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 alt. (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 n° III-13

Influence de la nature du couvert végétal  
sur le développement de l'érosion à Séfa (1954-68)

Nature du couvert végétal	Nombre répéti- tions	Pluie moyenne mm	Erosion t/ha			Rendt moyen kg/ha
			Moy.	Mini	Maxi	
Forêt protégée	11	1293	0,10	0,02	0,22	-
Forêt brûlée	13	1289	0,27	0,02	0,82	-
Jachère herbacée	7	1203	4,88	1,46	10,14	-
Arachide	32	1329	7,70	2,28	20,81	2066
Cotonnier	3	1151	7,75	0,47	18,52	500
Sorgho engrais vert	13	1246	7,90	1,19	22,71	-
Riz pluvial	17	946	5,52	0,24	18,39	(973)
Sorgho grain	2	1113	8,35	3,29	12,40	1130
Maïs	17	1405	7,63	1,83	26,68	3113
Mil grain	4	1328	7,77	4,99	12,57	2000
Cultures dévastées ou sol nu	11	1154	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 :

<u>Couverture végétale</u>	<u>Erosion t/ha</u>
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 manifestera 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 tonnes de terre à l'hectare, soit plus de 100 fois la quantité de terre emportée sous forêt brûlée.

322 7.- 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.

#### 4. 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 seules 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.

#### 41. Influences exercées par la végétation sur l'ensemble des propriétés 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 HENIN (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.

#### 411.- Facteurs influant sur les propriétés chimiques des sols et le bilan minéral.-

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 leur bois. C'est ainsi qu'à Bambey 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 le 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 LAUDELOUP (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 HENIN (42) que les plantes des 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 toutes manières, 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.

#### 412. 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 DOMERGUES (29) le poids de litière annuelle dans les forêts claires de Csanance 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 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 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, a 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.

#### 415. 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.

#### 42. Les successions culturales

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

#### 421. Les successions culturelles 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 Sérère et qui a été décrit par PORTERES (80) et PELISSIER (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 continuellement 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 trop forte, cette règle est généralement respectée au Sénégal, comme d'ailleurs dans la majorité des zones tropicales sèches.

#### 422. Les successions culturales proposées 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.

## 422 1.- 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'intervalation 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, de 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.

## 422 11 - 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 toutes façons, 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.

422 12 - 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.

#### 422 121 - 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 Saloun sur des sols dérivés des grés 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 3ème année qu'en 2ème année. Ceci est à rapprocher des observations faites à Banbey 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 n° III-14)

Tableau n° III-14

Evolution du poids de pailles en fonction de la durée de la jachère à Louga et Darou (en kg/ha)

Durées de jachère	Jachère de 2 ans	Jachère de 3 ans	Jachère de 6 ans
Stations			
Louga	445	2190	2650
Darou	3466	3020	4720

Sur le plan de la nutrition de l'arachide, GILLIER note que les relations entre longueur de jachère et teneurs en <sup>éléments</sup> 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 1960-68 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 nil à Louga, d'un niveau très faible, ne figurent pas dans le tableau.

Tableau n° III-15

Influence de la durée de la jachère sur les rendements de l'arachide et du sorgho (kg/ha) à Louga et Darou

Cultures	Localisation et Sol	Période de comparaison	Durée de la jach.		
			2 ans	3 ans	6 ans
1 <sup>è</sup> arachide (gousses)	Louga	1960-68	837	960	965
	Darou - sol rouge	1962-68	1902	1985	1935
	Darou - sol hyd.	1962-68	2090	2160	2255
Sorgho (grains)	Darou - sol rouge	1962-68	640	752	710
	Darou - sol hyd.	1962-68	1020	1035	1215
2 <sup>è</sup> arachide (gousses)	Louga	1962-68	637	636	850
	Darou - sol rouge	1962-68	1560	1428	1602
	Darou - sol hyd.	1962-68	1890	1860	1995

Les chiffres du tableau représentent une moyenne de 7 à 9 années de résultats. Pour Louga, ils concernent l'ensemble des 4 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 6 ans se montre supérieure aux jachères de 2 et 3 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 nil 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)

Tableau n° III-16

Influence de la durée et du traitement de la jachère sur les rendements en gousses de l'arachide à Patar (kg/ha)

Durée de la jachère \ Traitement	Jachère de 1 an	Jachère de 2 ans	Jachère de 3 ans
Avec brûlis	1740	1970	2195
Sans brûlis	1650	1910	2070

L'influence de la durée de 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 jachère est encore sensible. Les rendements moyens sur 5 ans sont en effet les suivants (tableau III-17)

Tableau n° III-17

Influence de la durée de jachère sur les rendements en gousses de l'arachide à Patar, avec brûlis et forte dose de potasse (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	2005	2165	2420

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 1 à 6 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 toutes façons, même dans le cas d'une réponse appréciable comme à Patar, la plus valeur de rendement obtenue, de l'ordre de 300 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.

#### 422 122 - 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 1963-67 pour l'arachide, 1962-67 pour le sorgho. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° III-10

Influence du nombre de cultures successives sur les rendements de l'arachide et du sorgho à 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
A2	1992	2522	S1	624	879
A4	1785	2501	S3	541	899
A6	1735	2367	S5	429	770
A8	1715	2324	S7	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 10 à 15 ans.

Il s'agit de deux groupes d'essais, l'un établi sur sol ferralitique 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  $N \times P \times K \times C \times I \times G$  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<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 25 de K<sub>2</sub>O, 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 notablement 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 12 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'INHO (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 n° III-19) :

Tableau n° III-19

Evolution comparée des rendements en gousses d'arachide (kg/ha) à Darou dans une rotation continue et dans une rotation avec jachère

Rotations Nombre d'années après mise en culture	Sans engrais		Avec engrais	
	Rotation continue	Rotation avec jach.	Rotation continue	Rotation avec jach.
1-2	2150	2150	2600	2600
4-5	1500	1900	2050	2550
7-8	1300	1650	1950	2400
10-11	1200	1550	1950	2250

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 10 à 11 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 n° III-20

Evolution comparée des rendements en céréales (kg/ha) à Darou dans une rotation continue et dans une rotation avec jachère

Rotations Nbre d'années ap. mise en culture	Sans engrais		Avec engrais	
	Rotation continue	Rotation avec jach.	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 10-11 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 (129-192) : on observe seulement des réponses significatives aux engrais phospho-potassiques. On peut penser que d'autres facteurs limitant 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. Cét 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 1800 kg/ha au départ à 1600 kg/ha au bout de 10 ans; avec engrais les ordres de grandeur sont respectivement de 2500 à 2400 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 et 300 kg/ha. Là encore ces résultats pour les traitements avec engrais paraissent sans significations 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 1955 à 1966 soit pendant 16 ans,
- l'essai "Longueur optimum de jachère 1bis" 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 1800 kg/ha sans engrais et 2000 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 1000 kg/ha sans engrais et 1500 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 à 1000 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).

#### 422 123 - 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 n° III-21

Influence des traitements de la jachère sur les poids de paille (kg/ha) à Louga et Darou

Type de Jachère	Louga	Darou
A	3445	4430
B	340	3040

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 pailles 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 n° III-22) (37) :

Tableau n° 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	2055	100	968	100	723	100
B	1945	94,5	886	91,5	619	85,5
C	1953	95	911	94	605	83,5
D	1997	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 1960-68 à Louga et 1962-68 à Darou. L'influence du traitement de la jachère sur les rendements est la suivante (tableau n° III-23) :

Tableau n° III-23

Influence du traitement de la jachère sur les rendements  
en gousses de l'arachide et en grain du sorgho  
(kg/ha)

Cultures	Localisation	Période	Traitement sans engrais				Traitements avec engrais			
			A	B	C	D	A	B	C	D
Première Arachide	Louga	1960-68	845	805	810	815	1035	1025	1010	1020
		Darou 1962-68	1475	1480	-	1520	2355	2350	-	2405
Sorgho	Darou	1962-68	515	430	-	470	925	870	-	865
Deuxième Arachide	Louga	1960-68	630	595	615	615	850	795	745	815
		Darou 1962-68	1245	1245	-	1235	1800	1855	-	1845

Dans ce tableau ne figurent pas, pour Darou, les rendements correspondants 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.

422 13. 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. Quoiqu'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 toutes manières, 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.

## 422 2 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 n° III-24) :

Tableau n° III-24  
Influence du précédent cultural sur les rendements agricoles  
-(kg/ha) au Niger

Pré- cédent cultural	Culture	Mil	Niébé (1) (Vigueur végétative)	Sorgho
	Arachide			
Jachère	1224	626	Moyenne	375
Arachide	909	1051	Faible	344
Mil	1326	754	Moyenne	313
Niébé	1272	872	Médiocre	173
Sorgho	1167	627	Médiocre	84
P p d s 0,05	NS	NS	-	174

(1) Les plantes 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 (76) effectuées dans un terroir représentatif du Sine Saloum font état d'une proportion de 1 ha de céréales pour 3 ha 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 (3800 m<sup>2</sup>); à partir de 1961 ils ont été calculés sur les parcelles de l'essai "2<sup>5</sup> SxPxKx 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 (3800 m<sup>2</sup>) ont été calculés, à partir de 1965 sur les parcelles de l'essai "2<sup>4</sup> NxPxKx 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 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 1000 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 Banbey, 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 n° III-25

Evolution comparée des rendements de l'arachide en culture continue  
et en rotation à Bambey (gousses, kg/ha)

En- grais	Cultures	Années													
		1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
SANS	Continue	731	783	757	1048	824	1089	950	756	966	738	216	705	706	705
	Rotation	771	931	1037	1335	1022	-	1482	906	1019	1074	585	1048	1060	802
AVEC	Continue	-	-	-	-	-	1318	1528	972	1055	914	307	836	1190	1647
	Rotation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	526	1245	1646	1639

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.

#### 43. 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.

#### 431. L'association arbres/cultures

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 leur 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'onbrage 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 hétérogène, 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 Thiéba 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 nil 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 l'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 Sérère, 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 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 à 20 m. (observation faite à Bambey). 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 souche 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 m<sup>2</sup> (moyenne de 6 répétitions) et a procédé à l'analyse de ces débris organiques.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° III-25 bis  
Quantité d'éléments faisant annuellement retour au sol  
sous Acacia albida

		Matière sèche	N	P2O5	K2O	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, 3 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 4600 m<sup>2</sup>; 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 2300 m<sup>2</sup>; 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 plantes 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, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); 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 6).

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 n° III-26.

Tableau n° III-26  
Influence de l'*Acacia albida* sur les rendements en mil et arachide au Sénégal

Culture	LOCALISATION - ANNÉE	ELEMENTS FERTILISANTS				GRAINS OU GOUSSES				PAILLES				
		kg/ha				kg/ha				kg/ha				
		SOURCE	P205	K20	S	N	Témoin	Sous Acacia	Diff. signif.	Témoin	Sous Acacia	Diff. signif.		
					kg/ha	kg/ha	Indice à P		kg/ha	kg/ha	Indice à P			
M I L	BAMBEY, 1959	0	0	0	0	660	1668	252	0.01	-	-	-	-	
	CHARREAU et VIDAL (20)													
	SILANE, 1967	0	0	0	0	457	934	204	0.001	5 480	10 940	200	0.001	
	DANCETTE - POULAIN (25)	80	60	15	60	1340	1388	103	N.S	15 870	18 140	114	0.1	
		80	60	15	120	1541	-	-	-	19 740	-	-	-	
ARACHIDE	SILANE, 1966	0	0	0	0	810	1108	137	0.01	860	1 266	147	0.001	
	DANCETTE et POULAIN (25)	80	60	30	0	954	1136	119	0.1	1 091	1 386	127	0.01	
			80	60	30	10	1062	-	-	-	1 134	-	-	-
	PATAR N° 1, 1966	0	0	0	0	1373	1300	95	-	1 155	1 221	106	-	
IRHO (51)	16	48	7	0	1490	1417	95	-	1 221	2 276	186	-		
ARACHIDE	PATAR N° 2, 1966	0	0	0	0	1131	1537	135	-	874	1 080	124	-	
	IRHO (51)	32	96	14	0	1355	1649	122	-	807	964	119	-	
	MARNANE N° 1, 1966	0	0	0	0	1067	1532	144	-	924	1 283	139	-	
	IRHO (51)	24	12	10	0	1181	1548	131	-	1065	1 402	132	-	
ARACHIDE	MARNANE N° 2, 1966	0	0	0	0	1592	1541	97	-	1205	1 061	88	-	
	IRHO (51)	48	24	19	0	1354	1482	109	-	1232	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 12 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 RIVIERE (9) ont estimé à 0,77 unités fourragères par kg 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 kg 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 m<sup>2</sup>) et au Soudan par WICKENS à 135 kg (97). Avec un peuplement de 20 arbres à l'hectare, ce qui est courant en Pays Sérer, on arrive ainsi à une production de 20 x 125 x 0,77 = 1930 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 ce tableau ci-dessous établi d'après les données du Service de l'Élevage (28).

Tableau n° III-27

Valeur fourragère des gousses de l'Acacia albida comparée à d'autres ressources fourragères usuelles

Produits fourragers	Par kg de produit brut		Production à l'hectare		
	Unités fourrag.	M.A.D. g	Produit brut kg	Unités fourrag.	M.A.D. kg
Gousses d' <u>Acacia albida</u>	0,77	70	2500	1930	175
Foin de prairie	0,35	30	3000	1050	90
Pailles défriche herbacée	0,20	10	4000	800	40
Pailles de riz	0,40	0	3000	1200	0
Fanes sèches d'arachide	0,40	60	3000	1200	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 boeuf de travail à 1500 UF, on constate que le pâturage arborescent à Acacia albida peut nourrir 1,3 boeuf 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 RIVIERE (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 Sérés ont pu, sur des superficies restreintes, entretenir des troupeaux importants.

PELISSIER (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 km<sup>2</sup>), 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'ha). 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.

#### 432. 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 nil 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 nil tardif (sanio) et de sorgho s'observe dans la plupart des champs d'arachide. D'après les enquêtes menées par l'IRMO 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 consacrée 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 présentaient, 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 1 ha de culture associée. Ceci est valable quels que soient la rotation et le nombre de plantes entrant en combinaison. Soient  $R_1, R_2, R_3 \dots$  les rendements à l'hectare des diverses plantes en culture pure et  $R'_1, R'_2, R'_3 \dots$  les productions de ces diverses plantes sur 1 ha de cultures associées.

Pour la première plante il faudra :  $R^1/R_1 = s_1$  hectares 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 1 ha 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-niobé.

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 III-28.

Tableau n° 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	DAROU	TAVAOUANE	TARNA
			Sénégal	Sénégal	Sénégal	Niger
ECARTEMENTS en	ARACHIDE	Culture pure	60 x 20	60 x 25	60 x 25	50 x 30
		Culture associée	60 x 20 1 ligne sautée sur 5	60 x 15 1 ligne sautée sur 6	60 x 15 1 ligne sautée sur 6	50 x 30 2 lignes sautées sur 4
	M I L	Culture pure	100 x 100	100 x 80	100 x 80	100 x 100
		Culture associée	100 x 300	360 x 60	360 x 60	200 x 100
NOMBRE DE PIEDS A L'HECTARE	ARACHIDE	Culture pure	83 500	111 000	111 000	66 666
		Culture associée	66 850	92 500	92 500	33 333
	M I L	Culture pure	10 000	12 500	12 500	10 000
		Culture associée	3 333	4 640	4 640	5 000

..//..

Conditions de réalisation et résultats	Localisation		BAMBEY	DAROU	TIVACUANE	TARNA
			Sénégal	Sénégal	Sénégal	Niger
FUMURE MINÉRALE UNITES FERTILISANTES A L'HECTARE	ARACHIDE	N	10	7	10	6
		P205	30	24	0	40
		K20	60	12	3	12
	PURE	N	60	7	10	20
		M I L P205	80	24	0	20
		K20	60	12	3	0
CULTURE ASSOCIEE	N	60 (1)	7	10	13	
	P205	80	24	0	30	
	K20	60	12	3	6	
PERIODE D'ETUDE			1964-1965	1960-1964	1960-1963	1963-1965

(1) 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 III-29

Tableau n° III-29

Comparaison des rendements du mil et de l'arachide en culture pure et en culture associée

Rendements	Localisation		Bambey		Tivaouane	Darou	Tarna			
			SENEGAL		SENEGAL		NIGER			
PERIODE D'ETUDE			1964	1965	1960-63	1960-64	1963	1964	1965	1963-65
RENDEMENTS kg/ha et RAPPORT DES RENDEMENTS	ARACHIDE (Gousses)	Culture pure	895	901	1687	2320	1769	764	1282	1272
		Culture associée	727	349	1060	1428	968	316	893	727
		Rapport R <sup>1</sup> /R <sub>1</sub>	0.81	0.39	0.63	0.62	0.55	0.41	0.60 <sup>++</sup> (1)	0.57 <sup>++</sup> (1)
RENDEMENTS DES RENDEMENTS	M I L (Grains)	Culture pure	1146	350	265	505	724	915	972	876
		Culture associée	511	319	203	357	311	553	469	445
		Rapport R <sup>2</sup> /R <sub>2</sub>	0.45	0.38	0.77	0.71	0.43	0.60	0.48	0.51
R <sup>1</sup> /R <sub>1</sub> + R <sup>2</sup> /R <sub>2</sub> = S hectares			1.26	0.77	1.40	1.33	0.98	1.01	1.17	1.08

(1) Les rapports R<sup>1</sup>/R<sub>1</sub> différents de façon hautement significative de 0,50 ou, ce qui revient au même, les productions d'arachide sur 1 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'ha.

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 en culture associée. Le sorgho semé à 0,60x1m en culture pure (16.700 pieds/ha) l'était à 0,60 x 2,4 m (soit 7000 pieds/ha) en culture associée. La formule d'engrais appliquée était la 6-20-10 à 120 kg/ha.

Sur une période de 5 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 (1m x 1m, 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 P205). En considérant le sorgho comme la première culture et le mil comme la seconde, les résultats peuvent être résumés ainsi:

$$1964 : \frac{R^1}{R_1} = \frac{426}{1041} = 0,42; \quad \frac{R^2}{R_2} = \frac{432}{625} = 0,69^+; \quad S = 1,11$$

$$1965 : \frac{R^1}{R_1} = \frac{268}{659} = 0,41; \quad \frac{R^2}{R_2} = \frac{563}{730} = 0,77^{++}; \quad S = 1,18$$

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 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 :

$$1963 : \frac{R'1}{R1} + \frac{R'2}{R2} = \frac{373}{719} + \frac{313}{658} = 0,50 + 0,48 = 1,00$$

$$1964 : \frac{R'1}{R1} + \frac{R'2}{R2} = \left(-\frac{190}{357}\right) + \frac{722}{1098} = (0,53) + 0,66 = 1,19$$

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 à 5m 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.

## 5. 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.

B I B L I O G R A P H I E

- 1.- AUBERT G., DUBOIS J., MAIGNIEN R.- 1946  
Les sols à arachide du Sénégal  
ORSTOM, rapport minéo.
- 2.- BALDY C.- 1964  
Cultures associées et productivité de l'eau  
INRA, "L'eau et la production végétale", 303-348
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 Fert. des Sols Trop. Tananarive, 118, 1472-1489
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 consé-  
quences sur les rendements  
Coll. sur la Cons. et l'Amé. de la Fert. des Sols, Khartoum  
(8-12 Nov. 65), OAU/STRC. Comm. n° 37; 173-181.
7. BLONDEL D.- 1966  
Compte rendu de l'essai "Dynamique de l'azote"  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapp. annuel mimeo.
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. Com. à la Conf. IRAT de Bouaké; doc. mult. 5 p.
9. BOUDET G., RIVIERE 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), 415-439.
12. CHARREAU C.- 1953  
Note sur quelques études faites sur les sols de la CGOF en Août 1953  
Inspec. Gén. de l'Agric. en AOF, Dakar; doc. dactyl. 10 p.
13. CHARREAU C.- 1969  
Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance  
l'Agr. Trop., XXIV, 9, 836-842.
14. CHARREAU C., 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. CHARREAU C., GUILLOT C.- 1967  
Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1967  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. miméo, 63 p.
16. CHARREAU C., PICON B.- 1966  
Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1966  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd., rapport miméo 90 p.
17. CHARREAU C., PIERI C.- 1965  
Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1965  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. miméo, 88 p.
18. CHARREAU C., SEGUY L.- 1968  
Mesure du ruissellement et de l'érosion à Séfa en 1968  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. miméo, 60 p.
19. CHARREAU C., TOBIAS C.- 1964  
Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1964  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. miméo, 44 p.
20. CHARREAU C., VIDAL P.- 1965  
Influence de l'Acacia albida Del. sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils Pennisetum au Sénégal.  
L'Agr. Trop., XX, 6-7, 600-625.
21. CHAUVEL A.- 1966  
Etudes physiques des Sols de Séfa  
ORSTOM, Centre de Dakar; rapp. mult. 36 p.
22. CHAUVEL A., 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. minéo, 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'ELEVAGE 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.- 1965  
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, minéo.
31. FAUCK R., MOUREAUX C., THOMANN C.- 1969  
Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue  
L'Agr. Trop., XXIV, 3, 263-301.
32. FAUCK R., SEGUY 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 C.R.A. Bambey, 1953, 141-168.

34. GAUDEPROY-DEMONBYNES P.- 1955  
Observations sur la couverture du sol  
Annales du CEA Bambey 1955, 25-33.
35. GAUTREAU J.- 1963  
Compte-rendu des essais "Systèmes radiculaires"  
IRHO-Sénégal, Section de Bambey, rapp. annuel, dactyl., 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, 61-68.
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, 637-643 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, 70-77
39. GRABLE A.R.- 1966  
Soil aeration and plant growth  
Adv. in Agron., 18, 57-106.
40. GREELAND 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, 284-299.
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. HENIN S.- 1960  
Quelques considérations sur les rotations  
Oléagineux XV, 1, 9-12
43. HENIN S., 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. 7 th Int. Cong. Soil Sc. 1, 369-373.

45. HUDSON N.W., JACKSON D.C.- 1959  
Results achieved in the measurement of erosion and run-off in Southern Rhodesia  
CCTA, 3è Conf. Intéraf. des Sols Dalaba, 575-583.
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, 30-39
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. JENNY H.- 1950  
Causes of the high nitrogen and matter organic content of certain tropical forest soils  
Soil Science, 69, 63-69.
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. JUNG G.- 1967  
Influence de l'Acacia albida Del. sur la biologie des sols Dior.  
ORSTOM, Centre de Dakar, rapp. minCo., 63 p.
58. LAGIERE R.- 1966  
Le cotonnier  
Col. tech. Agr. et Prod. trop., G.P. Maisonneuve et Larose, Paris.
59. LAUDELOUF 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), 539-554
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), 163-167.
63. MERLIER E.- 1966-1967  
Compte rendu d'étude de systèmes racinaires  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agrobot. rapp. annuels mult.
64. MERLIER H.- 1967  
Evolution d'une jachère naturelle bisannuelle intervenant dans une  
rotation quinquennale type. Sa comparaison avec une jachère conti-  
nue naturelle.  
Coll. sur la Fert. des Sols. trop. Tananarive, 147, 1803-1812
65. MONNIER G., KONAN L.- 1968  
Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité  
structurale  
Ann. Agron., 19 (5), 541-551
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, 105-136
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.- 1963-65  
Comptes rendus des essais sur les associations culturales  
IRAT-Niger, rapp. annuels mimeo.
69. NABOS J.- 1964  
Compte rendu des essais "Précédents culturaux" à Tarna  
IRAT-Niger, rapp. annuel, mimeo.
70. NICOU R.- 1964-65  
Comptes rendus des essais "Brise-vent" à Bambey  
IRAT-Sénégal, Div. des Tech. Cult. rapp. annuels, mimeo.
71. NICOU R., THIROUIN H.- 1968  
Mesures sur la porosité et l'enneigement. 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. ORGIAS A.- 1951  
Recherches préliminaires sur le système racinaire de l'arachide  
Olagineux, VI, 10, 571-575
74. PELBRENTS C.- 1958  
Etude du système racinaire du riz de terre ferme en conditions  
naturelles  
Bull. Agric. du Congo Belge, XLIX, 5, 1269-1289
75. PELISSIER 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 KIRKMAN.- 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, 1302-1315
78. POCHIER G.- 1969  
Point des activités sur les unités expérimentales de Thyssé-Kayemor/  
Sonkorong et Kounbidia au 30.9.1969  
IRAT-Sénégal, SARV, doc. mult. , 20 p.

79. PORCHET M., LAFERERE H.- 1935  
Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des sols en place.  
Dir. Eaux et Génie rural. Minist. Agric. , Annales fasc. 64
80. PORTERES.- 1952  
Aménagement de l'économie agricole et rurale du Sénégal  
Gouvern. Gén. de l'AOF, rapp minço, 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. POULAIN J.F.- 1961-69  
Comptes rendus des essais "2<sup>5</sup> SxPxKxLabours" à Bambey  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. annuels minço.
83. POULAIN J.F.- 1962-1968  
Comptes rendus des essais "Epuisement et rotation" à Bambey  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. annuels minço.
84. POULAIN J.F.- 1962-1969.  
Comptes rendus des essais "2<sup>4</sup> NxPxKxMode de furure" à Bambey  
IRAT-Sénégal, Div. d'Agropéd. rapp. annuels minço.
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, 569-579
- 85bis ROBERTY G.- 1963  
Carte de la végétation de l'Afrique tropicale occidentale à l'échelle 1/1000000ème - Feuille N° 28 - Dakar  
ORSTOM, Service cartographique.
86. ROOSE E.- 1967  
Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal  
L'Agr. Trop., XXII, 2, 125-152.
87. SCHILLING R.- 1965  
L'arachide en culture associée avec les céréales  
Océagineux, XX, 11, 673-676
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, 313-319.

89. SCHUURMAN J.J., GOEDEWAGEN M.A.J.- 1956  
Growth and root development of spring wheat on various loam profiles underlain by sand in relation to the fertilization of the subsoil  
IV<sup>ème</sup> Cong. Int. Sc. Sol. Rap. D., 325-334.
90. SEGUY 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, 153-156.
92. TAYLOR H.M., 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, 113-119.
93. TOBIAS C.- 1968  
Mesure au laboratoire de la perméabilité d'échantillons de sols non remaniés.  
Cahiers ORSTOM, série Pédol., VI, 2, 251-257
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, 487-495.
97. WICKENS G.E.- 1969  
A study of *Acacia albida* Del. (Mimosoïdæ)  
Kew Bulletin, XXIII, 2, 181-202./.

## R E S U M E

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 ce 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 pénétrométrie, 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 des 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 de 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 de 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).