

DIX ANNÉES DE MESURE DE L'ÉROSION ET DU RUISSELLEMENT AU SÉNÉGAL

par
E. ROOSE
Pédologue

AVANT-PROPOS

En 1949, la Compagnie Générale des Oléagineux (CGOT), société d'économie mixte, commença à s'implanter sur les vastes étendues du plateau de Séfa, près de Sedhiou, en Casamance, et à défricher 10.000 ha de forêt pour y cultiver l'arachide. Les premières tentatives de culture se heurtèrent à de nombreuses difficultés. Moins de un ou deux ans après la mise en culture, et malgré une topographie très plane (pentes de 1 à 3 % en moyenne), l'érosion hydrique se manifesta avec une ampleur inattendue. R. FAUCK, Pédologue de l'ORSTOM détaché à la CGOT, en décrivit les manifestations, en rechercha les causes et attira l'attention sur la gravité du problème. Il préconisa les premières méthodes de lutte.

Cependant, des moyens d'investigation plus précis que les simples observations en plein champ ou les mesures sur piquets-témoins apparurent rapidement nécessaires pour mieux cerner les causes de l'érosion, mesurer comparativement ses effets et tester les différents moyens de lutte. C'est pourquoi, en 1954, furent implantées à Séfa, avec l'aide matérielle du Bureau des Sols de l'AOF, deux parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion. Le dispositif fut complété l'année suivante par six autres parcelles sous cultures et, en 1956, par deux parcelles sous forêt. L'expérimentation fut conduite de 1954 à 1958, par R. FAUCK puis par J.-P. COINTEPAS et ECRÉMENT. A partir de 1959, en raison des vicissitudes diverses que traversa la Station Agronomique de Séfa, plusieurs chercheurs se relayèrent dans la conduite de cette expérimentation : d'abord COHEN, puis P. BONFILS (1961), MEYER (1962), enfin CHARREAU et DUPONT (1963).

La Station Agronomique de Séfa, qui dépendait à l'origine de la CGOT, passa en 1954 sous le contrôle de l'ORSTOM puis, en 1961, sous celui de l'IRAT. En raison des nombreux changements survenus au cours de cette décennie parmi les responsables de l'expérimentation, celle-ci ne fut pas suivie avec toute la continuité désirable et les résultats ne purent être exploités suffisamment à fond.

L'année 1963 marque un tournant dans cette étude : d'abord parce que la continuité dans la surveillance est mieux assurée depuis cette date, ensuite parce que l'orientation de l'étude et le dispositif expérimental ont subi depuis quelques modifications ; l'accent est mis essentiellement, maintenant, sur l'étude des techniques culturales, tandis que, dans la phase précédente, les recherches ont porté sur l'ensemble des facteurs influençant l'érosion : pluie et ruissellement, pente, nature de la plante cultivée, techniques culturales.

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

Collection de Référence

n° 11625

Pour toutes ces raisons, une synthèse des résultats acquis au cours de cette première phase 1954-1963, si imparfaits et incomplets qu'ils fussent, apparaissait indispensable. Parmi les chercheurs de l'ORSTOM et de l'IRAT ayant participé à cette expérimentation, seuls MM. FAUCK et CHARREAU se trouvaient encore présents au Sénégal et susceptibles de réaliser cet important travail de compilation critique. Mais ni l'un ni l'autre ne disposaient du temps nécessaire pour mener à bien cette vaste tâche. C'est pourquoi il fut demandé à M. E. ROOSE, à l'occasion d'un stage qu'il fit à Séfa, s'il voulait bien s'en charger. M. E. ROOSE étant, à l'ORSTOM, spécialiste des problèmes d'érosion et de conservation des sols, apparaissait, en effet, particulièrement qualifié pour cette tâche. M. E. ROOSE accepta d'emblée et, après l'accord de ses Directeurs Scientifiques, MM. AUBERT et FOURNIER, s'attaqua à ce travail ingrat, mais croyons-nous, riche d'enseignements. C'est le résultat de cette compilation qui est présenté ici sous forme de synthèse assortie d'observations critiques.

INTRODUCTION

C'est en 1949 que la Compagnie Générale des Oléagineux Tropicaux (CGOT), société d'économie mixte, commença à défricher la forêt casamançaise et à planter l'arachide sur les vastes étendues du plateau de Séfa, près de Sedhiou (Sénégal).

Au moyen d'un matériel très lourd, il fut taillé dans la forêt claire des parcelles N-S longues de 1 km, larges de 250 m et séparées par des brise-vent forestiers de 50 m. Ni le parcellaire ni le réseau routier ne tinrent compte des courbes de niveau.

Au bout de cinq ans, l'état des sols était si alarmant qu'il fut décidé une série de mesures anti-érosives :

- abandon des parcelles de pente inférieure à 2 % ;
- aménagement en courbe de niveau dès que la pente atteint 0,5 % ;
- création de parcelles de mesure de l'érosion.

Deux premières « cases d'érosion » furent consacrées dès 1954 à une comparaison des méthodes de cultures traditionnelles et mécanisées.

L'année suivante, six cases furent mises en batterie sur lesquelles ont été comparées différentes rotations ainsi que la culture en bandes alternées (strip cropping).

Enfin, en 1956, on installa les deux dernières sous forêt pour étudier l'influence des feux.

Actuellement, l'Etat a racheté les terres et le matériel de la CGOT et a fondé la Société de Développement Agricole et Industriel de la Casamance (SODAICA).

L'IRAT y a obtenu une concession où sont mises au point les méthodes culturales adaptées à la région.

C'est une synthèse des résultats obtenus sur ces dix parcelles, de 1954 à 1963, que nous voulons présenter.

Volontairement, nous nous limitons strictement au point de vue de la conservation du sol laissant aux agronomes ayant une longue connaissance de ces régions le soin d'intégrer cet aspect des choses dans l'ensemble des problèmes agricoles.

A) Généralités.

1) SITUATION GEOGRAPHIQUE

Dominant le fleuve Casamance, le plateau de Séfa est situé vers le 13° 10' de latitude nord et le 15° 30' de longitude ouest.

2) CLIMAT

Il est du type soudano-guinéen, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche très prononcée (sept à huit mois) et d'une saison des pluies (pluviométrie annuelle moyenne : 1.300 mm) qui débute en juin (20) (fig. 1).

Après les tornades violentes (l'intensité instantanée peut atteindre 2 mm/minute) qui inaugurent la saison, succède généralement une période d'une quinzaine de jours plus secs ; celle-ci n'apparaît pas sur les moyennes calculées sur plusieurs années, car elle peut se manifester dès le début de juillet et jusqu'à la fin août. Suivant sa position relative vis-à-vis des premières pluies, elle ralentira le développement de la végétation ou même anéantira les jeunes semis. Les hauteurs de pluie les plus élevées sont atteintes entre le 15 août et le 30 septembre* lorsque, normalement, la couverture végétale est bien développée.

* La hauteur maximale de pluie enregistrée entre 1954 et 1963 : 170 mm/24 heures.

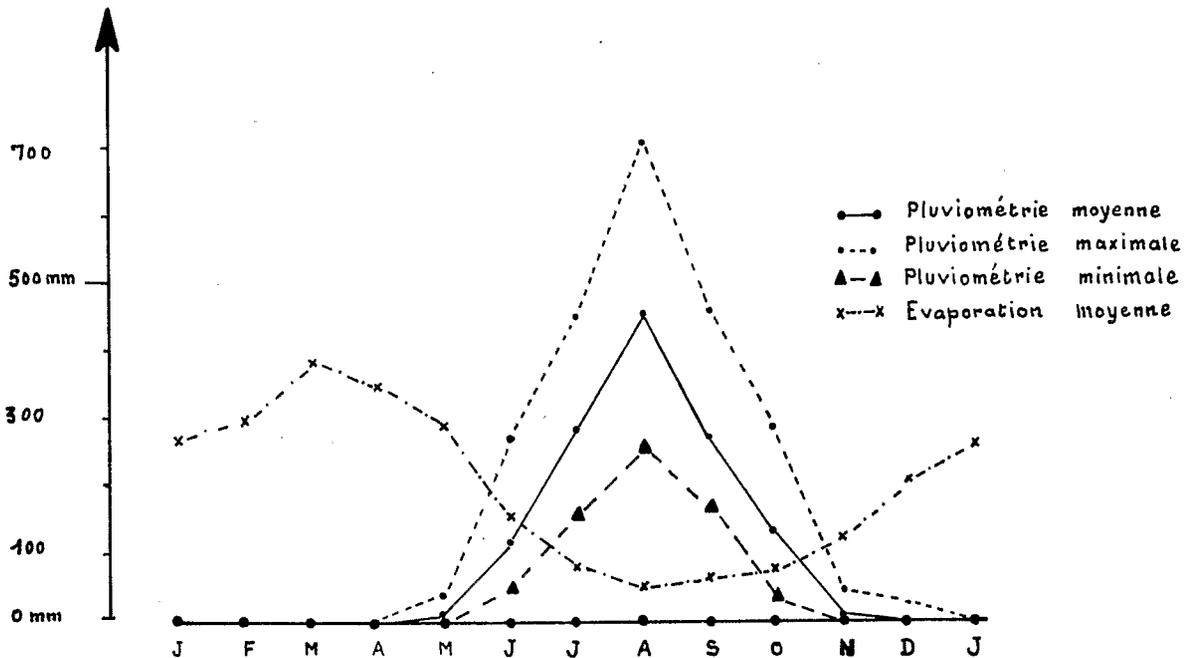


Fig. 1. — Pluviométrie et évaporation à Séfa (moyenne de 1950 à 1960).

La saison des pluies s'étire ensuite sans grande conviction jusqu'à fin octobre ou même plus tard.

La température mensuelle moyenne oscille de 24°C en décembre à 30°C en mai (T° m annuelle = 27°C).

$$\text{Indice d'aridité de DE MARTONNE : } \frac{T + 10^*}{P} = 3,4.$$

$$\text{Indice d'érosion de FOURNIER : } \frac{p^{**}}{P^2} = 27.$$

$$\text{Indice de drainage calculé de HENIN : } D = \frac{\gamma' P^3 ***}{1 + \gamma' P^2} = 1299.$$

3) SOL

La Station de Séfa est située dans une zone de transition : les sols rouges de plateau sont faiblement ferrallitiques, tandis que les pentes présentent des sols beiges ferrugineux lessivés à taches ou concrétions (MAIGNIEN, 1961 ; FAUCK, 1955).

C'est sur ces derniers qu'ont été aménagées les cases d'érosion.

Sol battant, très sableux en surface mais de sable fin. Structure instable devenant très rapidement particulière sous culture.

* T = température en degrés centigrades.
P = pluviométrie en mm.

** p = pluviométrie mensuelle max. en cm.
P = pluviométrie annuelle en cm.

*** $\gamma' = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$ où
T = température annuelle en degrés centigrades.
 $\alpha = 2$ pour un sable.
P = pluviométrie annuelle en mm.

Sol lessivé en fer et en argile (taux de lessivage = 4,6) qui colmate l'horizon compact sous-jacent. Trop cohérent en saison sèche, gorgé d'eau et trop fluide en saison des pluies.

TABLEAU I

RÉSULTATS ANALYTIQUES DE L'HORIZON SUPERFICIEL (0 à 15 CM) D'UN SOL BEIGE LESSIVÉ SOUS COUVERT FORESTIER (21)

		Bases échangeables (meq/100 g)	
Argile	8 à 15 %	CaO	1,1 à 3,9
Limon	0 à 6 %	MgO	0,5 à 1,95
Sable fin	40 à 53 %	K ₂ O	0,08 à 0,46
Sable grossier	25 à 40 %	Na ₂ O	0,06 à 0,08
Matière organique	1,6 à 2,2 %	Somme des bases	1,7 à 6,4
pH	6,2 à 6,4	Réserves minérales	10 à 14
Azote total	0,04 à 0,11 %	P ₂ O ₅	0,16 à 0,30
Fe ₂ O ₃ total	1,6 à 2,4 %		
Al ₂ O ₃ totale	5,0 à 7,0 %		
SiO ₂ totale	89 à 90 %		

Humide, ce sol est particulièrement difficile à travailler. Ne disposant que de quelques jours favorables, l'agriculteur a besoin de mécaniser son travail pour cultiver une surface suffisante pour sa subsistance. Or, la culture mécanisée accélère la minéralisation de la matière organique qui joue le rôle prépondérant dans la rétention des cations (forte capacité d'absorption) et dans la stabilité de la structure de ces sols sableux.

Matière organique et méthodes culturales sont les problèmes majeurs que pose l'agriculture de ces régions.

B) La méthode des cases d'érosion.

1) PRINCIPE

Elle consiste dans la délimitation d'un bassin versant de pente homogène, au bas duquel on recueille l'eau et la terre qui y est arrachée par la force érosive des pluies (fig. 2). La longueur de la parcelle est fonction de la pente*.

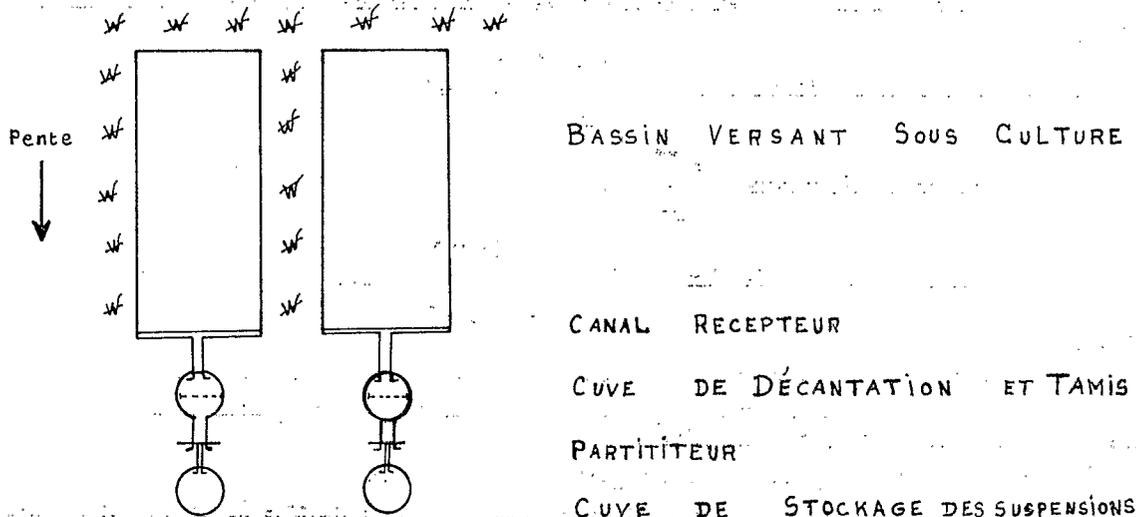


Fig. 2. — Schéma des cases d'érosion.

Les matériaux érodés mesurés sont :

- l'eau de ruissellement (solution de minéraux nutritifs) ;
- les éléments fins en suspension dans l'eau ;
- les éléments grossiers au fond de la première cuve.

* Formule de RAMSER : $D = 0,076 p + 0,608$, où D = distance verticale (en mètres) entre deux canaux d'évacuation des eaux de ruissellement et p = pente en % (3).

La somme des deux derniers forme l'érosion et s'exprime généralement en kg ou en tonne par ha et par an (t/ha/an). Le ruissellement s'exprime par la hauteur de la lame d'eau qui s'écoule sur un ha ou encore par le rapport :

$$\frac{\text{hauteur eau ruisselée}}{\text{hauteur eau pluie}} \times 100 = \text{coefficient de ruissellement.}$$

2) MODE OPERATOIRE

On mesure la hauteur que l'eau de ruissellement a atteint dans chacune des cuves et on détermine le volume en tenant compte des coefficients de multiplication introduits par les partiteurs.

Puis, après agitation soignée, on prélève dans chaque cuve un échantillon moyen de la suspension en même temps que l'on procède à leur vidange.

Enfin, on pèse les éléments grossiers déposés au fond de la première cuve et on prélève un échantillon pour en déduire son pourcentage d'humidité.

On comprendra facilement que la précision des mesures dépend essentiellement du soin apporté à l'échantillonnage.

Pour tous les détails de dimension des divers éléments des cases d'érosion, du mode opératoire et des calculs à effectuer, nous renvoyons à la publication très complète de FOURNIER (8).

C) Remarques.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il nous semble indispensable d'attirer l'attention sur les limites de ces expériences.

En dehors de la précision des mesures elles-mêmes, il nous faut déplorer le manque de continuité dans la surveillance des parcelles et des cahiers de résultats (présence sporadique d'un pédologue) et l'absence d'observation sur le développement du couvert végétal, l'état sanitaire des plantes et les façons culturales au cours de la saison des pluies. Ceci explique, pour une bonne part, la forte variabilité (érosion sous coton = 0,5 à 18,5 t/ha/an).

Nous avons donc utilisé la masse des résultats mis à notre disposition en n'écartant strictement que ceux qui, à notre connaissance, s'éloignaient trop visiblement de la réalité, vu les expériences semblables exécutées dans d'autres régions d'Afrique.

RESULTATS ET COMMENTAIRES

A) Tableaux généraux.

Nous n'avons gardé ici que le tableau des résumés annuels des résultats obtenus sur les cases d'érosion de Séfa, depuis leur création jusqu'en 1963 (voir tableau II) *.

Au premier coup d'œil, nous ne serons pas étonnés outre mesure par l'ampleur de l'érosion (0,02 à 54,5 t/ha/an) et du ruissellement (0,15 à 53,1 %) si l'on veut bien se rappeler qu'en Côte-d'Ivoire on enregistre des érosions de 100 à 120 t/ha/an (Adiopodoumé ; sol nul ; p = 7 %) et des ruissellements de l'ordre de 50 % en moyenne par an. Il nous faut cependant souligner que, en Casamance, il a suffi de pentes très faibles (p ≥ 1 %) pour obtenir de tels résultats.

Un deuxième aspect nous fait saisir l'action de l'homme sur l'accélération de l'érosion. Le défrichage de la forêt et la mise en culture de pentes de 2 % multiplient par 40 l'érosion moyenne et par 280 le ruissellement moyen. Une année de jachère naturelle ramène ces coefficients multiplicateurs respectivement à 24 et 160, tandis qu'une seconde année les abaisse encore jusqu'à atteindre respectivement 8 et 150. Et comme l'homme moderne utilise des moyens mécaniques beaucoup plus puissants et efficaces qui lui permettent de détruire la forêt sur de plus grandes surfaces que l'homme traditionnel, on peut s'attendre à des catastrophes.

Dès ce stade, nous pouvons remarquer combien lâches sont les liens qui existent entre le ruissellement et l'érosion et nous sentons qu'il nous faudra faire appel à un autre facteur que le ruissellement pour expliquer la genèse de l'érosion : l'énergie des gouttes de pluie.

* Nous tenons à la disposition des personnes que cela intéresse le stencyl des tableaux détaillés de l'érosion et du ruissellement sur chaque parcelle, pour chaque pluie (sauf 1958).

TABLEAU II

RÉSUMÉ DES RÉSULTATS ANNUELS OBTENUS SUR LES CASES D'ÉROSION DE SÉFA DEPUIS 1954

Nos parcelles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pente (%)	2	2	1,25	1,25	1,25	1,25	1,50	1,50	2	2
Surface (m ²)	200	200	500	250	250	250	250	250	600	600
1954 :										
Cultures	Arachide	Arachide								
Mode	Tradit.	Mécan.								
P	1.303	—								
R (mm)	460,5	631,6								
R (%)	35,3	48,5								
E (t/ha)	12,57	17,28								
Rt (kg/ha)	Néant	Néant								
1955 :										
Cultures	Jachère	Riz	Arach. - riz	Riz	Arachide	Sorgho	Sorgho	Jachère	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Mécan.	Strip Crop	?	?	EV	EV	Tradit.	Brûlée	Protégée
P	1.395	—	1.340	—	—	—	—	—	—	—
R (mm)	300	740,5	295,9	313,5	240,9	160,6	377,1	157,9	—	—
R (%)	21,5	53,1	22,1	23,4	18,0	12,0	28,1	11,8	—	—
E (t/ha)	5,61	30,98	11,44	6,31	16,30	7,46	14,18	10,14	—	—
Rt (kg/ha)	—	Néant	1.780-1.760	2.140	1.780	—	—	—	—	—
1956 :										
Cultures	Arachide	Arachide	Ara. - sorg.	Coton	Riz	Arachide	Arachide	Arachide	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Mécan.	SC-EV	?	?	?	?	?	Brûlée	Protégée
P	1.265	—	1.148	—	—	—	—	—	1.271	—
R (mm)	442,5	537,4	132,8	10,13	244,4	108,2	208,8	139,0	5,82	1,91
R (%)	35,0	42,5	11,6	0,9	21,3	9,4	18,2	12,1	0,46	0,15
E (t/ha)	6,06	11,96	1,57	0,47	6,47	3,05	4,62	3,47	0,076	0,057
Rt (kg/ha)	970	1.840	1.636	775	800	2.124	1.948	1.748	—	—
1957 :										
Cultures	Riz	Riz	Ara. - sorg.	Sorgho	Arachide	Riz	Riz	Sorgho	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Mécan.	SC-EV	EV	?	Mécan.	Mécan.	Grain	Brûlée	Protégée
P	971	—	1.004	—	—	—	—	—	1.029	—
R (mm)	216,9	244,8	135,0	161,0	123,9	216,3	205,8	244,9	4,45	4,38
R (%)	22,3	25,2	13,4	16,0	12,3	21,5	20,5	24,4	0,43	0,42
E (t/ha)	6,93	9,73	6,70	2,63	6,72	6,43	9,52	13,40	0,051	0,040
Rt (kg/ha)	Néant	Néant	1.920	—	2.020	950	800	1.500	—	—
1958 :										
Cultures	Arachide	Arachide	Arach. - riz	Arachide	Riz	Sorgho	Arachide	Arachide	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Mécan.	Strip Crop	?	?	EV	?	?	Brûlée	Protégée
P	1.336	—	1.484	—	—	—	—	—	1.296	—
R (mm)	176,7	203,3	268,1	120,4	240,5	166,9	197,9	223,7	4,70	1,70
R (%)	13,2	15,2	18,0	8,1	16,2	11,2	13,3	15,0	0,3	0,1
E (t/ha)	4,87	11,14	28,08	6,30	18,39	22,71	7,56	13,36	0,141	0,022
1959 :										
Cultures	Jachère	Sorgho	Arach. - riz	Riz	Sorgho	Arachide	Riz	Mil	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	EV	Strip Crop	?	EV	?	?	?	Brûlée	Protégée
P	812	—	742	—	—	—	—	—	768	—
R (mm)	114,3	258,3	124,8	134,5	113,8	127,7	243,4	195,8	5,0	4,0
R (%)	13,7	31,8	16,8	18,1	15,3	17,2	32,8	26,4	0,65	0,52
E (t/ha)	2,03	7,37	2,47	2,17	3,01	4,07	5,95	8,10	0,084	0,051
1960 :										
Cultures	Arachide	Arachide	Ara. - sorg.	Arachide	Arachide	Riz	Arachide	Arachide	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Déch.	Déchau. - EV-SC	Déch.	Déch.	Déchau.	Déchau.	Tradit.	Brûlée	Brûl. 1 ^{re} année
P	1.171	—	1.302	—	—	—	—	—	1.272	—
R (mm)	220,3	430,5	227,6	328,3	376,3	398,1	375,5	352,4	14,67	19,34
R (%)	18,8	36,8	17,5	25,2	28,9	30,6	28,8	27,1	1,15	1,52
E (t/ha)	5,35	12,15	4,52	3,59	6,99	7,38	6,98	7,30	0,240	0,300
Rt (kg/ha)	1.900	2.850	2.580	2.660	2.640	400	2.120	2.580	—	—
1961 :										
Cultures	Riz	Riz	Riz - arach.	Riz	Riz	Arachide	Sorg. - EV	Jachère	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Déch.	SC déch.	Déch.	Déch.	Déchau.	Déchau.	Tradit.	Brûlée	Protégée
P	1.231	—	1.185	—	—	—	—	—	1.129	—
R (mm)	461,1	617,4	374,3	446,8	431,0	470,0	414,4	157,3	15,2	13,4
R (%)	37,5	50,2	31,6	37,7	36,4	39,7	35,0	13,3	1,34	1,18
E (t/ha)	29,95	54,48	8,05	6,79	10,84	5,24	8,65	9,78	0,190	0,220
Rt (kg/ha)	Néant	Néant	534-1.940	1.184	872	1.720	46.000	—	—	—
1962 :										
Cultures	Arachide	Coton	Sor. - grain	Sorg. - EV	Arachide	Coton	Jachère	Jachère	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Tradit.	Brûlée	Protégée
P	1.084	—	1.223	—	—	—	—	—	1.219	—
R (mm)	247,3	462,8	513,9	296,2	474,3	402,9	180,9	228,3	10,2	13,9
R (%)	22,8	42,7	42,0	24,2	38,8	32,9	14,8	18,7	0,8	1,1
E (t/ha)	2,91	18,52	3,29	1,19	3,32	4,25	1,46	1,85	0,021	0,023
Rt (kg/ha)	1.025	266	760	—	2.224	460	—	—	—	—
1963 :										
Cultures	Jachère	Mil	Ara. - EV	Arachide	Riz	Sorg. - EV	Mais	Arachide	Forêt	Forêt
Mode	Tradit.	Déchau.	Déch. SC	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Déchau.	Tradit.	Brûlée	Protégée
P	1.243	—	1.279	—	—	—	—	—	1.251	—
R (mm)	259,2	493,8	240,9	347,9	502,9	198,7	395,1	304,2	15,43	14,25
R (%)	20,9	39,7	18,8	27,2	39,3	15,5	30,9	23,8	1,23	1,14
E (t/ha)	3,27	12,57	7,83	4,40	9,71	3,20	10,22	7,68	0,510	0,120
Rt (kg/ha)	—	2.168	2.160	2.041	640	—	409	1.660	—	—

Le facteur agissant le plus puissamment sur l'intensité du phénomène est la nature et la densité du couvert végétal. La forêt tamponne le mieux les ardeurs de la pluie, puis viennent le couvert herbacé permanent et, loin derrière, les cultures qui laissent toujours le sol plus ou moins à nu, au moins pendant une partie de l'année.

Perméabilité, texture et structure du sol, l'allure de la pente et les méthodes culturales concourent à fixer la susceptibilité à l'érosion.

B) Les causes de l'érosion hydrique.

1) LE RUISSELLEMENT

Depuis le début de l'ère scientifique, géographes et géologues ont étudié l'érosion en tant que facteur d'évolution des paysages à la surface du globe. Pour le géomorphologue, le ruissellement rassemble les eaux de pluie dans les ravines puis les vallées et arrache une masse importante de matériaux. Le couple érosion-sédimentation ne cessera d'évoluer qu'après avoir raboté toute dénivellation.

Cette hypothèse admettant le ruissellement comme la seule, ou tout au moins la principale, cause de l'érosion aboutit à des études très intéressantes sur la vitesse de l'eau, sa compétence* et sa capacité de charge** (HJULSTRÖM : zones de sédimentation, de transport et d'érosion des particules en fonction de leur diamètre et de la vitesse de l'eau).

De là découlent en agriculture la plupart des méthodes mécaniques de lutte anti-érosive : terrasses, fossés d'absorption et d'évacuation, haies, labours et billons isohypses.

Ce n'est qu'en 1930 que débutèrent une série d'études sur l'« effet splash » et l'énergie cinétique des gouttes (SMITH et WISCHMEIER, 1962) (14).

ELLISON démontre en 1944 que les gouttes d'eau, en s'écrasant sur un sol gorgé d'eau, libèrent une énergie capable de désintégrer les agrégats et de déplacer les particules de terre sans le concours du ruissellement.

WOODRUFF (1947) montre alors que, sur des pentes de 8 %, le ruissellement n'apporte que 10 % de l'énergie provoquant l'érosion, mais cette proportion augmente rapidement avec la pente (60 % si $p = 16$ %).

HUDSON, en Rhodésie du Sud, mit en évidence de façon très élégante l'importance primordiale du couvert végétal sur l'érosion (comparaison de l'érosion et du ruissellement sur parcelle nue ou sur parcelle couverte de gazon) et, par là-même, la primauté de l'effet splash sur le ruissellement.

Là où il s'agit d'érosion en nappe, nous pourrions dire que le ruissellement n'est que le tapis roulant qui évacue les « abattis » des gouttes de pluie (les particules dissociées par l'énergie cinétique de la pluie).

De cette hypothèse découlent les méthodes biologiques de lutte anti-érosive : paillage, plantes de couverture, culture intensive (engrais), fortes densités, variétés précoces et exubérantes, cultures dérobées.

WISCHMEIER (1958) (26) en établissant une corrélation étroite entre l'érosion, l'énergie cinétique et l'intensité instantanée (I max. pendant trente minutes) des pluies a montré le lien qui unit l'effet splash et le ruissellement.

En effet, si à une forte énergie cinétique correspond une forte intensité de la pluie, celle-ci entraînera l'engorgement de l'horizon superficiel du sol et donc un fort ruissellement.

Cette idée d'un lien assez lâche et seulement indirect entre le ruissellement et l'érosion, nous pourrions la retrouver dans presque tous nos tableaux :

une érosion très dissemblable peut advenir pour des ruissellements très proches et vice-versa (voir tableau II) ;

importance très nette du couvert végétal (et du rendement des cultures) sur l'érosion, mais pas nécessairement sur le ruissellement (tableaux IX et X) ;

croissance du ruissellement au cours de l'année alors que l'érosion baisse (tableaux IV et V) ;

variations incohérentes du rapport $\frac{R}{E}$ en fonction des classes de hauteur de pluie ou de la pluviométrie annuelle (tableau V) ;

* La compétence d'un cours d'eau est le plus grand diamètre des particules que ce courant est capable de déplacer.

** La capacité de charge d'un cours d'eau est le poids maximum des particules qu'il est capable de charrier.

croissance du ruissellement au cours des cycles successifs de culture indépendamment des variations d'érosion (tableaux VI et VII).

Dans le cas d'une érosion en nappe, le ruissellement n'est que l'agent transporteur des débris arrachés par l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Il n'en reste pas moins vrai que si l'agriculteur ne prend aucune mesure pour lutter contre l'érosion en nappe, il verra se dessiner dans ses champs des ravines de plus en plus profondes où le ruissellement prendra alors une part de plus en plus prépondérante dans la cause de l'érosion.

2) LA PLUIE

a) L'ÉNERGIE CINÉTIQUE ET L'INTENSITÉ DES PLUIES.

Puisque, dans les cas d'érosion, il s'agit presque exclusivement d'une érosion en nappe, c'est à la pluie elle-même et plus particulièrement à son énergie cinétique qu'il faut s'adresser pour en trouver la cause.

Supposons une goutte d'eau d'un diamètre donné. En tombant d'une hauteur suffisante (nuage), elle acquiert une vitesse limite équilibrant l'attraction universelle ($F = \frac{Mg^2}{2}$) et les forces de frottement

($F = KSV^2$). A son arrivée au sol, elle pilonne la terre, y creuse un petit cratère et en rejaillit sous forme d'une couronne de petites gouttelettes chargées de suspension.

Que s'est-il passé ?

La goutte d'eau a dépensé la plus grande partie de son énergie (due à sa masse et à sa vitesse) à disloquer les agrégats et mettre les particules fines en suspension ; le reste sert à tasser le sol et rebondir.

Intuitivement, on comprend qu'il y a des relations directes entre le diamètre de la goutte, sa masse, sa vitesse et son énergie cinétique.

WISCHMEIER (1958), travaillant sur des pluies d'intensités homogènes, a établi une corrélation étroite entre l'énergie cinétique et l'intensité d'une pluie :

$$Eu = 916 + 331 \log Ih *$$

Enfin, en 1959, WISCHMEIER et SMITH trouvent d'excellentes corrélations entre l'érosion et un « index pluie » produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale pendant 30 minutes par heure (24).

$$\text{Index pluie} = Ec \times I \text{ max. } 30' \times 2.$$

Pour la période qui nous intéresse, nous n'avons aucun renseignement sur l'intensité instantanée des pluies à Séfa.

b) LA HAUTEUR DES PLUIES.

Les liens entre les valeurs annuelles de l'érosion et du ruissellement, d'une part, et celles de la hauteur de pluie, d'autre part, sont lâches et indirects. Ils découlent du fait que des pluies de faible intensité donnent rarement naissance à de fortes hauteurs d'eau et que les pluies importantes développent une énergie cinétique plus élevée que les petites pluies, fussent-elles intenses.

TABLEAU III
INFLUENCE DE LA HAUTEUR ANNUELLE DE LA PLUIE

	Pluie (h en mm)	1.484 1958	1.340 1955	1.279 1963	1.004 1957	742 1959
Sorgho EV	Ruissellement (%)	11,2	12,0	15,5	16,0	15,3
	Erosion (t/ha)	22,7	7,46	3,20	2,63	3,01
Riz	Ruissellement (%)	16,2	23,4	39,3	21,5	18,1
	Erosion (t/ha)	18,39	6,31	9,71	6,43	2,17
	Rendement (kg/ha)	?	2.140	640	950	?
Arachide	Ruissellement (%)	8,1	18,0	27,2	12,3	17,2
	Erosion (t/ha)	6,30	16,30	4,40	6,72	4,07
	Rendement (kg/ha)	?	1.780	2.041	2.020	?
Moyenne	Ruissellement (%)	11,8	17,8	27,3	16,6	16,9
	Erosion (t/ha)	15,80	10,02	5,77	5,26	3,08
	R/E	0,75	1,78	4,73	3,16	5,49

* Eu = énergie cinétique unitaire en pied/tonne/acre par pouce de pluie tombée (1 unité = 0,00269 Kgm/m²/mm de pluie).
Ih = intensité homogène d'une pluie en pouce/heure.

Que l'on arrive à faire ressortir une croissance parallèle de l'érosion moyenne sous trois cultures et de la pluviométrie annuelle nous a paru plus étonnant. Nous pourrions d'ailleurs faire remarquer qu'il n'en va pas de même pour chaque culture prise isolément, influencées qu'elles sont par les précédents culturaux.

Quant au ruissellement, il ne semble lié ni à la hauteur de la pluviométrie ni à l'érosion (nous en avons parlé plus haut).

Plus intéressant est le rapport (R/E) du ruissellement (en %) sur l'érosion (t/ha) : il donne une idée de l'importance relative de l'érosion et du ruissellement durant une pluie ou une série de pluies.

Ici, il met clairement en évidence que c'est durant les années les plus arrosées que l'on peut s'attendre à enregistrer les plus forts dégâts dans les cultures et les charges les plus fortes des eaux de ruissellement.

TABLEAU IV
EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE, DU RUISSellement ET DE L'ÉROSION AU COURS DE L'ANNÉE
(Moyennes établies sur six parcelles, de 1959 à 1963)

Quinzaines Date ext.	Moyennes par quinzaines						Moyennes par pluie			% du total annuel moyen			
	NP	HP	R (mm)	R (%)	E (kg/ha)	R/E (%)	HP	R (mm)	E	HP	R (mm)	E	R/E
30 juin	2,8	70,4	17,85	25,4	780,1	0,03	25,1	6,38	278,6	6,3	5,7	17,9	0,31
15 juillet	3,4	66,0	12,51	19,0	598,6	0,03	19,4	3,68	176,1	5,9	4,0	13,7	0,29
31 juillet	7,0	162,8	51,50	31,6	1.138,7	0,03	23,3	7,36	162,7	14,5	16,5	26,1	0,63
15 août	6,4	216,5	90,58	41,8	986,9	0,04	33,8	14,15	154,2	19,3	29,0	22,6	1,28
31 août	7,6	210,5	44,43	21,1	345,5	0,01	27,7	5,85	45,5	18,7	14,2	7,9	1,79
15 septembre ..	5,6	167,2	52,18	31,2	185,3	0,17	29,9	8,70	30,9	14,9	16,7	4,2	3,97
30 septembre ..	5,2	135,0	26,46	19,6	152,1	0,13	26,0	5,09	29,2	12,0	8,5	3,5	2,42
15 octobre	3,4	77,0	15,35	19,9	165,8	0,12	22,6	4,52	48,8	6,8	4,9	3,8	1,28
31 octobre	1,2	18,7	1,30	7,0	6,5	1,08	15,6	1,09	5,4	1,7	0,4	0,1	4,00
Total annuel moy.	42,6	1.124,1	312,16	27,8	4.359,2								

Noter. Le plus gros de la pluie tombe en août, le plus fort ruissellement du 15 juillet au 15 août, tandis que l'érosion est décalée vers le début de la saison des pluies.

R/E augmente au cours de l'année, car le profil est de plus en plus saturé et la couverture végétale s'étend. On retrouvera toujours une baisse de R/E à la récolte.

Décroissance très marquée de l'érosion par pluie unitaire.

Alors que les fortes pluies sont centrées sur le mois d'août mais restent vigoureuses jusque fin septembre, le ruissellement se développe fin juillet à mi-septembre tandis que l'érosion perd sa virulence dès la mi-août.

Très éloquent est la variation de l'érosion moyenne par pluie au cours de l'année : décroissance continue en fonction du développement du couvert végétal avec recrudescence bien marquée à la récolte (15 septembre-15 octobre). Le ruissellement et la hauteur de pluie maximum par pluie s'obtiennent ensemble dans la première moitié d'août alors que l'érosivité des pluies décline déjà (fig. n° 3) : le profil est saturé et les pluies encore abondantes.

TABLEAU V
ÉROSION ET RUISSellement SUIVANT LES CLASSES DE HAUTEUR DE PLUIE
(Moyennes établies au départ de six parcelles, de 1959 à 1963)

Classe H (mm)	Moyenne annuelle					Moyenne par pluie		% du total annuel moyen				
	NP	HP	R (mm)	R (%)	E	R/E	R (mm)	E	HP	R	E	R/E
0-15	16,0	150,3	11,24	7,5	182,1	0,041	0,70	11,4	13,4	3,6	4,2	0,86
15-30	14,2	304,9	61,75	20,2	1.180,9	0,017	4,35	83,2	27,2	19,8	27,1	0,73
30-60	10	439,3	135,27	30,8	1.799,2	0,017	13,53	179,9	39,1	43,3	41,3	1,05
60-90	1,6	106,7	36,48	34,2	858,4	0,040	22,80	536,5	9,5	11,7	19,7	0,59
90-120	0,4	39,4	21,80	55,3	107,5	0,514	54,50	268,7	3,5	7,0	2,5	2,80
> 120	0,6	86,5	45,61	52,7	231,3	0,228	76,02	385,5	7,7	14,6	5,3	2,75

Presque 70 % de la pluviométrie annuelle moyenne (1959 à 1963) tombent par unités de 15 à 60 mm et entraînent 60 % du ruissellement et 70 % de l'érosion annuelle moyenne (moyennes pour six parcelles, cinq années).

Il n'y a en moyenne qu'une pluie de plus de 90 mm par an et elle provoque un cinquième du ruissellement mais seulement 8 % de l'érosion annuelle moyenne.

Le ruissellement moyen par pluie croît régulièrement avec la classe de pluviométrie tandis que la courbe croissante de l'érosion décroche à partir de la classe des pluies supérieures à 90 mm.

Cela tient encore au fait qu'entre 1959 et 1963 les pluies supérieures à 90 mm sont tombées en septembre alors que la végétation protégeait déjà le sol (forte érosivité de la pluie mais faible érodibilité du sol).

De même, il ne semble y avoir aucun lien entre les classes de pluviométrie et le rapport R/E : ce qui confirme l'influence de la couverture végétale sur l'érosion.

La pluie la plus abondante enregistrée entre 1954 et 1963 sur les cases d'érosion de Séfa a été de 168,5 mm (le 5 septembre 1961) et a entraîné un ruissellement de 60 % ainsi que 434 kg/ha

d'érosion dont 10 kg/ha d'éléments fins en suspension ($\frac{S \times 100}{E} = \pm 2$) (chiffres moyens sur six parcelles cultivées).

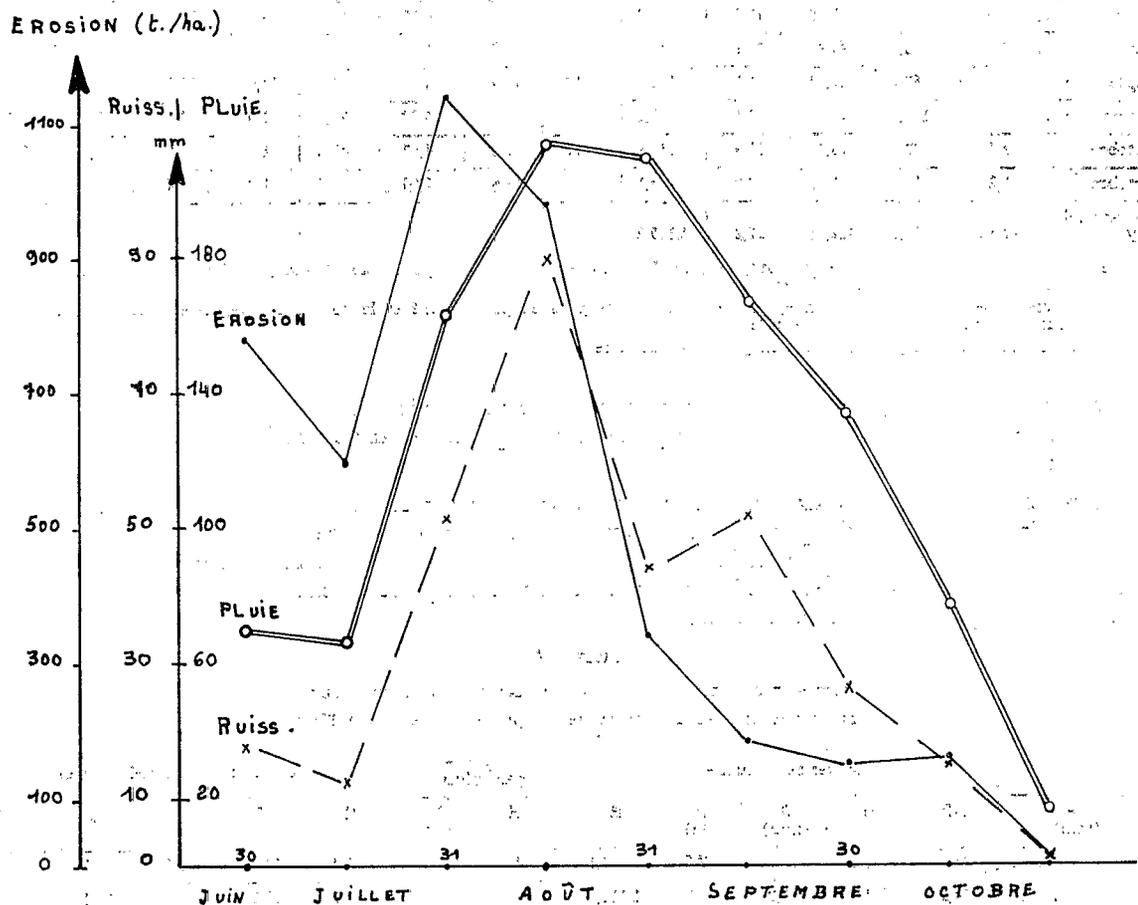


Fig. 3. — Evolution de la pluviométrie, du ruissellement et de l'érosion au cours de l'année.

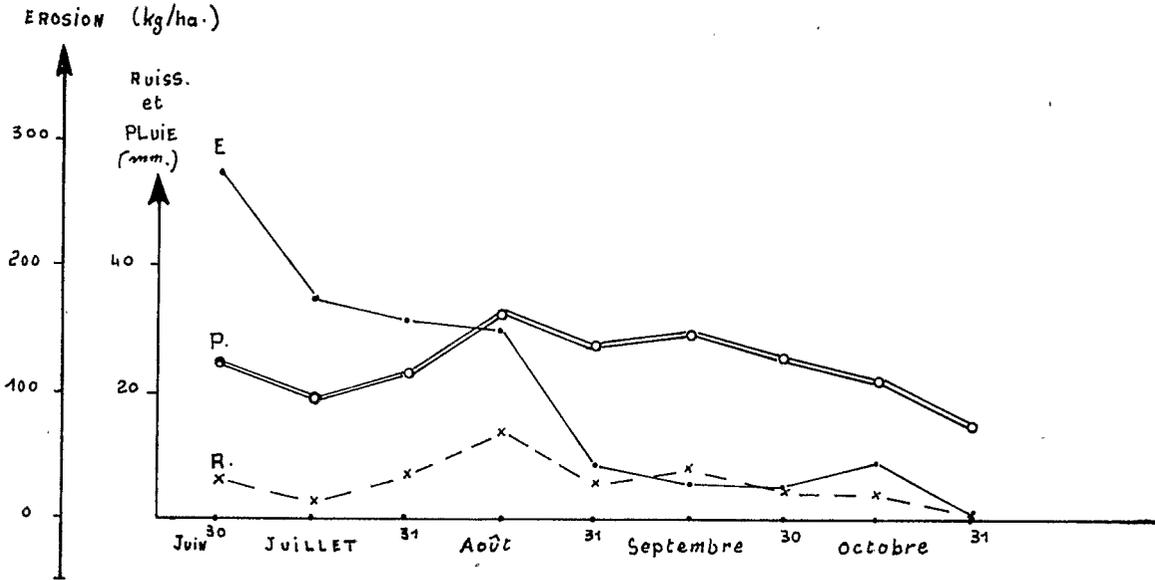


Fig. 4. — Evolution des moyennes, par pluie, du ruissellement, de la pluie et de l'érosion (moyennes de six parcelles, de 1959 à 1963).

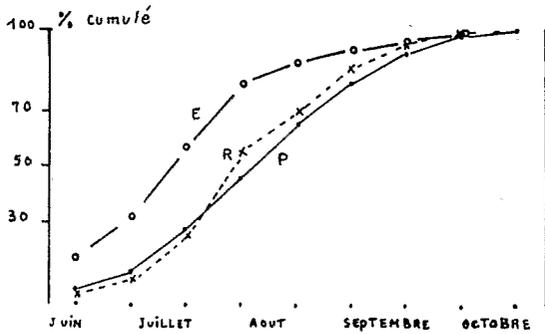


Fig. 5. — Pluviométrie, ruissellement, érosion durant la saison des pluies.

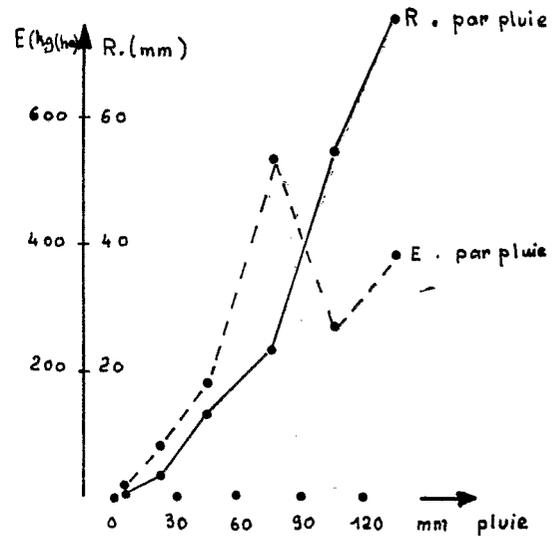


Fig. 6. — Ruissellement et érosion par classes de pluie.

c) LA POSITION DE LA PLUIE PAR RAPPORT AUX PRÉCÉDENTES.

Nous avons déjà souligné (voir tableau IV) les variations du ruissellement et de l'érosion au cours de l'année.

Mais, à l'intérieur d'un même mois (couverture végétale presque équivalente), la chute antérieure d'une pluie peut changer considérablement la résistance du sol à la dégradation par l'eau ; par exemple :

Date	Pluie (mm)	Ruissellement (mm)	Erosion (kg/ha)	Suspension (kg/ha)
22-6-1961	48,5	18,84	526,2	3,523
22-6-1961	11,2	2,89	44,6	1,115
15-7-1961	17,1	0,22	0	0
17-7-1961	48,7	21,25	1.340,8	15,233

(Moyennes de six parcelles)

Qu'une pluie arrive à détremper le sol, ruissellement et érosion seront déclenchés bien plus facilement par la suivante. Pour définir les unités pluviales, il faudrait donc pour chaque situation topographique et chaque type de sol connaître le temps qui lui est nécessaire pour se ressuyer. En pratique, personne jusqu'ici n'a tenu compte du temps de ressuyage pour individualiser les pluies.

En Tunisie, CORMARY et MASSON (1954) (19) considèrent qu'il faut un intervalle de six heures entre deux pluies pour les distinguer. Aux Etats-Unis, WISCHMEIER admet qu'il pleuve moins de 1,25 mm durant cet intervalle.

A Séfa, le relevé des cases d'érosion s'effectue une ou deux fois par jour suivant les pluies et surtout la célérité de l'équipe de manœuvres. Il arrive aussi que la vidange des cuves ne soit réalisée qu'après plusieurs jours sans qu'on puisse connaître le nombre d'« unités pluviales » qu'elle comporte.

C) Les facteurs modifiant l'expression de l'érosivité des pluies.

Grâce à cette analyse temporaire des causes de l'érosion hydrique, nous pouvons maintenant saisir par l'intérieur le rôle de chacun des facteurs qui vont favoriser ou freiner l'expression de l'agressivité de la pluie et du ruissellement.

1) LE SOL

Elément érodé, il n'est pas indifférent aux forces d'arrachement auxquelles il est soumis. A tout instant, le ruissellement est égal à la quantité d'eau tombée, moins l'eau percolant à travers le profil.

La texture des différents horizons du sol, par le biais de la perméabilité, modifie directement l'une des causes de l'érosion : le ruissellement. Celui-ci dépend beaucoup de la profondeur de l'horizon le moins perméable. De plus, un même sol répond très différemment à l'agressivité des pluies suivant sa structure. Après un défrichement, le sol mis à nu se tasse et l'on voit le ruissellement s'intensifier, la stabilité de la structure se dégrader rapidement (minéralisation brutale de la matière organique) et croître son érodibilité.

De plus, sables et argiles développent entre leurs éléments des forces d'attractions très dissemblables. L'érosion sur un sol argileux est étroitement liée à l'énergie développée par la pluie pour séparer les particules tandis que sur un sol sableux (toujours moins cohérent) elle est l'expression de la capacité de transport du ruissellement.

Enfin, certains types pédogénétiques des sols sont plus sensibles que d'autres. C'est le cas des sols ferrugineux, des sols lessivés en général et des sols podzoliques.

A Séfa, c'est un sol ferrugineux lessivé de sable fin que le lourd matériel de défrichement a brutalement dénudé. Mis en culture sans mesure de protection particulière, de plus en plus pauvres en humus, fermés par la battance des pluies, ces sols se dégradèrent très rapidement. L'horizon superficiel très fluide en saison des pluies est facilement emporté par le ruissellement. Paraît alors à la surface l'horizon d'accumulation en argile et en fer : plus compact et cohérent, il résiste bien à l'érosion. La végétation a de la peine à s'installer dans ce ravineau qui draine parfois de grandes surfaces et s'évase progressivement.

Les tableaux VI et VII nous montrent combien divergent l'évolution du ruissellement et celle de l'érosion dans les champs cultivés au cours des années.

TABLEAU VI
EROSION ET RUISSellement AU DÉBUT ET EN FIN D'EXPÉRIENCE

Culture	Année	Pluie (mm)	Numéro	Ruissell. (mm)	Ruissell. (%)	E (t/ha)	Rendement (kg/ha)
Riz	1955	1.340	p 4	313,5	23,4	6,31	2.140
	1961	1.185	p 4	446,8	37,7	6,79	1.184
Arachide	1955	1.340	p 5	240,9	18,0	16,30	1.780
	1961	1.185	p 6	470,0	39,7	5,24	1.720
Sorgho (EV)	1955	1.340	p 7	377,1	28,1	14,18	46.000
	1961	1.185	p 7	414,4	35,0	8,65	
Moyenne	1 ^{re} culture	1.340		310,5	23,2	12,26	
	7 ^e culture	1.185		443,7	37,4	6,89	

TABLEAU VII
COMPARAISON DE DEUX CYCLES SUCCESSIFS
(Parcelle n° 5)

Culture	Année	Pluie (mm)	Ruissell. (mm)	Ruissell. (%)	E (t/ha)	Rendement (kg/ha)
Arachide	1955	1.340	240,9	18,0	16,30	1.780
	1960	1.302	376,3	28,9	6,99	2.640
Riz	1956	1.148	244,4	21,3	6,47	800
	1961	1.185	431,0	36,4	10,84	872
Arachide	1957	1.004	123,9	12,3	6,72	2.020
	1962	1.223	474,3	38,8	3,32	2.224
Riz	1958	1.484	240,5	16,2	18,39	?
	1963	1.279	502,1	39,3	9,71	640
Moyenne	1 ^{er} cycle	1.244	212,4	17,1	11,97	Arachide 1.900
	2 ^e cycle	1.247	446,1	35,8	7,72	Riz 2.432
						800
						756

Noter. L'augmentation très nette du ruissellement au cours des années (destruction de la microstructure).

Il faudra prévoir des techniques culturales améliorant le drainage.

L'érosion n'a pas augmenté : elle dépend d'avantage du couvert végétal.

Grâce à l'usage de doses minimes d'engrais, les rendements n'ont pas baissé.

Les apports très modestes d'éléments nutritifs suffisent pour maintenir et même augmenter la production. Dans ce cas, l'érosion, dépendant étroitement du couvert végétal, reste stable et peut même décroître sensiblement par l'usage des méthodes culturales adaptées.

Le ruissellement, par contre, augmente d'année en année si on ne fait pas usage des méthodes culturales améliorant la structure. Sans fournir ici de résultats expérimentaux, nous croyons pouvoir affirmer qu'il faut en rechercher la cause dans la battance du sol par les pluies et les nombreuses façons culturales (semelle de labour) utilisées couramment pour l'arachide, qui détruisent la microstructure et provoquent son instabilité.

Un autre facteur concourt à la destruction de la structure : l'accumulation des eaux de pluies en de grandes flaques dans les points bas (10 cm de dénivelée suffisent), anciens emplacements de souches. Un cloisonnement léger des billons suffirait à éviter les grandes accumulations d'eau.

2) LA PENTE

Il faut distinguer :

LA LONGUEUR DE LA PENTE.

Les lames d'eau que le sol ne peut absorber dans les premiers mètres de la pente viennent s'ajouter à celles des derniers mètres en aval, de telle sorte que plus la pente est longue plus la lame est épaisse. La vitesse, la capacité et la compétence de l'eau qui ruisselle s'élèvent donc avec la longueur de la pente.

L'INCLINAISON DE LA PENTE (%).

Parallèlement au temps de contact avec l'eau et le sol, la proportion de l'eau de pluie qui parvient à percoler à travers un sol diminue si le pourcentage de pente augmente. De plus, la couronne de gouttelettes projetées par l'effet splash touchera le sol plus rapidement vers le haut que vers le bas de la pente. Statistiquement, cela se traduira par un transport de matériaux vers le bas de la pente, d'autant plus accéléré que celle-ci est inclinée.

Dans son équation universelle de perte de sol, pour tenir compte du facteur pente, WISCHMEIER (1958) a introduit le coefficient « LS » qui vaut :

$$LS = \frac{2 \sqrt{f}}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

où f = longueur de pente en pieds,

S = degré de pente en %,

LS = 1, si S = 9 % et f = 72,6 pieds (22,12 m).

A Séfa, partant de la formule de RAMSER, on a fixé à 40 m la longueur des pentes de 2 % et à 50 m pour les pentes inférieures (1,25 et 1,50 %).

$$\text{Formule de RAMSER : } D = 0,076 S + 0,608$$

où D représente la distance verticale entre deux canaux d'évacuation sur une pente de S %.

Malgré les pentes extrêmement faibles et voisines qui sont expérimentées (1,25 à 2 %), la croissance de l'érosion et du ruissellement sont considérables (voir tableau VIII). Une légère augmentation de l'énergie érosive suffit à détruire les liens entre les particules du sol et à développer dangereusement les transports effectués par le ruissellement. Ceci confirme la forte susceptibilité de ces sols à l'érosion.

De plus, les rendements observés diminuent si la pente augmente. Ceci illustre bien l'action de l'érosion sur le rendement et réciproquement.

Aussi a-t-on abandonné rapidement la culture sur les champs de pente > 2 % ou les a-t-on protégés par des banquettes (type RIDGE ou BROAD BASE TERRACE).

TABLEAU VIII
INFLUENCE DU DEGRÉ DE LA PENTE

Année	Culture et méthode		% pente		
			1,25	1,50	2,00
1955	Sorgho : engrais vert.	Pm	1.340	1.340	
		R (%)	12,0	28,1	
		E (t/ha)	7,46	14,18	
1956	Arachide : culture mécanisée.	Pm	1.148	1.148	1.265
		R (%)	9,4	18,2	42,5
		E (t/ha)	3,05	4,62	11,96
		Rt (kg/ha) ..	2.124	1.948	1.840
1957	Riz : culture mécanisée.	Pm	1.004	1.004	971
		R (%)	21,5	20,5	25,2
		E (t/ha)	6,43	9,52	9,73
		Rt (kg/ha)	950	800	Néant
1958	Arachide : culture mécanisée.	Pm	1.484	1.484	1.336
		R (%)	8,1	14,2	15,2
		E (t/ha)	6,30	10,46	11,14
1959	Riz : culture mécanisée.	Pm	742	742	
		R (%)	18,1	32,8	
		E (t/ha)	2,17	5,95	
1959	Sorgho : engrais vert.	Pm	742		812
		R (%)	15,3		31,8
		E (t/ha)	3,01		7,37
1960	Arachide : culture mécanisée, déchaumage.	Pm	1.302	1.302	1.171
		R (%)	27,1	28,8	36,8
		E (t/ha)	5,29	6,98	12,15
		Rt (kg/ha)	2.650	2.120	2.850
1962	Coton : culture mécanisée, déchaumage.	Pm	1.223		1.084
		R (%)	32,9		42,7
		E (t/ha)	4,25		18,52
		Rt (kg/ha)	460		266
Moyenne générale		Pm	1.235	1.235	1.186
		R (%)	16,3	21,9	30,0
		E (t/ha)	4,75	8,62	11,81
		R/E	3,4	2,5	2,5

Noter. L'augmentation du ruissellement et de l'érosion avec la pente entraîne une baisse des rendements.

3) LA COUVERTURE VEGETALE

Facteur principal sur lequel l'agriculteur a une grande emprise pour contrôler l'érosion.

On peut décomposer le rôle de la plante qui couvre le sol en trois modes d'action plus ou moins simultanés :

1) l'appareil aérien intercepte l'énergie cinétique des gouttes d'eau, prélève une part de la pluie qui s'évapore directement à sa surface et conduit calmement le reste jusqu'au sol ;

2) le système racinaire superficiel fixe et retient le sol, ralentit la vitesse du ruissellement, favorise la structure du sol et un bon drainage ;

3) une fois mort, le végétal recouvre le sol et freine le ruissellement ; sa décomposition donne naissance à l'humus, améliore le drainage, la structure et la productivité du sol.

Au cours de sa croissance, la plante passe par des stades successifs. WISCHMEIER (19) en distingue cinq :

préparation du lit de semences (depuis le premier labour) ;

levée de semis (le premier mois après le semis) ;

établissement de la végétation (un à deux mois) ;

chaumes et résidus (de la récolte au premier labour de la culture suivante).

Si les stades qui laissent le sol découvert coïncident avec des périodes pluvieuses très érosives, ce sont les méthodes culturales qui jouent le rôle principal dans la lutte contre l'érosion (billonnage, labour profond, date du semis et de la récolte).

Dans le cas contraire, c'est la densité de la couverture végétale (engrais, densité du semis, haut niveau de productivité, variétés hâtives ou tardives à fort développement végétatif, soins phytosanitaires, etc. etc.).

TABLEAU IX
DIVERSES COUVERTURES VÉGÉTALES TESTÉES À SÉFA

Couverture végétale	Pluie (mm)	Répétition	Ruiss. (mm)	Ruissellement (%)		Erosion (t/ha)		Rend. moyen
				Moyennes	Extrêmes	Moyennes	Extrêmes	
1) Forêt brûlée	1.167	9	10,53	0,90	0,30	0,179	0,021	
Forêt protégée	1.138	7	7,65	0,67	1,52 0,10	0,076	0,510 0,022	
2) Jachère	1.203	7	199,7	16,6	11,8 21,5	4,88	1,46 10,14	
3) Arachide : Moyenne générale	1.241	24	282,4	22,8	8,1 42,5 13,2	6,89	2,91 16,30 2,91	1.992
Culture traditionnelle .	1.240	6	290,6	23,4	35,0 15,2	5,10	7,68 3,32	1.627
Culture mécanisée	1.262	9	393,7	31,2	42,5	7,31	12,15	2.368
4) Coton	1.151	3	322,3	28,0	0,9 42,7	7,75	0,47 18,52	500
5) Sorgho EV	1.157	9	238,6	20,6	11,2 35,0	7,82	1,19 22,71	
6) Riz mécan.	1.129	11	307,0	27,2	16,2 39,3	8,18	2,17 18,39	973
7) Sorgho grain	1.113	2	379,4	34,1	24,4 42,0	8,35	3,29 12,40	1.130
8) Maïs mécan.	1.279	1	395,1	30,9		10,34		409
9) Mil grain	993	2	344,8	34,7	26,4 39,7	10,34	8,10 12,57	2.168
10) Cultures dévastées ...	1.201	7	481,8	40,1	22,3 53,1	25,13	6,93 54,48	Néant

Sauf en 10, les valeurs obtenues sur cultures dévastées par la rosette ou les termites ne sont pas comprises dans ces moyennes.

Le tableau IX donne un aperçu général de l'érosion et du ruissellement qui se développent sous les différentes couvertures végétales expérimentées à Séfa.

Notons d'abord la nature composite des résultats de ces expériences.

Chaque plante, en effet, développe un couvert qui lui est propre mais, en même temps, exige de l'agriculteur des conditions écologiques particulières (ex. : sol bien drainé, sableux, humifère).

De plus, des conditions économiques tendront à associer à chaque plante cultivée un certain nombre de façons culturales (labour, billonnage, buttage, déchaumage, brûlis, etc.) et de techniques d'exploitation (engrais, densité et date du semis et de la récolte, cultures dérobées, enfouissement de la jachère, etc.).

La nature du conditionnement de la plante peut être inhérente à celle-ci (conditions écologiques) ou extérieure à celle-ci et modifiable dans une très large mesure par l'agriculteur (intensité de la culture).

Il peut donc se faire qu'une plante ici réputée « dégradante » devienne « conservatrice » là où on a mis au point les méthodes culturales qui lui conviennent réellement (billonnage cloisonné pour le maïs, par exemple).

Dans la mesure où les méthodes culturales propres à chaque culture sont le reflet fidèle de celles couramment utilisées à Séfa, ce tableau rapporte l'influence de la nature de la couverture végétale développée à Séfa par les cultures sur l'érosion et le ruissellement.

Enfin, une même plante, cultivée avec les mêmes méthodes culturales, peut développer une couverture végétale et produire des rendements très dissemblables d'après l'état phytosanitaire.

C'est ainsi que nous avons été amenés à réunir, sous la dénomination « sol nu », les parcelles cultivées en arachide et riz tellement attaquées par la rosette ou les termites qu'elles n'ont donné lieu à aucune récolte. La couverture végétale n'a été que très fractionnaire.

En nous basant sur les valeurs moyennes et extrêmes de l'érosion et du ruissellement, le classement des couvertures végétales nous semble très significatif.

La forêt est sans contestation le meilleur moyen de protéger le sol et d'améliorer l'infiltration des eaux de pluie dans le sol.

Plus de 99 % de la pluviométrie pénètrent dans le sol : la forêt tamponne le climat en maintenant une hygrométrie élevée et surtout en répartissant plus équitablement l'eau durant toutes les saisons.

A l'autre extrémité, on trouve les sols presque totalement dénudés. Ils laissent s'échapper plus de la moitié de l'eau de pluie et le ruissellement intense entraîne facilement 50 t de terre/ha. Sans mesure de protection bien adaptée, ces champs connaîtront rapidement le régime hydrique torrentiel (accusant les extrêmes) et l'aspect navrant des « badlands » américains impropres à tout usage.

Les cultures développent une couverture végétale intermédiaire. Les différences entre les moyennes de leur érosion et de leur ruissellement est faible en regard des variations individuelles. Arachide et coton, deux plantes réputées pour leur mauvaise protection du sol, ont en moyenne des valeurs de ruissellement et d'érosion inférieures aux graminées qui ont d'ordinaire bien meilleure réputation. Ceci nous incite à croire qu'il y a encore de grands progrès à réaliser dans le domaine des techniques culturales.

Le cas du sorgho cultivé comme engrais vert est un exemple typique. Jusqu'en 1963, on considérait au Sénégal que, pour donner à l'engrais vert le temps de se décomposer convenablement, il fallait l'enfouir très tôt (mi-septembre ou même mi-août), si bien que le sol se retrouvait nu alors qu'il restait encore un tiers des pluies à tomber. Introduit dans la rotation quadriennale pour reposer le sol après trois années de culture industrielle (arachide-riz-arachide), il a remplacé plus ou moins avantageusement la jachère naturelle. On admet communément qu'il améliore les rendements de la culture suivante, mais les expériences en case d'érosion (HUDSON en Rhodésie du Sud) ont montré qu'il ne protégeait pas toujours aussi bien le sol contre l'action dégradante des pluies. Rien d'étonnant à cela si l'on a pu constater sur le terrain les différences de couverture végétale qu'implique une réussite plus ou moins complète de cette « culture ».

La jachère naturelle sur un sol pas trop épuisé, par contre, développe un couvert beaucoup plus régulier, car elle peut s'installer dès la fin de la récolte précédente.

N'est-ce pas un facteur primordial qui conditionne l'efficacité d'une méthode culturale destinée à régénérer le sol que de le protéger contre les actions dégradantes de l'eau météorique ?

L'étude de l'influence du rendement nous permet d'approcher sous un autre angle celui de la couverture végétale.

TABLEAU X
INFLUENCE DU RENDEMENT

Année	Pluvio. (mm)	Culture et mode	Ruiss. (%)	Erosion (t/ha)	Rende- ment
1956	1.148	Arachide.	18,2	4,62	1.948
			12,1	3,47	1.748
1960	1.302	Arachide : déchaumage.	25,2	3,59	2.660
			28,9	6,99	2.640
1961	1.185	Riz : déchaumage.	37,7	6,75	1.184
			36,4	10,84	872
Moyenne	1.212	Fort rendement.	27,1	5,00	1.931
		Faible rendement.	26,0	7,10	1.753

Nous ne disposons que de trois comparaisons mais elles confirment les hypothèses avancées précédemment : la couverture végétale a une influence peu décisive sur le ruissellement mais bien plus marquée sur l'érosion.

Si l'on sait que les valeurs 1960-1961 se suivent sur les mêmes parcelles, on aura un indice de l'influence du précédent culturel.

HUDSON, en Rhodésie du Sud, stigmatisait l'influence du rendement en disant qu'il avait perdu quarante fois plus de terre pour produire un sac de maïs en culture extensive qu'en culture intensive.

4) LES TECHNIQUES CULTURALES

L'agriculture moderne en Casamance, telle qu'on l'observe actuellement, trouve son origine dans l'engouement pour la monoculture de l'arachide après la guerre. La décroissance rapide des rendements de l'arachide amena l'agriculteur à introduire une année de repos et l'usage d'une rotation quadriennale. Comme l'alternance avec une graminée était favorable à l'arachide (légumineuse), on choisit pour la jachère le sorgho, qui fournit une grande masse de matière verte à enfouir, et le riz, qui apporte un appoint non négligeable de produit commercialisable.

On maintient de la sorte trois quarts de la surface en culture de rapport dont les deux tiers pour l'arachide.

a) CULTURE MÉCANISÉE OU TRADITIONNELLE.

Très rapidement, on a attribué à l'érosion la cause de la dégradation des rendements et l'on s'est posé la question de savoir si la mécanisation de l'agriculture en Afrique n'était pas incompatible avec la nature délicate des sols.

Le traitement extrêmement vigoureux qu'ont subi les sols de Séfa durant le défrichage (11 passages du tracteur) avant même leur mise en culture n'aura certes pas été bénéfique : décapage d'une bonne partie de l'horizon humifère par l'andainage et le planage, pulvérisation de la structure et tassement en profondeur, minéralisation intense des réserves humifères (20).

Le tableau XI nous montre très clairement que les méthodes traditionnelles de culture sont mieux adaptées aux conditions climatiques régionales que la culture utilisant les gros moyens mécaniques tels qu'on les a connus à Séfa jusqu'en 1963.

Pour la première fois, érosion et ruissellement moyens croissent parallèlement et cela malgré l'obtention de rendements plus élevés.

Il en va de même si nous comparons la jachère traditionnelle à l'usage du sorgho comme engrais vert. S'il est mené à bien, il produit une masse importante de matière organique dont l'enfouissement est rendu possible par l'usage du tracteur. Sans qu'on sache encore exactement pourquoi, l'enfouissement de cet engrais vert accroît sensiblement le rendement de la culture qui suit. Mais nous avons déjà fait remarquer (tableau IX) que la réussite de cette méthode était plus aléatoire que celle, plus rustique, de la jachère naturelle. Nous remarquerons d'ailleurs en comparant la culture et la jachère traditionnelles à la culture mécanisée et l'engrais vert que le champ de variation des valeurs de l'érosion et du ruissellement de ces derniers est bien plus large.

TABLEAU XI
CULTURE MÉCANISÉE OU TRADITIONNELLE

Année	Pluie (mm)	Pente (%)	Culture	Méthode	Ruiss. (mm)	Ruiss. (%)	Erosion (t/ha)	Rendement (kg/ha)
1954	1.303	2	Arachide	Traditionnelle	460,5	35,3	12,57	Néant
				Mécanisée	631,6	48,5	17,28	rosette
1956	1.265	2	Arachide	Traditionnelle	442,5	35,0	6,06	970
				Mécanisée	537,4	42,5	11,96	1.840
1957	971	2	Riz	Traditionnelle	216,9	22,3	6,93	Néant
				Mécanisée	244,8	25,2	9,73	termites
1958	1.336	2	Arachide	Traditionnelle	176,7	13,2	4,87	?
				Mécanisée	203,3	15,2	11,14	?
1959	812	2	Jachère Sorgho	Traditionnelle	114,3	13,7	2,03	
				Engrais vert	258,3	31,8	7,37	
1960	1.171	2	Arachide	Traditionnelle	220,3	18,8	5,35	1.900
				Mécanisée	430,5	36,8	12,15	2.850
1960	1.302	1,5	Arachide	Traditionnelle	352,4	27,1	7,30	2.580
				Mécanisée	375,5	28,8	6,98	2.120
1961	1.231	2	Riz	Traditionnelle	461,1	37,5	29,95	Néant
				Mécanisée	617,4	50,2	54,48	termites
1961	1.185	1,5	Jachère Sorgho	Traditionnelle	157,3	13,3	9,78	
				EV mécanisé	414,4	35,0	8,65	46 tonnes
1962	1.223	1,5	Jachère	Traditionnelle	228,3	18,7	1,85	
				Déchaumée	180,9	14,8	1,46	
Moyenne générale	1.180			1 traditionnelle	283,0	24,0	8,67	
				2 mécanisée	389,4	33,0	14,12	
Moyenne ..	1.275		Arachide	1 traditionnelle	330,5	25,9	7,23	1.817
				2 mécanisée	435,7	34,2	11,90	2.270
Moyenne ..	1.101		Riz	1 traditionnelle	339,0	30,8	18,44	Néant
				2 mécanisée	431,1	39,2	32,11	termites
Moyenne ..	999		Jachère Sorgho	1 traditionnelle	166,6	16,7	4,55	
				2 engrais vert	336,4	33,7	8,01	

Noter. Augmentation très sensible du ruissellement et de l'érosion causée par les méthodes culturales mécanisées actuelles (1963) malgré un meilleur rendement.

Reprenant le slogan de HUDSON : « Mieux vaut pas d'engrais vert qu'un engrais vert mal réussi », nous pourrions l'étendre en disant : « Mieux vaut conserver les méthodes traditionnelles que d'introduire des méthodes modernes sans les adapter ».

Faut-il en conclure une condamnation sévère de la mécanisation de l'agriculture sous les cieux tropicaux ? Nous ne le pensons pas, mais estimons plutôt que ces résultats doivent nous pousser à trouver des méthodes culturales mieux adaptées rendues possible justement par l'introduction de moyens modernes de mécanisation. S'il faut envisager sérieusement de diminuer le nombre de façons culturales et d'abandonner le matériel trop lourd pour des sols fragiles, que ce soit à l'avantage du petit matériel mis à la disposition du cultivateur africain pour augmenter sa production.

Actuellement, il faut envisager le problème sous l'angle économique, celui du développement de la production agricole du Sénégal. Or, l'analyse du calendrier agricole révèle l'existence de plusieurs goulots d'étranglement s'opposant à ce développement. L'un des plus importants est sans conteste la faible surface qu'un cultivateur (et sa famille) arrive à mettre en valeur. Étant donné le laps de temps très restreint qui lui est alloué pour préparer le lit de semence et ensuite entretenir ses champs, seule une mécanisation poussée lui permettra d'étendre son champ d'activité et d'accroître sa production.

De là découle l'intérêt des expériences mises en place dans les stations de recherche de l'IRAT* à Bambey et Séfa. Elles sont orientées vers la mise au point d'un petit matériel adapté à la traction animale et immédiatement vulgarisable. Elles amèneront tout naturellement l'agriculteur à s'associer à l'élevage.

L'introduction de graminées et de plantes fourragères supportant sept mois de saison sèche rendra possible le remplacement de la jachère naturelle (peu rentable) et de l'engrais vert (inadapté à la psychologie du paysan africain) par des pâturages temporaire (minimum deux ans) et des cultures fourragères (semées à la dérobée sous la culture précédente).

A la faveur de la mécanisation, il sera possible de répandre les techniques du billonnage cloisonné ou de la culture en planche qui résoudront le problème des eaux de pluie.

Il faut signaler en outre que, depuis 1963, les techniques culturales ont subi de sérieuses modifications à Séfa et que ces modifications ont apporté des améliorations très sensibles dans les rendements et le comportement du sol.

L'engrais vert est traité comme un fourrage annuel avec fauche à 20 cm du sol vers la fin août et enfouissement des repousses début octobre, donc tout à fait en fin de saison des pluies. Par ailleurs, une nouvelle technique, consistant à reporter les travaux de préparation du sol du début à la fin de la saison des pluies, est pratiquée avec succès : c'est la technique du labour de fin de campagne ou de fin de cycle. Celle-ci n'est praticable que sur les cultures dont le cycle végétatif est inférieur au cycle pluvio-métrique : maïs, riz, arachide. Elle assure un gain de précocité très appréciable pour les semis de la campagne suivante, ce qui se traduit par une meilleure protection du sol par le couvert végétal. La maîtrise de l'herbe est également mieux assurée et, en fin de compte, les rendements sont augmentés.

En outre, les instruments et méthodes habituelles de travail du sol (préparation, entretien, récolte) ont été améliorés.

Les derniers résultats obtenus sur cases d'érosion (rapports de campagne IRAT/Sénégal 1964 et 1965) traduisent cette évolution et illustrent bien la grande influence que peut avoir une bonne adaptation des techniques culturales dans la lutte contre l'érosion et le ruissellement.

b) STRIP CROPPING.

Cette méthode consiste à alterner cultures dégradantes et cultures protectrices sur un champ découpé en bandes parallèles aux courbes de niveau. La largeur des bandes sera telle qu'elle empêchera une concentration trop forte des eaux au bas de la parcelle mal couverte.

Bien souvent, le strip cropping suffit à contrôler l'érosion sur de faibles pentes : il est fréquemment utilisé en association avec d'autres méthodes (fossés de diversion, par exemple).

A Séfa, une erreur systématique introduite par une longueur de pente double de celle des autres parcelles vient masquer l'efficacité de la méthode.

En général, cependant (voir tableau XII), on peut dire que la valeur observée est située entre celles des monocultures voisines. Sur la parcelle en strip cropping, le ruissellement est franchement intermédiaire tandis que l'érosion tend à être égale ou supérieure à celle qui sévit sous la plante la plus dégradante.

* Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières.

TABEAU XII
MÉTHODE CULTURALE : LE STRIP CROPPING (SC)

Année	Pluie (mm)	Numéro	Culture et méthode	Ruiss. (mm)	Ruiss. (%)	Erosion (t/ha/an)	Rendements	
							Arachide	Riz
1955	1.340	p 3	Arachide + riz SC	295,9	22,1	11,44	1.780	1.760
		p 5	Arachide	240,9	18,0	16,30	1.780	
		p 4	Riz	313,5	23,4	6,31		2.140
1956 *	1.148	p 3 p 6	Arachide + sorgho EVSC	132,8 108,2	11,6 9,4	1,57 3,05	1.636 2.124	
1957	1.004	p 3	Arachide + sorgho EVSC	135,0	13,4	6,70	1.920	
		p 5	Arachide	123,9	12,3	6,72	2.020	
		p 4	Sorgho EV	161,0	16,0	2,63		
1958 **	1.484	p 3	Arachide + riz SC	268,1	18,0	28,08		
		p 4	Arachide	120,4	8,1	6,30		
		p 5	Riz	240,5	16,2	18,39		
1959	742	p 3	Arachide + riz SC	124,8	16,8	2,47		
		p 6	Arachide	127,7	17,2	4,07		
		p 4	Riz	134,5	18,1	2,17		
1960 *	1.302	p 3	Arachide + sorgho EVSC	227,6	17,5	4,52	2.580	
		p 4	Arachide, déchaumage	328,3	25,2	3,59	2.660	
1961	1.185	p 3	Riz + arachide SC	374,3	31,6	8,05	1.940	534
		p 4-5	Riz après déchaumage	438,9	37,0	8,82		1.184
		p 6	Arachide après déchaumage	470,0	39,7	5,24	1.720	
1963	1.279	p 3	Arachide + sorgho EVSC	240,9	18,8	7,83	2.160	
		p 4	Arachide après déchaumage	347,9	27,2	4,40	2.041	
		p 6	Sorgho EV après déchaumage	198,7	15,5	3,20		
Moy. (1) arachid. riz	1.041		Arachide, riz SC	210,4	20,2	6,96	1.780	1.760
			Arachide	184,3	17,7	10,19	1.780	
			Riz	224,0	21,5	4,24		2.140
Moy. (2) arachide EV	1.142		Arachide, sorgho EVSC	188,0	16,5	7,27		
			Arachide	235,9	20,7	5,56		
			Sorgho EV	179,9	15,8	2,92		
Moy. générale (3) ***	1.143	p 3	Strip cropping	218,8	19,1	6,08		
			Min	161,5	14,2	3,86		
			Moyen	249,4	21,8	5,55		
			Max.	292,5	25,6	7,23		

Noter. Malgré la longueur double de la parcelle n° 3, Erosion et Ruissellement sont restés égaux ou même inférieurs à ceux de la culture la plus dégradante.

* Pour mémoire.

** Valeur aberrante dont on n'a pas tenu compte en ***.

D'après leur tenue en culture alternée, nous pourrions établir le classement suivant :

Erosion : E sous sorgho engrais vert < E sous riz < E sous arachide.

Ruissellement : R sous sorgho engrais vert < R sous arachide < R sous riz.

c) LES ROTATIONS.

L'assolement que le strip cropping réalise dans l'espace, le système de rotation doit le réaliser dans le temps sur la même parcelle.

On pourrait représenter chaque parcelle comme une table à différents niveaux et garnie de mets variés. Chaque plante a ses besoins propres et les assouvit à des niveaux caractéristiques suivant la structure de son système racinaire et l'architecture de ses organes aériens. Il est donc logique de penser qu'il existe des successions de plantes plus favorables que d'autres, tant sur le plan de la production que sur celui de la conservation du sol. En Casamance, la succession graminée-légumineuse s'est imposée très rapidement : encore fallait-il définir le type de graminée et la fréquence de régénération du sol. Actuellement, on tend à introduire une dominance de graminées (ex. : maïs, arachide, riz, mil).

Pour étudier rationnellement la valeur d'une rotation en cas d'érosion, il est nécessaire de disposer d'autant de cases que d'années que comprend la rotation et de répéter celle-ci dans l'espace et dans le temps. On aboutit à une disposition en carré latin permettant d'écarter les variabilités dues à l'hétérogénéité des parcelles et à la complexité des pluies. Mais, si l'on veut comparer deux rotations, on est amené à répéter l'expérience un nombre d'années égal au plus petit commun multiple des deux rotations. Il faudra, par exemple, mobiliser sept parcelles pendant douze ans pour comparer rationnellement une rotation quadriennale à une rotation triennale.

A Séfa, aucune répétition n'a pu être faite ni dans l'espace ni dans le temps, si bien que l'effet propre à une succession particulière des plantes dans les rotations étudiées est masqué par la variabilité de l'érosivité des pluies annuelles.

A titre indicatif, nous avons rassemblé face à face les valeurs obtenues pour quelques rotations ; toutes sont basées sur le principe de l'alternance graminée-légumineuse.

TABLEAU XIII
ROTATIONS SUR LES PARCELLES N^{os} 7 ET 8

Culture	Année	Pluie (mm)	Ruiss. (mm)	Ruiss. (%)	Erosion (t/ha)	Rendement (kg/ha)
Sorgho EV	1955	1.340	377,1	28,1	14,18	
Jachère			157,9	11,8	10,14	
Arachide	1956	1.148	208,8	18,2	4,62	1.948
Arachide			139,0	12,1	3,47	1.748
Riz	1957	1.004	205,8	20,5	9,52	800
Sorgho grain			244,9	24,4	13,40	1.500
Arachide	1958	1.484	197,9	13,3	7,56	
Arachide			223,7	15,0	13,36	
Riz	1959	742	243,4	32,8	5,95	
Mil			195,8	26,4	8,10	
Première totation	Moyenne	1.144	246,6	21,6	8,37	
Deuxième rotation			192,3	16,8	9,69	

La tableau XIII porte sur deux rotations quinquennales dont l'une est de type moderne à but commercial et l'autre plus traditionnel comportant la moitié de la surface en culture vivrière familiale. Le sorgho grain semble avoir mal protégé le sol et cette dégradation aurait fortement influencé les cultures suivantes. De même, le sorgho utilisé comme engrais vert a moins bien protégé le sol que la jachère traditionnelle et cet effet s'est encore ressenti l'année suivante malgré un meilleur rendement de l'arachide.

Globalement, nous pourrions dire que l'on peut envisager avec optimisme la culture industrielle alternant le riz et l'arachide à condition d'y apporter le minimum d'engrais nécessaire pour maintenir une bonne végétation et d'introduire de loin en loin une phase de repos encore à définir.

TABLEAU XIV
ROTATIONS QUADRIENNALES DE TYPE TRADITIONNEL OU MÉCANISÉ SUR LES PARCELLES N^{os} 1 ET 2

Culture	Année	Pluie (mm)	Ruiss. (mm)	Ruiss. (%)	Erosion (t/ha)	Rendement (kg/ha)
Jachère naturelle	1959	812	114,3	13,7	2,03	
Sorgho EV			258,3	31,8	7,37	
Arachide traditionnelle	1960	1.171	220,3	18,8	5,35	1.900
Arachide après déchaumage			430,5	36,8	12,15	2.850
Riz traditionnel	1961	1.231	461,1	37,5	29,95	Néant
Riz après déchaumage			617,4	50,2	54,48	termites
Arachide traditionnelle	1962	1.084	247,3	22,8	2,91	1.025
Coton après déchaumage			452,8	42,7	18,52	266

Le tableau XIV compare deux rotations quadriennales dont l'une est de type traditionnel tandis que l'autre tente d'introduire avec la culture mécanisée une nouvelle plante industrielle : le coton.

Sorgho engrais vert et coton ont mal protégé le sol, mais l'anéantissement de la culture de riz par les termites a forcé à l'extrême les résultats. Ceci souligne le danger que fait courir la mécanisation si l'on n'adapte pas soigneusement les méthodes de culture.

TABLEAU XV
ROTATIONS TRIENNALES ET QUADRIENNALES

Culture	Année	Pluie (mm)	Ruiss. (mm)	Ruiss. (%)	Erosion	Rendements
Sorgho EV	1955	1.340	160,6	12,0	7,46	
Arachide			240,9	18,0	16,30	1.780
Arachide	1956	1.148	108,2	9,4	3,05	2.124
Riz			244,4	21,3	6,47	800
Riz mécanisé	1957	1.004	216,3	21,5	6,43	950
Arachide			123,9	12,3	6,72	2.020
Sorgho EV	1958	1.484	166,9	11,2	22,71	?
Riz			240,5	16,2	18,39	?
Somme des quatre années ..	Première rotation		652,0	13,1	39,65	Arach. < 2.124
	Deuxième rotation		849,7	17,1	47,88	Riz < 3.800

Le tableau XV établit la comparaison d'une rotation quadriennale classique à une rotation ramentant tous les trois ans le sol au repos. La rotation triennale semble incontestablement moins dégradante et sa production par année supérieure à celle de la rotation quadriennale.

Il faut cependant remarquer qu'en quatre ans la rotation triennale n'a eu que deux récoltes tandis que l'autre en a rapporté quatre. Par kg de riz ou d'arachide produit, on compte une perte de terre de 12,9 kg pour la rotation triennale et de 8,9 kg pour la quadriennale (ne disposant pas des rendements en 1958, nous l'avons estimé à 800 kg de riz).

Notons aussi l'avantage que l'on retire en commençant la rotation par une année de « stabilisation » du sol plutôt que par une culture dégradante comme l'arachide. C'est ainsi qu'à Séfa, l'AUUCK avait fortement conseillé de mettre en place l'année qui suit le défrichement, une culture de graminée à forte croissance, à la fois pour permettre au sol de refaire sa structure et pour ne pas perdre par lessivage le produit de la minéralisation brutale de l'humus.

De tout ceci, nous pouvons retenir que, par son influence sur le rendement et sur l'état du sol, le précédent cultural est un facteur non négligeable en conservation du sol et de l'eau.

d) JACHÈRE ET ENGRAIS VERT, CULTURE DÉROBÉE.

Il ne serait pas utile de revenir sur le problème de la jachère et des engrais vert s'il ne touchait directement celui de la matière organique.

Il est bien connu que le taux de matière organique dans le sol descend très rapidement après le défrichage avant d'atteindre un niveau très bas où il est en équilibre avec la végétation qui y pousse. Or, outre son rôle d'échangeur de cations, il augmente l'efficacité des engrais et si l'on veut accroître les rendements par l'usage des engrais minéraux, il faut aussi maintenir le taux de matière organique à un niveau convenable.

Dans le cadre de l'agriculture traditionnelle, la jachère apportait matière organique et minéraux nutritifs. En agriculture intensive, on ne peut pas laisser la terre au repos pendant de nombreuses années. De là l'idée d'intensifier la jachère en la cultivant pour y produire un gros tonnage de matière verte. FAUCK a calculé que l'enfouissement de 50 t/ha d'engrais vert constitue un apport de 0,3 % de matière organique dans une tranche de sol épaisse de 20 cm (PORTÈRES et FAUCK, 1963).

Cette augmentation de matière organique non négligeable est malheureusement très fugace étant donné son instabilité et son faible taux d'humification. Il se traduit généralement par une augmentation du rendement, de la perméabilité (du moins au début des pluies) et de la structure du sol.

L'origine de ces améliorations n'est pas encore complètement élucidée et les faibles différences enregistrées dans un essai d'engrais vert enfoui, fauché et laissé sur place ou exporté nous laissent perplexes.

A la suite aux nombreuses observations effectuées à Bambey et Séfa, CHARREAU (16) propose de classer les causes de l'action de l'engrais vert de la façon suivante :

Causes principales :

le développement végétatif abondant d'un engrais vert « réussi » est un gage de protection du sol contre l'érosion et le ruissellement ;

le chevelu racinaire très abondant propre aux graminées améliore la structure du sol ;

le labour profond nécessaire pour enfouir l'abondante matière verte à la fin de la saison des pluies ameublisse de façon durable l'horizon superficiel.

Cause secondaire :

l'incorporation de la matière verte aurait, selon certains, une action favorable sur la microfaune du sol ; selon d'autres, au contraire, l'excitation des microorganismes du sol entraînerait une accélération de la destruction des humus « stables » du sol.

A Bambey, on tend à penser que l'incorporation de la matière verte a un effet bénéfique sur la matière humique du sol.

TABLEAU XVI
PRÉCÉDENT CULTURAL

Culture	Sorgho EV	Jachère tradit.	Sorgho EV	Jachère tradit.	Sorgho EV	Riz
Année	1955	1955	1959	1959	1959	1959
Pluviométrie (mm)	1.340	1.340	812	812	742	742
Ruiss. (%)	28,1	11,8	31,8	13,7	15,3	18,1
E (t/ha)	14,18	10,14	7,37	2,03	3,01	2,17
Culture	Arachide	Arachide	Arachide	Arachide déch.	Arachide déch.	Arachide déch.
Année	1956	1956	1960	1960	1960	1960
Pluviométrie (mm)	1.148	1.148	1.171	1.171	1.302	1.302
Ruiss. (%)	18,2	12,1	36,8	18,8	28,9	25,2
E (t/ha)	4,62	3,47	12,15	5,35	6,99	3,59
Rendement	1,948	1,748	2,850	1,900	2,640	2,660

Du point de vue de la conservation des sols, les résultats obtenus sur les cases d'érosion ne sont pas en faveur de l'usage, tel qu'il était fait jusqu'ici, du sorgho comme engrais vert (voir tableaux XV et XVI). En effet :

l'influence qu'il exerce sur la culture suivante, quand on la constate positive, est très fugace ;

dans la majorité des cas, l'action favorable sur la culture suivante se borne à une augmentation du rendement (pas d'action durable sur l'érosion) ;

comparée à une année de jachère traditionnelle non seulement la culture de l'engrais vert laisse s'échapper une grande quantité de terre, d'eau et de minéraux, mais son arrière effet protecteur sur la culture suivante est moindre lui aussi ;

il n'est même pas sûr que l'arrière effet du sorgho engrais vert soit supérieur à celui d'une plante cultivée et commercialisable (riz).

Dès la récolte, avant même la fin de la saison des pluies précédente, la jachère naturelle peut s'installer et couvrir le sol. Elle offrira déjà une certaine protection contre les premières tornades et n'aura aucune peine à redémarrer.

Le sorgho, au contraire, exige une certaine humidité dans le sol avant d'être semé et laisse celui-ci à découvert pendant plus d'un mois : celui qui voit le plus d'érosion.

De plus, pour réussir une « culture » de sorgho comme engrais vert, il s'agit de « cultiver » le champ avec autant de soin que les cultures de rapport. Etant donné son calendrier agricole, très chargé entre le 15 juin et le 15 juillet, l'agriculteur aura nécessairement tendance à négliger cette culture : mise en place dans de mauvaises conditions, elle risque bien de devenir plus dégradante que les autres.

Enfin, pour permettre à la matière verte une bonne humification (et pour répartir plus harmonieusement les travaux culturaux), il était courant à Séfa de l'enfouir à partir de la mi-août alors même que les pluies les plus abondantes n'étaient pas encore tombées.

Dans le cadre traditionnel, le sol est régénéré par une jachère qui dure plusieurs années. Est-il inutile de laisser le sol en repos pendant plus d'un an ?

TABLEAU XVII
DURÉE DE LA JACHÈRE

Parcelle numéro	7	8
Année	1961	1961
Culture	Sorgho EV	Jachère tradit.
Pluviométrie (mm) ...	1.185	1.185
Ruissellement (%)	35,0	13,3
Erosion (t/ha)	8,65	9,78
Année	1962	1962
Culture	Jachère déchaum.	Jachère tradit.
Pluviométrie (mm) ...	1.223	1.223
Ruissellement (%)	14,8	18,7
Erosion (t/ha)	1,46	1,85

Note. Ce n'est que la seconde année que la jachère est bien installée : ce n'est qu'alors qu'elle commence à être vraiment efficace.

L'exemple du tableau XVII montre bien que, sur un sol dégradé, il faut plus d'un an avant que la jachère soit bien installée et que l'apport de matière organique cesse d'être anéanti par les pertes simultanées causées par l'érosion. Il y a donc un choix à faire entre deux techniques (HUDSON) :

exploiter le sol jusqu'à épuisement puis le laisser pendant plusieurs années au repos ;
arrêter l'exploitation du sol avant qu'il ne soit trop difficile à la végétation naturelle de reprendre vigoureusement.

De ces observations, on pourrait tirer les principes de nouvelles méthodes à adopter :

cultiver la jachère afin d'augmenter sa production de matière végétale (apport d'engrais minéraux de base) et son enracinement ;

trouver une plante qui, semée à la dérobée* vers la mi-août, puisse supporter la rigueur de huit mois de sécheresse et couvrir le sol dès les premières pluies ;

laisser pendant plus d'un an cette « jachère cultivée » là où le sol est trop épuisé.

Le ley-farming nous semble une direction de recherche particulièrement intéressante à adopter dans un pays où l'on cherche à associer culture et élevage. En effet, l'agriculteur africain comprendra beaucoup plus facilement l'intérêt de cultiver un fourrage qui nourrira son bétail tout en régénérant la structure du sol plutôt que d'enfouir une culture de sorgho juste avant qu'elle ne porte sa récolte. Pour rehausser de façon appréciable et durable le niveau de productivité du sol, les prairies temporaires devraient durer au moins deux années.

Les nouvelles techniques du labour d'automne et de la culture du sorgho comme engrais vert semblent particulièrement intéressantes, car elles comportent de nombreux avantages et éliminent bien des inconvénients signalés ci-dessus :

conçue dans le cadre d'une association de l'élevage à la culture, la culture du sorgho comme engrais vert comporte une récolte de fourrage intéressante tant sur le plan qualitatif que quantitatif (élément psychologique très important) ;

la fauche à environ 15 cm, vers la mi-août, permet au sorgho de repartir vigoureusement sans lignification des tiges tout en évitant de laisser le sol à nu ;

l'enfouissement facile d'une quantité raisonnable de paille évite le soufflement du sol tout en lui servant de support s'il reçoit encore de la pluie ;

les regains enfouis forment un milieu très favorable à la pullulation des micro-organismes qui donnent au sol une structure en « mie de pain » ;

la stabilisation de la structure, une excellente porosité et la formation d'agrégats sont obtenues par l'effritement des grosses mottes de fin de cycle au cours des sept mois de saison sèche.

En résumé, cette méthode apporte une remède très efficace à la dégradation des sols dans le cadre des exploitations agricoles modernes de Casamance.

e) FORÊT BRÛLÉE OU PROTÉGÉE.

Il y a finalement peu de différence quantitative entre le ruissellement et l'érosion sous forêt, qu'elle soit brûlée ou non, en regard de celle qu'on enregistre après déforestation.

La forêt, même dépouillée de ses feuilles, garde une certaine capacité de couverture du sol (estimée parfois à 40 %) mais surtout démarre très rapidement aux premières pluies alors que le champ doit être labouré, semé et attendre un bon mois avant d'être protégé par la culture.

TABLEAU XVIII
FORÊT BRÛLÉE OU PROTÉGÉE

Année Pluvio- métrie ..	1959		1960		1961		1962		1963		Moyenne depuis 1956 1.138 mm	
	768 mm		1.272 mm		1.129 mm		1.219 mm		1.251 mm			
Traitement	Brûlée	Protégée	Brûlée	Brûlée	Brûlée	Protégée	Brûlée	Protégée	Brûlée	Protégée	Brûlée	Protégée
R (%)	0,65	0,52	1,15	1,52	1,34	1,18	0,8	1,1	1,23	1,14	1,16	1,00
E (t/ha) ..	0,084	0,051	0,24	0,30	0,19	0,22	0,021	0,023	0,51	0,12	0,224	0,104

A Séfa, nous ne possédons pas de chiffres concernant la qualité de l'eau et des matériaux emportés. Il est pourtant très probable que le lessivage des minéraux soit plus important là où le feu a brûlé brutalement la matière organique, d'autant plus que le ruissellement y est plus fort.

Il est intéressant de noter qu'en 1960 la parcelle protégée depuis le début des expériences fut brûlée par accident. Ce n'est que la quatrième année que ruissellement et érosion sont redescendus à des valeurs inférieures à celles de la forêt brûlée annuellement. Sans doute le feu a-t-il été beaucoup plus brutal dans cette parcelle où la matière organique s'était accumulée durant plusieurs années.

* Plante semée à la dérobée, c'est-à-dire semée entre les rangs de la plante cultivée cette année-là mais lorsque cette dernière est suffisamment développée pour ne pas souffrir de la concurrence. On pourrait citer l'exemple européen du trèfle semé lorsque le blé a tallé et qui ne développe son système aérien qu'après la récolte du blé.

Dans ces régions où il est extrêmement difficile d'éviter les feux de brousse « accidentels », il serait donc préférable de les diriger. Un feu précoce allumé en fin de saison des pluies court à la surface du sol sans détruire la végétation vivante qui reprendra sans attendre les premières pluies.

Le rôle le plus visible du feu sur la forêt est d'exercer une sélection très caractéristique des espèces végétales qui y croissent (22).

Si on arrivait à faire disparaître totalement l'usage du feu dans la forêt casamançaise, il est certain qu'elle changerait radicalement d'allure. Sa densité augmenterait très sensiblement au point d'exclure les populations graminéennes et son architecture serait beaucoup moins noueuse et rabougrie. La forêt intégralement protégée depuis de longues années à la station de Djibélor (près de Ziguinchor) en est une preuve éclatante.

Il faut cependant reconnaître que, si son usage abusif et répété peut présenter des inconvénients pour la conservation des eaux et du sol, le feu est en fait le seul moyen actuellement à la disposition de l'Africain pour maîtriser la végétation surabondante en cette région, établir ses cultures et maintenir une proportion d'herbe suffisante pour nourrir son troupeau.

f) AUTRES TECHNIQUES CULTURALES.

Il existe toute une panoplie de techniques culturales qui ont un rôle plus ou moins efficace en conservation de l'eau et du sol. En dehors de celles qui ont été expérimentées à Séfa, nous n'en discuterons que les plus essentielles.

LE BUTTAGE* est une technique parfois nécessaire (manioc, igname) mais néfaste, car elle augmente la pente moyenne du terrain, offre une plus grande surface à l'agressivité des pluies et rassemble les eaux de ruissellement en filets possédant leur force érosive propre.

Pour remédier à ces inconvénients, il suffit de maintenir entre les buttes une légère dépression (= buttes cloisonnées) où iront se déposer les produits de l'érosion ou encore de pailler légèrement le sommet des buttes.

LE BILLONNAGE présente les mêmes inconvénients que le buttage si on ne prend le soin d'orienter les billons parallèlement aux courbes de niveau. Excellente méthode qui permet d'arrêter tout transport des matériaux érodés en assurant la conservation totale des eaux de pluie.

Il évite à la plante de souffrir de l'engorgement momentané du sol et au sol de voir sa structure dégradée.

Un cloisonnement des billons tous les 5 m empêche le rassemblement des eaux de surface dans les petites dépressions (anciens emplacements des souches). Le limonage répété de ces eaux arrive à former un horizon imperméable très néfaste à la production.

Si l'on craint un glissement de terrain ou encore que le sol n'arrive pas à absorber toute l'eau des plus fortes pluies, on peut prévoir une pente de 0,5 % suffisante pour éviter la rupture des billons et évacuer les excès d'eau dans un drain aménagé à cet effet.

Nous avons pu observer que cette méthode était déjà partiellement utilisée dans l'agriculture traditionnelle et semblait convenir parfaitement à la culture intensive du maïs.

LE PAILLAGE stoppe pratiquement ruissellement et érosion, car il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie et maintient une excellente structure et une bonne porosité à la surface du sol.

Quoique quelques centimètres de paillis suffisent, l'obstacle majeur à la généralisation de cette technique consiste en la difficulté de s'en procurer et de lutter contre les mauvaises herbes sans machines spécialement adaptées.

La pratique d'un paillage léger n'est certes pas applicable à toutes les cultures, mais son extension pourrait s'envisager à :

- la protection du sol durant la levée des semis (grosses graines) ;
- la protection des buttes et billons avant qu'ils ne soient couverts par la culture.

LES CULTURES DÉROBÉES. Nous avons déjà observé qu'un des avantages de la jachère sur la culture du sorgho comme engrais vert était d'occuper le sol avant la saison sèche et de démarrer très rapidement dès le début de la saison des pluies suivantes.

* Notons qu'il s'agit ici de la construction d'une butte conique sur laquelle on plante une ou plusieurs graines (ou boutures) et non du pseudo-billonnage souvent réalisé en culture arachidière au Sénégal.

D'autre part, il existe des légumineuses (*Flemingia congesta*) qui ne développent pas en première année un couvert abondant mais bien un système racinaire très profond. N'y aurait-il pas lieu d'envisager leur semis au milieu de la saison des pluies entre les rangs d'arachide ?

Le problème est de trouver les variétés de plantes possédant des qualités fourragères intéressantes, régénérant bien le sol et par-dessus tout capables de résister à sept mois de saison sèche et de redémarrer rapidement dès les premières pluies.

D) Bilan des phénomènes d'érosion.

1) COMPARAISON AVEC LE SOL EN PLACE

Nous ne possédons pas de résultats d'analyse du sol des cases d'érosion avant leur établissement mais nous pouvons supposer qu'il ressemble aux sols correspondants sous couvert forestier étudiés par FAUCK dans la région (20).

Les phénomènes d'érosion *sensu stricto* ne s'adressent qu'à la surface du sol ou tout au plus à la profondeur du sol remué par les travaux culturaux : c'est pourquoi nous pouvons comparer les résultats de l'analyse des éléments arrachés par l'érosion et ceux des 15 premiers centimètres (voir tableau XIX).

En moyenne (huit parcelles cultivées pendant dix ans), pour une pluviométrie de 1.196 mm, 26,1 % de l'eau de pluie ont ruisselé chaque année à la surface du sol en déplaçant 9,26 t de terre par hectare et par an. La surface du sol a ainsi été délavée par le passage de 3.120 m³ d'eau et 0,6 mm de profil ont été décapés (1 mm/ha = 10 m³ = 15 t de terre).

L'amplitude des extrêmes (décapage de 0,5 cm à 0,03 mm et ruissellement de 100 à 7.500 m³/ha par an) nous donne une estimation de l'efficacité du couvert végétal et des méthodes culturales des différentes cultures. Elle nous permet d'être très optimiste dans la recherche de techniques culturales adaptées à une exploitation intensive du patrimoine agricole, sans pour autant le dilapider ni le détériorer. La forêt, bien sûr, est le moyen le plus efficace pour conserver les richesses de la terre et de l'eau mais, face au développement démographique, elle ne peut indéfiniment garder enfoui son trésor convoité : la richesse du sol, l'abondance de l'humidité.

TABLEAU XIX

EROSION PHYSIQUE ET CHIMIQUE SOUS CULTURE À SÉFA
(Moyennes de huit parcelles pendant dix ans)

Eléments	Terre érodée (9.260 kg/ha)		Sol forest. en place (0-15 cm)	
	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)
Argile	9,5	880	8 à 15	
Limon	4,7	435	0 à 6	
Sable fin	64,3	5.954	40 à 53	
Sable grossier	20,1	1.861	25 à 40	
Na ₂ O	0,0012	0,111	0,0037 à 0,0050	60
K ₂ O	0,0024	0,222	0,0075 à 0,0432	375
CaO	0,0233	2,158	0,0308 à 0,1092	1.050
MgO	0,0078	0,722	0,0100 à 0,0390	375
Matière organique	1,35		1,6 à 2,2	
Fe ₂ O ₃			1,6 à 2,4	
P ₂ O ₅			0,0045	
N	0,135		à 0,0085	

Nos connaissances actuelles nous permettent d'assurer qu'il existe des techniques culturales très bien adaptées à la conservation de l'eau et du sol.

Dès lors, la lutte contre l'érosion débouche du domaine de la conservation des eaux et forêts où il était trop étroitement enfermé dans celui d'une agriculture scientifiquement planifiée.

LA GRANULOMÉTRIE des éléments érodés se situe en gros dans la moyenne de celle obtenue dans les 15 cm. supérieurs d'un sol beige sous forêt en place. On peut cependant relever une légère augmentation des éléments fins, en particulier des sables fins par rapport aux sables grossiers. Cette tendance ira en s'accroissant au cours des années (voir tableau XX).

Si l'on fait un bilan annuel des départs de terre sans tenir compte des éléments fins en suspension, on ne peut mettre en évidence le phénomène d'érosion préférentielle des petites particules (argile + limon). Mais, si l'on évalue le poids moyen des éléments solides contenus dans la suspension à 0,5 g au litre, le pourcentage des éléments fins (A + L) érodés s'élève à 28,6 % tandis qu'il ne dépasse pas 21 % dans les 15 premiers centimètres du sol en place sous forêt.

La fine pellicule de sable grossier que l'on peut observer dès que le sol s'est tassé après les façons culturales provient de l'action sélective de la fin des pluies dont l'intensité est généralement faible. Parallèlement à l'intensité de la pluie, le ruissellement baisse et sa compétence (diamètre des plus grosses particules transportées) est restreinte aux fines particules. Vient ensuite une pluie violente, un ruissellement très abondant et la fine pellicule de sable grossier (libéré par l'effet splash et lavé du ciment qui les agglomérerait) disparaît.

Finalement, il n'en résulte pas moins qu'un grand nombre de sols tropicaux sont appauvris en éléments fins en surface. Pour l'expliquer, on peut avancer deux hypothèses :

soit lessivage vertical ou oblique de l'argile ;

soit érosion en nappe s'adressant préférentiellement aux éléments fins avec homogénéisation partielle par la faune.

LA RICHESSE EN BASES de la terre érodée est très nettement inférieure à celle de la terre en place. Cela provient du fait que l'érosion ne s'adresse qu'aux tout premiers centimètres du sol qui sont soumis à une lixiviation intense par le ruissellement.

Nous ne possédons pas assez d'informations sur les qualités chimiques des eaux ruisselées pour nous risquer à un bilan. Il en ressort cependant que tous les cations ne sont pas lixiviés avec une égale intensité ($\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$). Ce phénomène sélectif est en relation étroite avec l'énergie de fixation des cations sur le complexe absorbant : il est utilisé pour la mise en valeur des terres salées. Etant donné les énormes masses d'eau (3.120 m^3) qui lèchent la surface du sol, il semble que c'est au ruissellement qu'il faille attribuer les plus fortes pertes chimiques, surtout si on tient compte des argiles, limons et matières organiques en suspension.

LA MATIÈRE ORGANIQUE emportée par la terre érodée correspond assez bien à celle du sol en place si l'on veut bien se rappeler qu'un sol forestier une fois cultivé minéralise très rapidement ses matières organiques.

Il faut signaler de plus qu'on n'a aucune estimation de la matière organique en solution (acides fulviques) ou en suspension dans ou sur l'eau de ruissellement (acides humiques ou débris organiques flottant en surface).

Cette matière organique emportée par le ruissellement constitue aussi un complexe absorbant appréciable (en moyenne trois à quatre fois plus fort que celui des colloïdes minéraux).

Puisque l'analyse des eaux se fait après filtration, les cations fixés sur ce complexe n'ont pas été comptabilisés.

LE FER solubilisé dans l'eau de ruissellement après avoir à peine parcouru 250 m n'est pas négligeable. Il s'accumule en si fortes proportions au bas des pentes que, dans les rizières irriguées, il forme un film continu à la surface de l'eau et devient toxique.

2) EVOLUTION AU COURS DE LA SAISON DES PLUIES

Nous avons fait remarquer que tant que la culture ne recouvre pas complètement le sol, l'érosion est importante. Le sol étant desséché, le ruissellement au contraire est faible au début de la saison des pluies : il s'accroît au fur et à mesure que le profil est saturé.

La teneur en bases de l'eau de ruissellement évolue en sens inverse. Les premières eaux qui roulent à la surface du sol se chargent des sels minéraux que l'évaporation y a déposés durant la saison sèche. Le pH peut être basique. Puis, les eaux échangent des ions H^+ avec le complexe absorbant et lessivent l'horizon superficiel. Mais l'énergie avec laquelle le complexe retient ses cations augmente à mesure que leur densité diminue. A la fin de la saison des pluies, le nombre de cations disponibles a considérablement baissé tandis qu'en même temps la proportion d'eau courant à la surface croît. La charge minérale baisse très rapidement durant le premier mois, puis se stabilise. Elle peut même remonter légèrement après la récolte lorsque le sol a été remué et offre une nouvelle surface moins délavée.

3) EVOLUTION AU COURS DES ANNEES DE CULTURE

Nous ne possédons pas, à Séfa, d'analyse comparant la richesse minérale du sol au cours des années de culture. Sans grand risque, nous pouvons dire que le sol va s'appauvrissant d'année en année, au point qu'il est difficile d'y faire venir une culture quelconque, fût-elle régénératrice. Seules les plantes adventives très frugales arrivent à s'y installer, finissent par couvrir le sol, l'améliorent quelque peu, puis laissent la place à d'autres espèces qui, à leur tour, vont l'élever à un niveau de fertilité supérieur.

En culture intensive, la fumure minérale et organique permet à la plante cultivée de trouver à sa portée les éléments qui lui sont indispensables.

Nous avons déjà noté que les rendements n'ont guère baissé sur les cases d'érosion, malgré dix années de culture presque continue.

TABLEAU XX

COMPARAISON DES RÉSULTATS ANALYTIQUES DES TERRES ÉRODÉES EN 1954 ET 1957

Matériaux érodés	1954 (%)	1957 (%)
Matière organique	1,35	1,17
Argile	9,5	14,3
Limon	4,7	8,5
Sable fin	—	57,5
Sable grossier	—	18,0
Sables totaux	84,4	75,5

En 1957, on a procédé à l'analyse de la granulométrie et de la matière organique d'une soixantaine d'échantillons de terre érodée.

Il en ressort (tableau XX) un appauvrissement en matière organique et en sables, un enrichissement en éléments fins. Cela provient de la minéralisation de l'humus et du mélange intime de la couche travaillée. Si le sol s'érode, les pièces travaillantes des instruments aratoires fouillent des horizons plus profonds du profil initial et portent à la surface des éléments plus argileux.

Cet enrichissement en argile des horizons superficiels est très classique sur les versants pentus.

4) VARIABILITE DES PHENOMENES D'EROSION EN FONCTION DES CULTURES

Chaque culture a ses méthodes culturales classiques, sa façon et sa vitesse de recouvrir le sol. Il s'ensuit une variabilité quantitative et qualitative de l'érosion.

De Séfa, nous ne pouvons présenter que la comparaison de 44 échantillons de terre provenant de deux parcelles en 1954 et 1955.

La première parcelle, cultivée suivant les méthodes traditionnelles, a vu sa récolte d'arachide anéantie par la rosette en 1954, après quoi on l'a remise en jachère naturelle.

La parcelle n° 2, cultivée mécaniquement, a souffert deux années de suite de la destruction de la récolte (arachide en 1954 ; riz en 1955) (voir tableau XXI).

On peut remarquer les liens entre les quantités de terre érodée et le pourcentage de matériaux fins, de bases et de matière organique. Puisque ces parcelles sont situées côte à côte, on ne peut incriminer une hétérogénéité du terrain au départ. Nous pensons qu'il s'agit d'une différence d'efficacité relative de l'effet décapage et de l'effet lessivage suivant le couvert et la structure du sol, mais il nous manque des éléments pour le prouver.

TABLEAU XXI

EROSION SUR LES PARCELLES N°S 1 ET 2, EN 1954-1955
(Moyennes de 44 échantillons)

	Parcelle I	Parcelle II
Pluviométrie reçue en 1954-1955	2.698	2.698
Ruissellement 1954-1955 (mm)	760,5	1.372,1
R (%)	28,2	50,8
Erosion 1954-1955 (t/ha)	18,18	48,26
TERRE ÉRODÉE :		
Argile (%)	9,5	24,8
Limon (%)	4,7	14,7
Sables totaux (%)	84,4	57,4
TERRE ÉRODÉE :		
Na ₂ O (%)	< 0,0012 (1)	< 0,0014
K ₂ O (%)	0,0024 (1)	0,0044
CaO (%)	0,0233	0,0368
MgO (%)	0,0078 (2)	0,0150 (2)
Matière organique (%)	1,35	2,74

Notes :

(1) On a compté 0,0010 ce qui était en fait < 0,0010 %.

(2) On a compté 0,0050 ce qui était en fait < 0,0050 %.

CONCLUSIONS

Malgré la valeur inégale des résultats présentés dans ce travail de synthèse, nous nous sommes laissés tenter par un certain nombre de conclusions.

Nos connaissances, il est vrai, ne sont pas limitées aux seules expériences de Séfa et c'est en tenant compte des résultats obtenus dans une douzaine de pays africains d'expression française et anglaise (et surtout aux Etats-Unis) que nous avons souligné certaines observations plutôt que d'autres, ou encore tiré telle ou telle conclusion.

Les sols de Séfa sont sensibles à l'érosion dès les plus faibles pentes (1 %). Le lessivage en fer et en argile est de nature à aggraver les pertes en eau et en terre de ces sols ferrugineux à texture finement sableuse et à structure instable.

On attribuait généralement les dégâts causés par l'érosion au décapage de l'horizon superficiel du sol et du dépôt des éléments grossiers en contre-bas (colluvions).

Le seul responsable de la chute des rendements des cultures était le phénomène physique d'arrachement de la couche la plus riche du sol.

Il faut aujourd'hui insister sur l'aspect chimique des phénomènes d'érosion et en particulier sur l'importance de la lixiviation des minéraux par les eaux de ruissellement au début de la saison des pluies.

L'agronome ne peut se désintéresser de cet aspect puisqu'il entraîne l'obligation d'un apport supplémentaire d'engrais pour maintenir le potentiel de production de ses champs.

L'érosion ne peut s'expliquer totalement par le ruissellement. Dans le cas d'une érosion en nappe, il n'est que l'agent transporteur des particules détachées des agrégats du sol par l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Cette dernière est, par contre, très liée avec le ruissellement puisqu'elle contribue à sa naissance en réduisant la perméabilité du sol (destruction de la structure par l'effet « splash ») et que, d'autre part, elle entre en corrélation étroite avec l'intensité de la pluie (intensité maximum durant trente minutes).

La lutte contre l'érosion devra donc s'articuler avant tout autour de la couverture végétale du sol et sa protection durant les périodes où les pluies sont les plus agressives. Une fois arrêté le choix de la plante cultivée, les techniques culturales peuvent encore intervenir d'une façon décisive. Mal adaptées, elles vont laisser s'exprimer les défauts de la couverture végétale et même les aggraver. Bien adaptées, les techniques culturales pallieront les défauts naturels de couverture de la plante cultivée (paillis, plante de couverture, semis hâtif, forte densité) ou enrayeront le transport des matériaux arrachés (cloisonnement des buttes et billons, rupture de la croûte superficielle, bandes d'arrêt).

Le choix des plantes rentables et cultivables dans les conditions pédologiques et climatiques du Sénégal est très limité. Puisqu'en général elles couvrent naturellement mal le sol, c'est vers la mise au point des techniques adéquates qu'il faudra orienter nos recherches. L'ampleur de la variabilité des valeurs prises par l'érosion et le ruissellement pour une même culture nous permet d'être très optimiste.

Le premier but à atteindre est d'améliorer l'écoulement superficiel des eaux excédentaires.

Dès 1952, FAUCK estimait que le billonnage devait résoudre le problème de l'érosion en Casamance où l'on ne cultive que des pentes inférieures à 2 %.

Tel qu'il a été appliqué jusqu'en 1963, l'engrais vert résoud mal le problème de la matière organique, car c'est une culture qui demande des soins et ne rapporte aucune récolte (aspect psychologique déplorable). De plus, le sorgho couvre mal le sol au début des pluies et est enfoui bien avant leur fin, si bien qu'il laisse fuir une masse importante de minéraux. Si, par contre, il réussit, on a bien de la peine à l'enfouir correctement.

Plus délicate mais plus réaliste sera l'association de la culture à l'élevage avec tout le cortège des techniques qu'elle peut entraîner : culture (dérobée ou non) de fourrages, jachère cultivée, prairies temporaires, usage du fumier, sorgho engrais vert fauché en août (fourrage) et enfoui fin septembre.

Jusqu'ici, la mécanisation a largement contribué à l'aggravation de l'érosion et du ruissellement à Séfa, mais l'étude des techniques culturales qu'elle met à notre disposition démarre à peine. Il lui faudrait attaquer avec beaucoup d'énergie et d'imagination l'adaptation de techniques neuves au Sénégal, telles que billonnage cloisonné, travail du sol sous le couvert d'un paillis ou des débris de la récolte précédente, labour en fin de la saison des pluies.

Une fois établie la compatibilité entre l'agriculture et la conservation du sol et des eaux, celle-ci ne sera plus alors réservée au seul conservateur des Eaux et Forêts, mais débouchera valablement dans le domaine de la planification de l'agriculture et de l'utilisation rationnelle des terres.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGE OU PARTIE D'OUVRAGE :

- (1) Anonyme, octobre 1951. Le problème de la conservation des sols et de la lutte contre l'érosion. Séfa, rapport photocopié inédit.
- (2) CHARREAU, C., 1952. Microclimatologie à Séfa. Rapport stage Séfa, du 18 juin au 22 juillet.
- (3) COINTEPAS, J.-P., 1954. Rapport préliminaire sur quelques travaux pour lutter contre l'érosion des sols. Séfa, rapport photocopié inédit, 22 p.
- (4) FAUCK, R., 1951. Les problèmes pédologiques en moyenne Casamance et leurs conséquences. Séfa, rapport photocopié inédit, p. 151-226.
- (5) —, septembre 1956. Erosion et mécanisation agricole. Dakar, Bureau des Sols en AOF, 24 p.
- (6) —. Résultats des études physico-chimiques sur les sols de la région de Séfa. Séfa, rapport photocopié inédit, 25 p.
- (7) —, mars 1955. Quelques aspects de la conservation du sol et de l'eau aux Etats-Unis. Rapport de mission. Dakar, Bureau des Sols de l'AOF, 31 p.
- (8) FOURNIER, F., août 1954. La parcelle expérimentale. Méthode d'étude expérimentale de la conservation du sol, de l'érosion et du ruissellement. Extrait du rapport de la mission OECE « Etude des sols » aux Etats-Unis (7.A 38-63), ORSTOM, Bondy.
- (9) GUILLOTEAU, 13-18 juin 1960. Mission à Séfa par l'Inspecteur Général de l'Agriculture. Séfa, rapport photocopié inédit.
- (10) IGNATIEFF, V. et PAGE, H.-J., 1959. L'utilisation rationnelle des engrais. Rome, Etude agricole de la FAO, n° 3, 379 p.
- (11) DEL PELO PARDI, T., 1954. Il sistema culturale de Pelo PARDI. Rome, 201 p.
- (12) PORTÈRES, R. et FAUCK, R., mars 1961. Etude d'économie agricole et rurale en Casamance : possibilités d'implantation d'une agriculture modernisée sur les plateaux de la moyenne Casamance. Ministère de l'Économie Rurale, Dakar, Sénégal, 89 p.
- (13) —, —, 1963. L'engrais vert. Séfa, rapport photocopié inédit, 33 p.
- (14) WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D., mai 1965. Predicting Rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural handbook, n° 282, 47 p. Agric. Research Serv. US Dept of Agric. in cooperation with Purdue Agric. experiment Station.

ARTICLES DE PÉRIODIQUES :

- (15) AUBERT, G., AUDIDIER, L., BUSTARRET, J., CHAMINADE, R., DAUJAT, A., FERRU, H., PRÉVOT, P., ROSSIN, M., avril-mai 1965. Informations sur la fertilisation en régions tropicales et subtropicales. Fiches de l'agronome 1. Fertilité, n° 24, Ed. SEDA, 88 p.
- (16) CHARREAU, C., 1963. Compte rendu de tournée au Sénégal Oriental et en Casamance (6 au 17 août 1963). Compte rendu de la réunion hebdomadaire du 26 août, document interne IRAT, non diffusé, p. 1-51.
- (17) COINTEPAS, J.-P., 1956. Les premiers résultats des mesures de l'érosion en moyenne Casamance. VI^e Congrès Int. Sc. du Sol, Paris, vol. VI, n° 15, p. 569-76.
- (18) COMBEAU, A. et QUANTIN, P., 1964. Observations sur les relations entre Is et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. Cahiers de pédologie de l'ORSTOM, vol. II, n° 1, p. 3-11.
- (19) CORMARY, Y. et MASSON, J., 1964. Etude de conservation des eaux et du sol au centre du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet-type de la formule de perte de sols de WISCHMEIER. Cahiers de Pédologie de l'ORSTOM, vol. II, n° 3, Paris, p. 3-26.
- (20) FAUCK, R., 1955. Etude pédologique de la région de Sédhiou (moyenne Casamance). L'Agron. Tropicale, n° 6, nov.-déc., p. 752-93.
- (21) MAIGNIEN, R., 1961. Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions S.-O. du Sénégal. Sols africains, t. VI, n°s 2 et 3, p. 113-228.
- (22) RAMSAY, J.M. et INNÈS, R.R., janvier 1963. Quelques observations quantitatives sur les effets des feux sur la végétation de savane de Guinée, dans le Nord du Ghana, sur une période de onze années. Sols africains, vol. 8, n° 1, p. 87-120.
- (23) SMITH, D.D. and WISCHMEIER, W.H., 1962. Rainfall Erosion. Advances in Agronomy, vol. 14, p. 109-44.
- (24) —, —, 1958. Rainfall energy and its relationship to soil-loss. Trans. Amer. Geo. Un., t. XXXIX, n° 2, p. 285-91.
- (25) WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. and UHLAND, R.E., 1958. Evaluation of factors in the soil-loss equation. Agr. Engineering, t. XXXIX, n° 8, p. 458-62.
- (26) —, 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Sc. Soc. Amer. Proceedings, t. XXIII, p. 246-9.
- (27) — and SMITH, D.D., 1960. A universal soil-loss estimating equation to guide conservation form planning. 7th Intern. Congr. Soil Science, vol. I, p. 418-25.
- (28) —, 1960. Cropping-management factor evaluations for a universal soil-loss equation. Soil Sci. Soc. Amer. Proceedings, t. XXIV, p. 322-6.

RESUME. — *L'Auteur présente l'interprétation et la synthèse des résultats, obtenus sur dix parcelles, de mesure de l'érosion et du ruissellement durant dix ans, à Séfa, en Casamance.*

Le climat est du type soudano-guinéen avec une pluviométrie de 1.300 mm et huit mois de saison sèche. Sur un champ où le type d'érosion en nappe est prédominant, l'énergie cinétique des pluies est la principale cause de l'érosion. Le ruissellement n'est que l'agent transporteur des « abattis » des gouttes d'eau.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont très sensibles à l'érosion dès que les pentes atteignent 1 % : la forte proportion de sable fin et la structure très instable après quelques années de culture en font des sols battants.

Les conditions économiques et climatiques limitent considérablement le choix de la couverture végétale, mais il reste beaucoup d'espoir dans la mise au point de techniques culturales nouvelles (en particulier le labour de fin de saison des pluies). Les résultats d'analyse sont trop peu nombreux pour se risquer à un bilan chimique de l'érosion. On peut cependant conclure à une lixiviation sélective des minéraux ($Na > K > Mg > Ca$) et à une décroissance très rapide de leur teneur dans les eaux ruisselées après le premier mois pluvieux.

Sur huit parcelles cultivées pendant dix ans, on a vu en moyenne 21 % de l'eau de pluie ruisseler à la surface du sol et transporter 9,26 t de terre par hectare et par an. En moyenne, une couche de 0,6 mm de terre a été décapée annuellement.

SUMMARY.—*The Author interprets and gives the synthesis of the results from 10 plots on which erosion and run-off have been measured for 10 years at Sefa in Casamance.*

Climate is of the soudanese-guinean type with a 1,300 mm rainfall and a dry season of 8 months. On a field where sheet erosion is prevailing, the kinetic energy of rains is the principal agent of erosion. Run-off is only the carrier of the particules dissociated by the impact of the drops of rain.

The gray ferruginous soils are highly susceptible to erosion as soon as slopes equal 1 %: having been cultivated for some years they become soils liable to compaction, because of a high proportion of fine sand and of a very unstable structure.

The choice of a ground cover is highly limited by the economic and climatic conditions but the development of new cultural practices is still promising (particularly ploughing at the end of the rainy season). Analysis results are not numerous enough for a balance-sheet of erosion to be undertaken. It can nevertheless be concluded that there is a selective leaching of minerals ($Na > K > Mg > Ca$) and that their content very rapidly decreases in the run-off water after the first rainy month.

On 8 plots cultivated for 10 years, it has been stated that, on an average, 21 % of the rain water runs off on the soil surface and carries 9,26 t of earth per hectare and per year. On an average, a layer of 0,6 mm of earth is annually removed.

RESUMEN. — *El Autor presenta una interpretación y síntesis de los resultados de un estudio llevado a cabo sobre la erosión y la escorrentía, en diez parcelas y durante diez años, en la zona de Sefa, Casamance.*

El clima es de tipo sudano-guineo, con un pluviometría de 1,300 mm y ocho meses de estación seca. En un campo donde predomina la erosión laminar, la energía cinética de las lluvias constituye el principal factor de la erosión. El escurrimiento no es más que el agente que arrastra las partículas de suelo desprendidas.

Los suelos ferruginosos tropicales lavados son muy susceptibles a la erosión de la cobertura vegetal, pendiente del 1 % : el alto porcentaje de arena fina y la estructura muy inestable después de algunos años de cultivo provocan su asentamiento.

Las condiciones económicas y climatológicas limitan mucho la elección de la cobertura vegetal, pero se cree que la adopción de nuevas técnicas de cultivo puede resultar eficiente (especialmente la labor a fines de la estación de las lluvias). Disponemos de muy pocos datos de análisis para hacer un balance químico de la erosión. Sin embargo, se puede pensar que existe una lixiviación selectiva de los minerales ($Na > K > Mg > Ca$) y un descenso rapidísimo del contenido de dichos elementos en las aguas de escorrentía después del primer mes lluvioso.

En ocho parcelas cultivadas durante diez años, se ha observado que el 21 % del agua de lluvia escurría por la superficie del suelo acarreado 9,26 t de tierra por hectárea al año. Como promedio, se pierde una capa de 0,6 mm de tierra al año.

Pédologie

L'AGRONOMIE TROPICALE

Extrait du n° 2
FÉVRIER 1967

DIX ANNÉES DE MESURE DE L'ÉROSION ET DU RUISSELLEMENT AU SÉNÉGAL

par
E. ROOSE
Pédologue

no 1162 G 11