

LE ROLE DES FACTEURS BIOLOGIQUES DANS L'AMELIORATION
DU PROFIL CULTURAL DANS LES SYSTEMES D'AGRICULTURE
TRADITIONNEL DE ZONE TROPICALE SECHE.

Par

C. CHARREAU
Ingénieur agronome

R. TOURTE
Ingénieur agronome

C.R.A. Bambey
(République du Sénégal).

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

Collection de Référence

no 13714

27 JAN 1970

GENERALITES

Les facteurs biologiques intervenant dans les modifications du profil cultural et ayant une incidence sur la production agricole sont : la faune et la végétation, naturelle et cultivée. L'action de la mésofaune est importante sous forêt claire (Casamance) et se traduit dans l'horizon superficiel du sol (10 cm) par une amélioration très sensible de la porosité, de la structure et de l'ameublissement. Après mise en culture cette action disparaît peu à peu complètement ; à l'échelle de la rotation cette action ne modifie pas sensiblement le profil cultural. Le travail de la mésofaune et même de la macrofaune (fouisseurs) reprend à nouveau une certaine importance dans les jachères herbacées ou arbustives, sans pour autant avoir sur le sol les mêmes conséquences que sous forêt ; il s'en faut même de beaucoup.

La végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée, à une action directe sur les propriétés du sol et le profil cultural, elle intervient ainsi indirectement sur les rendements agricoles.

VEGETATION NATURELLE ET CULTURES DU SENEGAL

Les formations végétales naturelles du Sénégal varient considérablement du Nord au Sud, suivant le gradient de pluviométrie (300 à 1800 mm) et la durée de la saison des pluies (2 à 6 mois). On passe ainsi progressivement de la steppe à épineux au Nord à la savane à Combrétacées au Centre et à la forêt claire à Daniella Olivieri au Sud.

Les terrains de culture sont rarement entièrement déboisés : les paysans conservent en général dans leurs champs les essences forestières les plus intéressantes soit par leurs fruits, soit par leur bois ; dans certains cas il y a même un aménagement assez complet du paysage par constitution progressive d'un véritable parc arboré à partir d'essences sélectionnées (Acacia albida, en particulier).

La production des jachères herbacées est toujours assez faible : elle varie de 0,5 t/ha de matière sèche dans le Nord à un maximum de 8 t/ha dans le Sud, dans les meilleures conditions de terrain. Dans la région Centre (Bambey) une production de 2,5 t/ha peut être considérée comme normale (tableau n° 5). Ce :

productions sont incomparablement plus faibles que celles des savanes tropicales humides ou équatoriales. DOMMERGUES (1963) a évalué à 4,7 et 5,8 t/ha la quantité de litière produite chaque année en Casamance sous de jeunes teckeraies de 4 à 8 ans. Plus récemment G. JUNG (1967) a estimé à 4,2 t/ha en moyenne la production annuelle de litière sous Acacia albida.

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

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

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

Le riz pluvial ou «de plateau» a été introduit il y a une quinzaine d'années en moyenne Casamance et sa culture est restée très localisée à sa zone d'introduction ; il s'agit d'une culture semi mécanisée pratiquée dans le cadre d'une Société d'Economie mixte.

Parmi les légumineuses, l'arachide est, de loin, la plus répandue. Sa culture occupe au Sénégal environ la moitié des terres cultivées (1 million sur 2 millions d'hectares). Cette proportion tend à s'accroître chaque année. La quasi totalité des variétés utilisées actuellement sont des variétés à cycle long (120 jours). Les variétés hâtives à court cycle (90-100 jours) occupent des superficies restreintes dans la zone Nord du pays.

Le niébé (Vigna unguiculata) est cultivé principalement en association avec le mil hâtif dans le Nord du pays. Enfin le cotonnier est en nette progression dans la zone Sud orientale.

Dans le tableau n° 1 sont regroupées un certain nombre de données intéressant ces diverses plantes.

ESSAIS D'ANALYSE DE L'INFLUENCE COMPAREE DES DIFFERENTES ROTATIONS SUR LE SOL ET LES RENDEMENTS DES CULTURES

Les actions réciproques entre sol et plantes d'une part, cultures de la rotation entre elles, d'autre part, sont fort complexes et il peut paraître ambitieux de vouloir isoler et caractériser tous les facteurs entrant en jeu. Toutefois, après HENIN S. (1960, b), il est possible de proposer un regroupement de ces facteurs en deux grandes catégories :

- Facteurs n'intéressant pas directement le profil cultural
- Facteurs concernant directement le profil cultural

Dans la première catégorie nous rangeons :

- les facteurs d'ordre sanitaire
- les facteurs modifiant le bilan minéral et les propriétés chimiques du sol.

Dans la seconde catégorie interviennent :

- les facteurs modifiant les propriétés physiques du sol
- les facteurs influant sur le bilan organique.

Ces différentes catégories seront passées en revue et on s'efforcera, dans chaque cas, de préciser quelques unes peuvent être, dans l'exemple sénégalais, les modalités et l'intensité d'action des diverses cultures entrant en rotation.

Tableau n° 1

DONNEES ECONOMIQUES ET AGRONOMIQUES CONCERNANT DES JACHERES ET CULTURES AU SENEGAL

Caractéristiques Cultures	DONNEES ECONOMIQUES			SEMIS			CYCLE VEGETATIF	RENDEMENTS t/ha graines ou gousses			RENDEMENTS PAILLES t/ha		
	Superficie cultivée x 1000ha	Production x1000 tonnes	Rendement moyen kg/ha		Ecartements cm	Densité /ha	Durée en jours	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Jachères	-	-	-	-	-	-	130-200	-	-	-	0,5	8,0	2,5
Mil Engrais vert	-	-	-	Volée - poquets étal	60	-	80-110	-	-	-	0,5	15,0	5,0
Mil grain	1069	554	518	Poquets	100x100	10.000	90-150	0,3	3,0	1,5	2,0	18,0	9,0
				Poquets	100x50	20.000							
Sorgho grain				Poquets	100x50	20.000	90-150	0,5	3,5	2,0	1,8	10,0	7,0
Maïs grain	54	41	751	Poquets	90x25	45.000	90-110	0,3	5,0	2,5	0,5	5,0	2,5
Riz pluvial	-	-	-	Lignes	40	-	90-120	0,5	3,0	2,0	0,5	3,0	2,0
Arachide	1114	1121	1010	Lignes	60x15 40x15	110.000 167.000	120 105	0,7	3,5	2,0	1,5	5,0	2,5
Niébé	53	14	257	Poquets	50x40	50.000	120-180	0,3	2,5	1,0	0,5	4,0	1,5
Cotonnier	1,5	0,7	475	-	-	-	150	0,4	3,5	1,5	0,6	6,0	3,0

Facteurs n'intéressant pas directement le profil cultural

Facteurs d'ordre sanitaire

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

Facteurs influant sur les propriétés chimiques du sol

Toute plante, cultivée ou non, prélève dans le sol une certaine quantité d'éléments minéraux et les stocke dans ses tissus. Pour les plantes cultivées, il y a, à la récolte, exportation d'une partie des éléments minéraux mobilisés dans la plante. Dans le cas des cultures pratiquées au Sénégal, il faut noter que les exportations réelles, bien que difficiles à chiffrer, représentent une part très importante des mobilisations minérales, les résidus de récolte étant généralement assez faibles (tableau n° 1).

La pratique de la culture continue conduit donc, en l'absence de fertilisants minéraux ou organiques, à un appauvrissement rapide du sol. La jachère ralentit ce processus sans toutefois le renverser.

Facteurs modifiant le profil cultural et le bilan organique du sol

Effets sur les propriétés physiques du sol

Les plantes influencent les propriétés physiques du sol de deux manières distinctes :

- par leur appareil végétatif, elles protègent le sol contre les dégradations susceptibles d'être provoquées par les agents atmosphériques : pluies et soleil, notamment ;

- par leur système racinaire, elles agissent sur la structure. Ces deux modes d'actions seront examinés successivement

a/e Couvert végétal et protection du sol

Pendant la saison des pluies, il est primordial que le sol soit efficacement protégé par un couvert végétal bien fourni et se développant rapidement.

La cause essentielle de dégradation réside dans «l'effet splash» des gouttes de pluie tombant sur le sol. Cet effet est particulièrement élevé sous les tropiques, du fait des intensités très fortes atteintes par les pluies et des très grandes énergies cinétiques qu'elles peuvent ainsi développer. Les mesures d'érosion effectuées à la Station de Séfa entre 1954 et 1963 et regroupées par RICOSE (1967) permettent de comparer l'influence de diverses couvertures végétales (forêt, jachère herbacée, cultures) sur le développement de l'érosion. De l'étude précitée ont été extraites les quelques données figurant dans le tableau 2 ci-après.

Le premier fait qui s'impose est que la forêt, brûlée ou non, protège beaucoup plus efficacement le sol que n'importe quelle autre formation végétale (jachère herbacée ou culture annuelle). Les pertes de terre par érosion sous jachère herbacée annuelle sont du même ordre de grandeur que celles observées sous culture.

En ce qui concerne les cultures, on peut remarquer que les chiffres obtenus sont assez voisins.

Alors que l'importance du couvert végétal au cours de la saison des pluies apparaît essentiel pour la conservation du sol, on peut se demander quelle sera l'influence de ce même facteur pendant la saison sèche. L'érosion éolienne est surtout à craindre dans les régions septentrionales du pays.

Tableau n° 2

**COMPARAISON DES MESURES D'EROSION EFFECTUEES A SEFA SOUS
DIVERSES COUVERTURES VEGETALES (1954-1963)**

COUVERTURE VEGETALE	Pluie moyenne	Nombre de répé- -titions	TERRE ERODEE t/ha		
			Moyenne	Minimum	Maximum
Forêt protégée	1138	7	0,08	0,02	0,22
Forêt brûlée	1167	9	0,18	0,02	0,51
Jachère herbacée	1203	7	4,88	1,46	10,14
Azachide	1241	24	6,89	2,91	16,30
Coton	1151	3	7,75	0,47	18,52
Sorgho Engrais vert	1157	9	7,82	1,19	22,71
Riz	1129	11	8,18	2,17	18,39
Sorgho grain	1113	2	8,35	3,29	12,40
Maïs	1279	1	10,34	-	-
Mil grain	993	2	10,34	8,10	12,57
Cultures dévastées	1201	7	23,13	6,93	54,48

L'élévation de températures des couches superficielles du sol en saison sèche, en l'absence de couvert végétal est un fait connu. Il a été bien mis en évidence, en particulier par P. GAUDEFROY-DEMOMBYNES (1955). Les relevés effectués ont montré que, les amplitudes de températures au cours de la journée étaient beaucoup plus fortes sur sol nu, même à 20 cm de profondeur et que les températures maxima à la surface du sol oscillaient habituellement entre 55° et 60° (maximum absolu 65°) pour le sol nu, entre 38° et 41° pour le sol couvert (maximum absolu : 43°, 5).

Des numérations de la microflore des sols faites par Y. DOMMARGUES montrent que les amylolytiques passent de 50.000 à 900.000 par gramme de terre du sol nu au sol couvert, les nitreux de 250 à 890 ; les cellulolytiques aérobies de 480 à 1720, les champignons restant inchangés. La couverture du sol a donc protégé très efficacement la microflore nitrificative, cellulolytique et amylolytique.

b/o Actions des racines sur le sol

L'influence des racines sur les propriétés physiques du sol et, en particulier, le développement de la structure est maintenant un fait bien établi. En pays tempérés, HENIN et alt. (1960) ont constaté que, « sous une végétation continue et permanente, type prairie, il se constituerait progressivement une structure grumeleuse exploitée par les racines ».

En pays tropicaux humides, (zones soudano-guinéennes d'Afrique Centrale), MOREL et QUANTIN (1964) ont décrit quatre stades successifs d'installation de la flore des jachères naturelles. Ils ont établi ensuite une relation entre la vitesse d'installation des stades successifs de la jachère naturelle et l'état structural du sol (mesuré par l'indice de stabilité de HENIN).

Tableau n° 3

DONNEES ESTIMATIVES CONCERNANT L'ENRACINEMENT DES PRINCIPALES CULTURES

Caractéristiques Cultures	MODE D'ENRACINEMENT			POIDS DE RACINES kg/ha			AZOTE		MOBILISATION EN CARBONE kg/ha			MOBILISATIONS EN AZOTE kg/ha		
	Pro- fon- deur cm	Super- ficie cou- verte %	Inten- -sité d'ac- tion sur le sol	Maxi- mum	Mini- mum	Moyen- ne	N % de M. S.	C / N	Mini- mum	Maxi- mum	Moyen- ne	Mini- mum	Maxi- mum	Moyen- ne
Jachères	5-10	90-100	+	170	2700	750	0.7	70	90	1500	410	1	22	6
Mil Engrais vert	10-20	80-100	+	170	5000	1700	0.7	80	90	2800	940	1	35	12
Mil grain	15-25	10-40	+	670	6000	3000	0.7	80	370	3300	1650	5	42	21
Sorgho grain	15-25	35-40	+	600	3300	2300	0.6	90	330	1000	1260	4	20	14
Mais grain	15-25	35-70	++	170	1700	840	0.8	70	90	940	460	1	14	7
Riz pluvial	10-15	50-90	+	170	1000	670	0.9	60	90	550	370	2	9	6
Arachide	10-20	50-90	0	500	1700	840	1.8	30	275	940	460	9	31	15
Niébé	10-20	50-80	0	170	1330	500	1.8	30	90	730	275	3	24	9
Cotonnier	-	-	0	200	2000	1000	-	-	-	-	-	-	-	-

En zone tropicale semi-aride, nous n'avons pas connaissance d'observations et de mesures concernant l'influence du système racinaire des plantes sur les propriétés structurales du sol, en dehors de celles qui ont été faites au Sénégal.

Le Tableau n° 3 rassemble quelques données chiffrées concernant les systèmes racinaires des principales plantes cultivées et de jachères du Sénégal

Le premier, J.F. DEFFONTAINES (1965) estimait que l'influence des racines sur la structure n'était pas toujours visible et que les effets variaient avec les végétaux. Les effets lui paraissent nuls sous arachide, localisés et limités en surface pour certaines plantes annuelles comme le sorgho ou le mil, nettement marqués sous certaines plantes pérennes et sous maïs. Cette opinion a été confirmée depuis par de nombreuses observations qui ont été faites

Pour s'en tenir actuellement à la seule action des racines, en l'absence de tout travail du sol, il nous faut donc conclure que celle-ci, sans être nulle dans le cas des graminées, nous paraît toutefois très limitée

En particulier, le rôle joué, dans ce domaine, par les plants des jachères naturelles nous semble fort éloigné de celui qui a été décrit pour les jachères de la zone soudano-guinéenne.

Effet sur la matière organique du sol

a/ • Rôle de la matière organique du sol

C'est sans doute dans une étude réalisée par C. CHARREAU et P. VIDAL (1965) que ce rôle de la matière organique du sol est apparu le plus nettement. Ces auteurs examinent en effet l'influence d'un arbre, l'Acacia albida sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils Pennisetum. Dans ces conditions la texture reste à peu près constante alors que la matière organique du sol, au sens large (carbone, azote, humus), subit de fortes variations (du simple au triple pour le carbone, du simple au doublé pour l'humus et l'azote). Dans les calculs de corrélations, des liaisons significatives apparaissent alors entre carbone et capacité d'échange, carbone et humidité équivalente, traduisant bien l'influence du carbone sur les propriétés hydriques et le complexe absorbant du sol. Par ailleurs, les rendements du mil apparaissent eux aussi très fortement liés aux teneurs en carbone, humus et azote total du sol : à une augmentation du taux de carbone du sol de 1%, (en valeur absolue) correspond un gain de 250 kg/ha de grains de mil ($r = 0,515$; significatif à $P 0,05$).

Par la suite JUNG (1966) confirma, dans une étude analogue, les liaisons entre la matière organique et les autres propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Il compara, entre autres, l'influence de la matière organique et celle de l'argile sur la capacité d'échange du sol en calculant les corrélations partielles. Il trouva, pour les coefficients de corrélations les valeurs suivantes :

$$r_{T,C} / \text{Argile} = 0,744 \text{ (S à F } 0,01)$$

$$r_{T,A} / \text{Carbone} = 0,502 \text{ (S à P } 0,05)$$

L'influence du carbone sur la capacité d'échange est donc plus marquée que celle de l'argile. Le calcul de l'équation de régression confirme qu'aux niveaux moyens des éléments étudiés, l'influence du Carbone est prépondérante sur celle de l'argile (dans la proportion de 1,33 à 1) pour déterminer la valeur de la capacité d'échange.

Il n'est pas douteux que le relèvement du niveau de matière organique des sols, est un des objectifs importants que doit se fixer l'agronome des zones tropicales sèches, soucieux d'augmenter, dans son ensemble et durablement, le volume de la production agricole.

b/ • Les sources de matière organique pour le sol en agriculture traditionnelle

Elles proviennent suivant le cas, des résidus de récolte, des chutes périodiques de feuilles et brindilles des arbres, des résidus laissés par la jachère herbacée.

Les restitutions organiques sont nettement plus élevées sous forêt. MAHEUT et DOMMERGUES (1960) ont mesuré, en Casamance, les poids de litière annuelle retournant au sol sous de jeunes teckeraies de 4 à 8 ans, les chiffres sont, respectivement, de 5,8 et 4,7 t/ha de matière sèche.

Tableau n° 4

DONNÉES ESTIMATIVES CONCERNANT LES RESIDUS DE RECOLTE PAILLEUX

Caractéristiques Cultures	RENDEMENTS PAILLES t/ha			AZOTE		MOBILISATION EN CARBONE kg/ha			MOBILISATION EN AZOTE kg/ha		
	Minimum	Maximum	Moyenne	N % de M.S.	C / N	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
Jachères	0.5	6.0	2.5	0.8	70	275	4400	1370	4	64	20
Mil Engrais vert	0.5	15.0	5.0	1.0	55	275	8250	2750	5	150	90
Mil grain	2.0	18.0	9.0	0.6	90	1100	9900	4950	12	108	54
Sorgho grain	1.8	10.0	7.0	0.3	180	990	5500	3850	5	30	21
Maïs grain	0.5	5.0	2.5	0.8	70	275	2750	1375	4	40	20
Riz pluvial	0.5	3.0	2.0	1.1	50	275	1650	1100	6	33	22
Arachide	1.5	5.0	2.5	2.8	20	825	2750	1375	42	140	70
Niébé	0.5	4.0	1.5	1.4	39	275	2200	825	7	56	21
Cotonnier	0.6	6.0	3.0								

A Bambey, JUNG (1966) a mesuré la chute annuelle de débris végétaux sous *Acacia albida*. Celle-ci atteint la valeur très élevée de 11,6 t/ha comportant : 4,2 t/ha de feuilles et fleurs, 5,4 t/ha de fruits, 2,0 t/ha de bois et écorce.

Le seul procédé de transformation de la matière végétale couramment utilisé dans les zones sahélo-soudaniennes et soudaniennes fait intervenir l'animal.

Le bétail est omniprésent et abondant dans les zones tropicales sèches ; le paturage des jachères et des résidus de récolte est pratiqué partout, mais suivant des modalités variant avec les ethnies et les écologies. La fabrication du fumier est très peu habituelle en milieu traditionnel. La restitution au sol en culture traditionnelle se fait sous forme de fèces ou «fumier de parc», sans qu'il y ait la plupart du temps, incorporation à une litière pailleuse. Même si cette restitution n'est que partielle, cela représente une amélioration considérable par rapport à la pratique de brûlis des jachères. Ce gain organique s'accroît naturellement lorsque le bétail va chercher sa nourriture dans la journée en dehors des terrains de culture mais revient parquer le soir sur ces terrains.

C'est en fait le seul système qui autorise, sur ces terrains abondamment fumés, la culture continue de céréales pendant de longues années (PELISSIER, 1967).

c/ • Les teneurs en matières organiques du sol

Les teneurs en matières organiques du sol reflètent assez bien les différences observées dans les sources d'approvisionnement. Exprimées en tonnes de matière organique à l'hectare sur 20 cm de profondeur, les valeurs moyennes passent à Bambey de 11,5 t/ha sous culture, à 13,5 t/ha sous jachère longue et 22,6 t/ha sous *Acacia albida* pour des sols dior sableux. A Séfa la différence entre forêt et culture est également très marquée, respectivement : 33,8 t/ha et 21,4 t/ha.

Entre forêt ou terrain sous arbres, d'une part et jachères herbacées et cultures de l'autre, les différences sont très importantes. A Bambey, CHARREAU et VIDAL (1965) ont effectué des prélèvements de sols dans des terrains complantés en *Acacia albida* ; les prélèvements ont été réalisés en trois situations différentes par rapport aux arbres :

- à proximité immédiate du tronc : A
- à la limite du couvert feuillu : B
- à l'extérieur du couvert (témoin) : C

Ils intéressaient les 10 cm superficiels. Des cultures de mil étaient pratiquées autour des arbres. Par la suite JUNG (1966 et 1967) reprit cette étude, confirma et précisa les résultats obtenus précédemment. Les terrains étudiés se trouvaient sous jachère herbacée depuis plusieurs années. L'ensemble des résultats concernant carbone, azote figurent dans le tableau ci-dessous.

Carbone et Azote Source	Position par rapport à l'arbre	Valeurs absolues		Valeurs relatives	
		C %	N %	C	N
CHARREAU, VIDAL (1965)	A	5,32	0,60	162	194
	B	4,80	0,52	146	168
	C	3,29	0,31	100	100
JUNG (1966)	A	8,12	0,82	196	215
	B	6,52	0,65	157	171
	C	4,15	0,38	100	100

Tableau n° 5

**EVOLUTION COMPARATIVE DES TENEURS EN CARBONE ET AZOTE
SOUS FORET ET CULTURE A SEFA.**

SOURCES	Nombre d'années après défrichement	Type de sol et lieu	Profondeur de prélèvement	CARBONE				AZOTE			
				C ‰		Indices		N ‰		Indices	
				Forêt	Cul-ture	Forêt	Cul-ture	Forêt	Cul-ture	Forêt	Cul-ture
FAUCK (1956)	1	Rouge et beige Rouge et beige (Moyenne)	0-20 (?)	7 à 8	5 à 6	100	73	1.5	1.0	100	67
			0-20 (?)	7 à 8	4 à 6	100	67	1.5	1.0	100	67
COINTEPAS (1958)	7	Non précisé	0-10	7.4	3.8	100	56				
			10-20	5.6	4.4	100	79				
			20-30	3.4	3.1	100	71				
			Moyenne(0-20)	6.5	4.1	100	63	0.9	0.6	100	62
PORTERES, FAUCK (1961)	10	Sol beige Lieu non précisé	0-4	18.8	6.7	100	36	0.85	0.30	100	35
			4-8	11.8	6.3	100	54	0.53	0.35	100	66
			8-12	8.8	6.0	100	68	0.36	0.27	100	75
			12-16	6.7	5.1	100	76	0.21	0.28	100	133
			16-20	5.5	5.7	100	104	0.27	0.31	100	115
			Moyenne(0-20)	10.3	6.0	100	58	0.44	0.30	100	68
MOUREAUX (1965)	15	Sol beige Lieu non précisé	0-10	13.7	3.4	100	25	1.00	0.26	100	26
			40-50	2.9	2.2	100	76	0.32	0.29	100	91
FAUCK et alt. 1966	15	Sankoya (Moyenne)	0-20 (?)	13.9	8.0	100	57	0.47	0.31	100	66
	16	Sol beige CA 52-53	0-5	14.2	5.8	100	41				
			5-10	9.6	5.1	100	53				
			10-15	6.9	5.1	100	74				
			15-20	5.2	5.1	100	98				
			20-25	4.3	4.9	100	114				
			Moyenne(0-20)	9.2	5.3	100	58	0.69	0.42	100	61
		Sol beige CA 50-51	0-5	23.4	7.0	100	30				
			5-10	14.1	4.0	100	28				
			10-15	9.4	4.2	100	45				
			15-20	7.0	4.8	100	69				
			20-25	6.2	5.0	100	81				
			Moyenne(0-20)	13.4	5.0	100	37	0.85	0.36	100	42

FAUCK (1956)

En moyenne Casamance, à Séfa, des prélèvements couplés forêt/ culture ont été faits périodiquement depuis 1950, époque du défrichement de la forêt jusqu'à 1967. Quelques résultats sont exprimés dans le tableau 5.

d/ Evolution de la matière organique dans le sol

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

$$\frac{dh}{dt} = -kH + A \quad (1)$$

où H = Stock d'humus du sol au temps t

A = Humus synthétisé pendant la période considérée

k = Constante de décomposition de l'humus

t = Temps

En intégrant, il vient : $H = \frac{A}{k} - \left(\frac{A}{k} - H_0 \right) e^{-kt}$ (2)

avec H_0 = Stock initial d'humus du sol.

Cette loi suppose que trois conditions soient préalablement remplies (GREENLAND et NYE, 1959) :

- Il y a une formation continue d'humus dans le sol
- Le taux de synthèse l'humus est constant et indépendant de la teneur globale en humus du sol
- Le taux de décomposition est variable et proportionnel au stock d'humus présent dans le sol dans la gamme de variations considérée.

Nous sommes fondés à admettre, pour les zones tropicales semi-arides, la validité de ce modèle mathématique, sous réserve que des intervalles de temps suffisamment longs soient pris en considération. Lorsque le sol est à l'équilibre, il n'y a plus de variation dans le temps du stock d'humus.

A partir de ce modèle mathématique et par référence à certains travaux extérieurs, notamment de GREENLAND et NYE, il a été possible de calculer les données du tableau n° 5 (la démarche, assez longue, n'a pu être rapportée ici).

L'examen de ce tableau amène plusieurs observations :

a/ Les valeurs de k obtenues par cette méthode sont voisines pour toutes les zones tropicales et équatoriales, et nettement supérieures à celles qui caractérisent les pays tempérés.

b/ Les valeurs de k obtenues pour les zones tropicales par la même méthode de calcul sont assez groupées, ce qui signifie que les variations des stocks d'humus de ces sols seront essentiellement conditionnées par des différences d'approvisionnement en matière organique végétale.

c/ Le coefficient de transformation des matières végétales en humus est largement dépendant des disponibilités en azote dans le végétal lui-même et dans le sol.

d/ Les possibilités d'utilisation, pour la synthèse d'humus, de l'azote atmosphérique fixé symbiotiquement ou non par le sol et de l'azote provenant de la dégradation de l'humus préexistant (équilibre réorganisation minéralisation) sont encore mal connues pour les sols tropicaux.

e/ Les valeurs de k trouvées par GREENLAND et NYE pour les savanes tropicales humides et sub-humides sont sensiblement inférieures à celles calculées pour le Sénégal.

Tableau n° 6

EVOLUTION DES CONSTANTES DE DECOMPOSITION DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL ET DES AUGMENTATIONS
CORRESPONDANTES EN AZOTE DU SOL LORSQU'ON EST A 75 % DU NIVEAU DE FERTILITE

LOCALISATION	VEGETATION	Pluvio- métrie annuel- le	Matière organique du sol à l'équi- libre H.O. kg/ha.	Débris végétaux retour- nant au sol annuelle- ment			M.O. du sol synthé- tisée annuellement calculs effectués			Valeur de k		Augmentation annuelle du stock d'azote du sol lors- que H/H.O = 0.75.		SOURCE
				M.S. partie aérien L kg/ha.	M.S. Racine R kg/ha.	Contenu ou azote kg/ha.	Avec f Maxi- mum kg/ha.	Avec f Mini- mum kg/h.	d'après le con- tenu en a- zote des débris végé.	Avec f Maxi- mum	Avec f Mini- mum	Maxi- mum	Mini- mum	
SENEGAL, Bambe	Cultures	650	11 500	0	1500	15	750	300	260	0.065	0.026	11	4	POULAIN (1961)
SENEGAL, Bambe	Jachère herbacée	650	13 500	0	750	6	375	150	104	0.028	0.011	5	2	POULAIN (1961)
SENEGAL, Bambe	Acacia albida	650	22 600	4 200	2100	123	2100	840	2120	0.094	0.037	31	12	CHARREAU, VIDAL (1965) JUNG (1967)
SENEGAL, Séfa	Cultures	1300	21 400	0	2000	20	1000	400	346	0.047	0.019	15	6	COINTEPAS (1958)
SENEGAL, Séfa	Forêt	1300	33 800	5 000	2500	60	2500	1000	1020	0.074	0.030	36	15	COINTEPAS (1956)
AFRIQUE DE L'OUEST	Savane, zone tropi- cale sub-humide	900	26 000	0	730	?	365	145	?	0.012	0.005	5	2	GREENLAND, NYE (1959)
AFRIQUE DE L'OUEST	Savane, zone tropi- cale humide	1300	86 500	0	2400	?	1200	480	?	0.013	0.005	14	5	GREENLAND, NYE (1959)
CONGO KINSHASA	Forêt équatoriale basse altitude	1830	93 000	10 000	5000	?	5000	2000	?	0.052	0.020	53	21	GERMAIN, EURARD (1956)
GHANA	Forêt équatoriale basse altitude	1500 2000	168 000	8 800	4400	?	4400	1760	?	0.025	0.010	50	20	ENDREY, MONTGOMERY (1954)
PAYS TEMPERES (Californie, USA)	Forêt de chênes	750	138 000	1 230	615	?	600	235	?	0.004	0.002	4	2	JENNY (1950)
PAYS TEMPERES (USA)	Prairie	865	212 000	2 350	785	?	930	360	?	0.004	0.002	11	5	JENNY (1950)

Conséquences pratiques

La première découle de la constatation, - qui peut paraître, superficiellement, assez évidente, - que le stock humique du sol, pour des conditions climatiques données, dépend en premier lieu des apports végétaux. Or si, dans les zones tropicales semi-arides, il existe, à cet égard, une différence très tranchée entre forêt et culture, il n'y en a pas entre jachère herbacée et culture.

L'efficacité des jachères de courte durée (inférieures à trois ans en moyenne) nous paraît plus que douteuse en ce qui concerne le relèvement du taux de matière organique du sol.

Une deuxième conclusion concerne le rôle important dévolu à l'engrais minéral dans le relèvement du taux de matière organique du sol, et non, comme certains avaient cru pouvoir l'affirmer, dans sa dégradation. L'engrais minéral accroît la masse M de débris végétaux faisant retour au sol et par la même, augmente les possibilités de synthèse de l'humus.

L'engrais azoté, a dans ce domaine, une action spécifique tout à fait remarquable. Non seulement, en effet, il contribue, plus que tout autre engrais à l'accroissement de M (notamment dans le cas des céréales), mais encore il améliore nettement, ainsi qu'on l'a vu plus haut, le coefficient de transformation des matières végétales en humus. La quantité A d'humus synthétisé annuellement étant le produit de M par f , on voit quel rôle considérable peut jouer l'engrais azoté dans l'amélioration du stock humique des sols.

INFLUENCE COMPAREE DES DIFFERENTES FORMATIONS VEGETALES ET ROTATIONS CULTURALES SUR LE SOL ET LA PRODUCTION AGRICOLES

Ayant tenté d'analyser les mécanismes d'action de la végétation sur le sol, il importe maintenant d'examiner quelle peut être la résultante de ces actions sur le sol et son incidence sur la production végétale. Pour ce faire on comparera successivement :

- Forêt et cultures
- Cultures et jachères entre elles
- Rotations culturales comportant, ou non, une période de repos sous jachère.

On s'attachera à éliminer, dans toute la mesure possible, le facteur «travail du sol» de façon à mieux caractériser le rôle propre à la végétation. La combinaison des deux facteurs conduit, en effet, comme on le verra par ailleurs, à des interférences importantes et complexes.

Comparaison forêt/cultures

L'incidence de la déforestation sur le bilan organique des sols a été évoquée plus haut ; nous n'y reviendrons pas ici.

La déforestation a, par ailleurs, bien d'autres conséquences sur le sol. Elles ont été particulièrement étudiées à Séfa, en Casamance.

Il y a tout d'abord une modification complète du régime hydrique des sols. Sous forêt, la pluie s'infiltré en quasi-totalité, le ruissellement étant à peu près inexistant.

Sous culture, au contraire, on observe, pendant la saison des pluies des ruissellements, locaux importants, allant jusqu'à 50 % de la pluviométrie.

Par ailleurs, sitôt les récoltes effectuées, à la fin de la saison des pluies, il se produit une évaporation intense qui aboutit à la formation d'un «mulch» naturel d'environ un mètre d'épaisseur. Ce mulch une fois formé s'oppose ensuite à tout mouvement ascendant de l'eau de sorte que le profil hydrique se fige dans un état de pseudo-équilibre et que les réserves hydriques de profondeur restent intactes jusqu'à la saison des pluies suivantes.

Le régime thermique est également modifié. Les températures du sol sous culture sont plus élevées de 1 à 3 degrés en moyenne sur la couche de 0 à 1 m de profondeur.

Tableau n° 7

COMPARAISON DE QUELQUES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL SOUS FORET ET SOUS CULTURE A SEFA

CARACTERISTIQUES	TYPE DE SOL (1)	FORET			CULTURE			SOURCE ET OBSERVATIONS
		0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	
Densité apparente	R	1.42	1.49	1.47	1.50	1.67	1.61	COINTEPAS, 1958 Densité réelle égale à 2.62 partout
	B	1.37	1.47	1.62	1.65	1.69	1.62	
Porosité %	R	46	43	44	43	36	39	
	B	47	44	38	37	35	38	
Instabilité structurale IS	R	0.49-0.56	-	-	1.25-1.57	-	-	FAUCK et alt., 1966 Mesures effectuées en Avril 1966
	B	0.61-0.72	0.82-1.00	1.15	1.93-2.14	2.08-2.14	-	
Perméabilité I cm/h	R	2.2 - 2.7	-	-	2.4 - 2.6	-	-	Mesures effectuées en Avril 1966
	B	2.1 - 2.5	2.5 - 3.0	2.7	1.3 - 1.7	1.9 - 2.6	-	
Résistance à la pénétration F en kg	B	150	-160	720-880	280 - 810	1390-3460	CHARREAU, PICON, 1967 Mesures effectuées en Février 1966	

(1) R = Sol rouge, faiblement ferrallitique

B = Sol beige, ferrugineux tropical lessivé à tâches et concrétions.

Au total, la mise en culture se traduit par une péjoration très sensible des propriétés physiques du sol. Le développement de l'érosion, qui est, en moyenne, cent fois plus élevée sous culture que sous forêt, en est la conséquence.

Contrairement à ce qu'on observe au Sud, il existe dans le Nord et le Centre du Sénégal un exemple d'association possible entre végétation forestière et culture : c'est le cas de l'Acacia albida.

L'enrichissement du sol en matière organique se fait sentir, sous l'arbre, jusqu'à un mètre de profondeur.

De même que les propriétés chimiques, les caractéristiques physiques du sol sont modifiées. L'ensemble de ces modifications des propriétés du sol se traduit par une très nette amélioration des rendements qu'il s'agisse du mil ou de l'arachide. Les chiffres du tableau ci-dessous en fournissent un exemple.

Tableau n° 8

**Comparaison des rendements en mil et en arachide sous Acacia albida
et en dehors du couvert**

Cultures		Sous Acacia albida	Témoin	Signi- ficatif à P...	Observations
Mil grain	kg/ha	1668	660	0,01	CHARREAU, VIDAL (1965) Mesures effectuées en 1959 sur poquets isolés
Arachide	Gousses kg/ha	1108	810	0,01	POULAIN, CHARREAU (1966) Mesures effectuées sur parcelle d'essai
	Pailles kg/ha	1266	860	0,01	

Comparaison des diverses cultures et jachères

En l'absence de travail du sol, la comparaison des effets globaux sur le sol, des diverses cultures et jachères fait ressortir assez peu de différences entre elles.

Aucune amélioration importante du profil cultural ne semble devoir être attendue du seul fait de la végétation, cultivée ou naturelle. Par contre, si pour une raison quelconque, cette végétation se développe mal, il y a lieu de craindre une détérioration des qualités physiques du sol pouvant aller jusqu'au déclenchement d'une érosion importante.

Comparaison des rotations culturales

La règle générale au Sénégal, il s'agit d'une succession culturale courte (4 ou 5 ans), suivie d'une période de jachère plus ou moins longue. Les agronomes ont implicitement admis cette règle et la nécessité d'inclure dans la rotation une période de jachère. C'est sans doute la raison pour laquelle les expérimentations comparant rotations culturales continues et rotations culturales avec intercalation de jachères, sont très peu nombreuses. Toutefois deux exemples de ce type ont pu être trouvés au Sénégal.

Le premier concerne la culture alternée sorgho - arachide poursuivie pendant deux, quatre ou huit ans et à laquelle succède ensuite une période de jachère ou d'engrais vert plus ou moins longue.

Cet essai a été mis en place en 1956 par l'IRHO à Darou sur sol hydromorphe.

Les résultats sont les suivants : (IRHO/Sénégal 1966).

ANNEE	ARACHIDE kg/ha		ANNEE	SORGHO kg/ha	
	Fumé	Non fumé		Fumé	Non fumé
A2	2620	2051	S1	571	607
A4	2581	1845	S3	865	535
A6	2504	1766	S5	773	424
A8	2433	1770	S7	793	366

La chute des rendements entraînée par la répétition de la culture n'est significative que dans les cas des parcelles non fumées. La fumure minérale utilisée ici correspond à un apport de 120 kg d'une formule 6-20-10 sur arachide et 100 kg d'une formule 14-7-7 sur sorgho. Ces très faibles apports minéraux paraissent donc suffire sur ce type de sol, à maintenir la fertilité initiale pendant au moins huit ans, sans que l'intercalation d'une jachère semble indispensable.

Un autre exemple est fourni par la comparaison d'une rotation triennale : Jachère - Arachide - Mil et d'une culture continue d'arachide. L'essai a été mis en place en 1956 à Bambey sur sol dior.

Le tableau n° 9 donne l'évolution comparée des rendements en arachide continue, avec ou sans engrais, et de l'arachide de la rotation, sans engrais.

Tableau n° 9

Évolution comparée des rendements en arachide dans deux rotations

Culture	Année										
	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	(2) 1966
Arachide continue sans engrais	800	700	761	997	800	897	984	644	771	767	211
Arachide continue avec engrais	-	-	-	-	-	1318	1562	991	1075	914	680
Arachide de la rotation triennale J - A - M	711	931	1037	1335	1022	-	1482	-	(1) 1019	-	-

(1) Rotation triennale modifiée en quadriennale : 2ème arachide

(2) Une sécheresse catastrophique a sévi en 1966.

Dès la troisième année de culture apparaît une différence de rendements de 300 à 400 kg en faveur de l'arachide en rotation triennale. Cependant l'apport d'engrais minéral permet de rattraper ce niveau ; d'autre part, comme on le verra par ailleurs, le travail du sol permet de franchir un nouvel échelon et d'atteindre, en combinaison avec l'engrais minéral, un niveau de rendement tout à fait honorable.

Les cultures successives et répétées d'arachides sur le même sol ont donc tendance à dégrader les propriétés physiques du sol ; stabilité structurale et perméabilité.

Au stade actuel de nos connaissances, il est donc très recommandé de s'en tenir à la règle de l'alternance des cultures. Cependant, sur un plan plus théorique, le problème reste posé.

Des durées différentes de jachère ont, d'autre part, été étudiées à Louga (Nord) et Darou (Centre) par l'IRHO.

De très nombreuses et très intéressantes données fournies par ces essais sont extraits ces quelques chiffres concernant l'influence de la longueur de la jachère sur les rendements en arachide, ainsi que sur ceux du sorgho à Darou, rapportés dans le tableau n° 10.

Comme on peut le voir d'après ces exemples, la jachère longue ne présente pratiquement pas d'avantage sur la jachère courte, sauf peut-être dans le cas d'un sol très dégradé.

Tableau n° 10

Évolution des rendements en fonction de la longueur des jachères

Lieu	Darou sol rouge		Darou sol hydromorphe (1)		Louga		SOURCE	
	A1 Moyenne 57-66	A2 Moyenne 59-66	A1 Moyenne 59-66	A2 Moyenne 69-66	Sorgho Moyenne 61-66	A1 Moyenne 60-66		A2 Moyenne 62-66
2 ans	2375	1910	2135	995	1995	913	744	IRHO Sénégal (1966)
3 ans	2435	1650	2265	1055	1950	1039	797	
6 ans	2440	1940	2315	1210	2055	1075	995	

(1) Résultats concernant la jachère brûlée et représentant la moyenne des traitements avec et sans engrais.

CONCLUSIONS

De tout ce qui précède, il ressort que le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural, des propriétés physiques et du bilan organique des sols n'est réellement important, dans les zones tropicales sèches, que dans le cas d'une végétation forestière. Un cas particulier de l'association essence forestières/culture a été évoqué ; on a pu montrer sur cet exemple, tout l'intérêt de cette association, tant pour le sol que pour les cultures. Dans le cas général, la déforestation est un préalable indispensable à la mise en culture ; elle entraîne une détérioration très rapide des propriétés physico-chimiques des sols.

Au contraire, les jachères herbacées composées essentiellement de graminées annuelles n'ont pas d'effet très visible sur le sol. Certes, elles assurent la protection du sol pendant toute l'année et améliorent la structure et la porosité dans l'horizon tout à fait superficiel, mais cette action est assez limitée ; par ailleurs, elles n'amènent pas de changement notable dans le bilan organique. Leur rôle peut être important pour maintenir la fertilité dans des systèmes de culture à caractère extensif ou dans des régions très défavorisées du point de vue sol et climat. Dans ces conditions en effet, les cultures ont un faible développement végétatif et racinaire ; les risques de dégradation du sol sont élevés et s'accroissent d'une année sur l'autre. On conçoit qu'il soit nécessaire alors de recourir à des successions culturales courtes, entrecoupées de jachères assez longues. Dans les régions plus favorisées, par contre, et en culture intensive (techniques culturales correctes, fertilisation minérale suffisante), le rôle protecteur, et dans une certaine mesure, améliorateur, de la jachère peut être aussi bien joué par la culture, surtout céréalière. Mis à part les risques de dégradations sous culture en début de cycle, l'analyse théorique ne permet pas, en effet, de mettre en évidence une différence

de nature ou d'intensité dans les actions respectives, sur le sol, des jachères herbacées et des cultures. Il se peut, bien entendu, que des aspects importants, aient échappé à cette analyse théorique. Cependant les résultats expérimentaux ne viennent pas, non plus, contredire ces conclusions. En bonnes conditions de climat et de sol, et avec une fertilisation minérale suffisante, la nécessité d'inclure une jachère ou une «période de repos» dans la rotation ne nous paraît pas évidente. Cela ne signifie pas, bien entendu, qu'il faille abandonner cette pratique car, en sens inverse, la démonstration expérimentale de la possibilité de cultiver le sol sans interruption avec le seul secours de la fertilisation minérale et sans faire appel au travail du sol n'a pas encore été faite, même si quelques indices peuvent être interprétés dans un sens favorable à cette thèse. Jusqu'à plus ample information, il est donc excellent, dans le domaine de la vulgarisation, de continuer à recommander l'intercalation de jachères ou de soles de repos dans la rotation. Ce qui correspond à une mesure conservatoire et à une attitude de prudence. Par contre, dans le domaine de la recherche, il importe d'essayer de fournir une réponse à la question posée.

Si les facteurs biologiques peuvent jouer un rôle important dans la conservation du profil cultural et le maintien de la fertilité, ils ne paraissent pas, à eux seuls, capables de transformer profondément le sol, d'améliorer nettement ses propriétés physiques en un mot, de créer un profil cultural.

Il convient donc de rechercher si cet objectif ne peut être atteint par d'autres moyens, à la disposition de l'agronome : les facteurs mécaniques (travail du sol) employés seuls ou en association avec les facteurs biologiques (enfouissement de matière végétale). Ces dernières questions seront traitées par ailleurs.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT G., DUBOIS J., MAIGNIEN R. 1946. Les sols à arachide au Sénégal. Rapport ORSTOM miméo.
- BONFILS R. 1963. Evolution de la matière organique dans les sols du Sénégal. L'Agro. Trop. XVIII, 12, pp. 1254-1279.
- BOUYER S. 1949. Croissance et nutrition minérale de l'arachide. L'Agro. Trop. IV. pp. 229-265.
- BOUYER S. 1959. Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole du Sénégal. Troisième conférence Inter africaine des Sols. II, pp. 842-850.
- CHAMINADE R. 1958. Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote. Ann. Agro. Série A, IX, 2, pp. 167-192.
- CHARREAU C. 1953. Notes sur quelques études faites sur les sols de la CGOT en Août 1953. I.G.A. Dakar, 10 p dactyl.
- CHARREAU C., PICON B. 1966. Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1966. Rapport IRAT/Sénégal, Division d'Agropédologie, 38 pages.
- CHARREAU C., VIDAL P. 1965. Influence de l'Acacia albida Del. sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils Pennisetum au Sénégal. L'Agro. Trop. XX, 6-7 pp. 600-625.

- COINTEPAS J.F. 1958. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à la Station Expérimentale de Séfa. Rapport miméo. ORSTOM. pp. 30-53.
- DANCETTE C. 1966 Rapport annuel IRAT/Sénégal, Division de bioclimatologie.
- DEFFONTAINES J.P. 1965. Observations sur le profil cultural du sol en conditions diverses. Rapport miméo. IRAT, 26 pages.
- DEMOLON A., HENIN S. 1936. Quelques résultats obtenus dans l'étude des sols à l'aide de la sonde dynamométrique DEMOLON-HENIN. Recherches sur le sol - Vol. 5, n° 1.
- DOMMERGUES Y. 1963. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. Bois et forêts des Tropiques 87, pp. 9-25.
- ENDREDY A.S. de, MONTGOMERY C. 1954. Some nutritive aspects of the Gold Coast forest soils 5e Cong. Int. Science du sol, III, pp. 268-273.
- FAURE J. 1953. Les sols de la région de Louga. Vue d'ensemble sur les types de sols et leur mise en valeur agronomique. Annales du C.R.A. Bambey 1955, pp. 25-33.
- GERMAIN R., EURARD C., 1956. Etude écologique et phyto-sociologique de la forêt à Brachystegia-Laurentii Dub. ENEAC, Ser. Scient. n° 67.
- GILLIER P. 1960. Le reconstitution et le maintien de la fertilité des sols du Sénégal et le problème des jachères. Oléagineux XV, 8-9, pp. 637-643 et XV, 10, pp. 699-704.
- GILLIER P. 1966. Les exportations en éléments minéraux d'une culture d'arachide dans les différentes zones du Sénégal. Oléagineux 22, 2, pp. 13-15.
- GOKHALE N.G. 1959. Soil nitrogen status under continuous cropping and with manuring in the case of unshedded tea. Soil Science, 87, pp. 331-333.
- GREENLAND D.T., NYE P.H. 1959. Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. The Journal of Soil Science, 10, 2, pp. 284-299.
- HENIN S 1960. Quelques considérations sur les rotations. Oléagineux 15, 1, pp. 9-12.
- HENIN S., DUPUIS M., 1945. Essai de bilan de matière organique du sol. Ann. Agr. 15, pp. 17-29.
- HENIN S., MONNIER G., GOMBEAU A. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agr., IX, 1, pp. 73-92.
- HENIN S., TURC L. 1949. Essai de fractionnement des matières organiques du sol. C.R.A. Agric. T 35, pp. 41-43.
- IRHO/SENEGAL Rapport annuel IRHO/Sénégal. Station de Darou, pp. 2-10.
- IRHAT/SENEGAL, 1966. Rapport annuel. Compte-rendu des essais «Longueur optimum de jachère». Point d'essai de Louga pp. 2-16. Point d'essai de Darou pp. 2-16.
- JACQUINOT L. 1964. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du Sorgho Congossane (Sorghum vulgare, var. Guineense) L'Agr. Trop., XIX, 8-9, pp. 669-722.

- JACQUINOT L. 1966. Croissances et alimentations minérales comparées de quatre variétés de Niébé (*Vigna unguiculata*, Walp.)
L'Agr. Trop. 6-7, pp. 575-640.
- JENNY H. 1941. Factors of soil formation Mc Graw Hill, New York.
- JENNY H. 1950. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. *Soil Science*, 69, pp. 63-69.
- JUNG G. 1966. Etude de l'influence de l'*Acacia albida* (Del) sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières. Rapport miméo., Centre ORSTOM - Dakar.
- JUNG. G. 1967. Influence de l'*Acacia albida* (Del) sur la biologie des sols Dior. Rapport miméo, Centre ORSTOM - Dakar.
- LAUDELOUT H. 1962. Dynamique des sols tropicaux et les différents systèmes de jachère. Rapport FAO. Rome, 1962.
- MAHEUT T., DOMMERGUES Y. 1960. Les teckeraies de Casamance, Bois et Forêts des Tropiques, 70, pp. 25-42.
- MERLIER H. 1966. Rapport annuel IRAT/Sénégal, Division d'Agrobotanique.
- MOREL R., QUANTIN P. 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. L'Agr. Trop. XIX, 2, pp. 105-136.
- NYE R.H., GREENLAND D.J. 1960. The soil under shifting cultivation. Technical communication n° 51, Commonwealth Bureau of Soils Herpenden, 1960.
- PÉLISSIER P. 1967. Les Paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Imprimerie Fabrique - Saint Yrieux (Haute-Vienne).
- PORTERES R. 1952. Aménagement de l'économie agricole et rurale du Sénégal Rapport miméo. G.G. de l'A.O.F., Tome I.
- POULAIN J.F., CHARREAU C. 1966. Compte-rendu des essais d'arachide sous Kad '(Silane) Rapport IRAT/Sénégal, Division d'Agropédologie (à paraître).
- POULAIN J.F. 1961. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (sols dior). Les principaux facteurs de leur fertilité. Rapport de Stage ORSTOM, dactyl.
- TROCHAIN J. 1940. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Mémoire de l'IFAN n° 2. Librairie Larose - Paris.
- VIDAL P. 1963. Croissance et nutrition minérale des mils (*Pennisetum*) cultivés au Sénégal.
Thèse, Faculté des Sciences Dakar.
L'Agr. Trop. XVIII, 6-7, pp. 591-668.
- WALKLEY A., BLACK I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matters and a proposed modification of the chromic acid titration method.
Soil Science, 37, pp. 29-38.