

F.A.O./S.I.D.A.

EXPERT CONSULTATION
ON
CROPPING SYSTEMS IN RELATION
TO CROP RESIDUES

FAC/SIDA REGIONAL WORKSHOP IN AFRICA
ON ORGANIC RECYCLING IN AGRICULTURE

5-17 DECEMBER 1977



LES RESIDUS DE CULTURE DANS LES SYSTEMES CULTURAUX TRADITIONNELS
DE L'AFRIQUE DE L'OUEST
EFFETS SUR LE BILAN MINERAL ET LE STATUT ORGANIQUE DES SOLS
PROPOSITIONS POUR LEUR MEILLEURE GESTION

par

Jean François POULAIN

Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières
(I.R.A.T.)

Groupe d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie Tropicale
(G.E.P.D.A.T.)

LES RESIDUS DE CULTURE DANS LES SYSTEMES CULTURAUX TRADITIONNELS
DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

EFFETS SUR LE BILAN MINERAL ET LE STATUT ORGANIQUE DES SOLS
PROPOSITIONS POUR LEUR MEILLEUR GESTION

J.F. POULAIN
Consultant

Octobre 1977

AVANT-PROPOS

En décembre 1974, la F.A.O. a organisé une consultation d'experts, financée par l'organisme Suédois de Développement Industriel (S.I.D.A.), sur "l'emploi des matières organiques comme engrais". Le bilan de cette consultation a été publié en Janvier 1975 dans la collection FAO des Bulletins pédologiques (Soils Bulletin n°27) sous le titre "Organic materials as fertilizers": Matières organiques employées comme engrais (1).

Dans la préface de cet important document, Edouard SACUNA, Directeur de la "Land and Water Development Division", fait état d'un certain désintéressement de la recherche agronomique pour l'utilisation des matières organiques comme fertilisants en raison de l'abondance d'engrais minéraux à des prix relativement modestes avant 1973-74. Depuis cette date, la situation a bien évolué car il est devenu flagrant que les matières premières du monde n'étaient pas illimitées et que leur utilisation rationnelle était une nécessité absolue. Ceci a conduit à apprécier en toute honnêteté les possibilités de réduire le gaspillage des matières qui pourraient être utilisées avec profit pour améliorer ou maintenir la fertilité des terres, tout en limitant les risques de pollution.

En 1976, Claude CHARREAU, ingénieur de recherche à l'I.R.A.T. et consultant a été chargé d'associer les recommandations de la précédente publication dans un programme d'action au niveau régional et mondial. Le programme se propose essentiellement d'encourager et de coordonner l'utilisation des matières organiques comme fertilisants en tenant compte de tous les aspects dépendants. Ce rapport, établi dans le cadre d'un projet coopératif du Programme des Nations Unies pour l'environnement s'intitule :

"Elaboration d'un programme visant à promouvoir l'emploi des matières organiques comme engrais" (2).

Claude CHARREAU distingue deux motifs justifiant l'absolue nécessité de tirer le meilleur parti des matières organiques de toute nature dans le monde entier et singulièrement dans les pays en voie de développement.

- Motif Technique et Agronomique

La revue FAO de la fertilisation mentionne en 1971 que les éléments minéraux nutritifs inclus dans les matières organiques susceptibles d'être recyclés sont 7 à 8 fois plus importants que ceux contenus dans les engrais chimiques consommés dans les pays en voie de développement. La matière organique est en effet en premier lieu un complexe de réserve d'éléments nutritifs pour les plantes. Parmi ces éléments nutritifs, on trouve à côté des éléments majeurs, un certain nombre d'autres éléments indispensables à la croissance des végétaux et généralement non inclus dans les fumures minérales classiques.

La matière organique joue cependant d'autres rôles qui lui sont spécifiques et sur lesquels nous reviendrons. Il est universellement admis que les engrais organiques et minéraux ont un rôle complémentaire et qu'leur emploi simultané permet d'optimiser les rendements.

- Motif économique

Les pays en voie de développement sont soucieux de limiter tous les intrants d'origine étrangères coûteux en devises. Dans cette perspective, les engrais organiques dont les coûts sociaux sont faibles méritent une attention particulière.

Il est donc prioritaire de réduire le gaspillage d'éléments minéraux et d'examiner dans le cadre des systèmes de production actuels ou vulgarisables toutes les possibilités de recyclage des résidus de culture.

Ce dernier point fera l'objet d'une analyse aussi précise que possible dans le rapport qui suit.

S O M M A I R E

AVANT - P R O P O S

Pages

1.	<u>GENERALITES SUR LA MATIERE ORGANIQUE ET LE RECYCLAGE DES RESIDUS</u>	4
	<u>DE CULTURES.</u>	
	1.1. Les résidus de culture : facteur essentiel du bilan minéral	4
	1.1.1. Les facteurs du bilan minéral	4
	1.1.2. Exemple d'approche du bilan minéral	6
	1.1.3. Nécessité de l'approche agronomique à long terme pour l'établissement des fumures - Contribution des résidus de culture.	10
	1.1.4. Restitutions minérales dans les systèmes de cultures	13
	1.1.4.1. Facteurs influant ^s sur la nature et l'importance des restitutions.	13
	1.1.4.1.1. Le système de production	13
	1.1.4.1.2. La succession des cultures.	14
	1.1.4.1.3. La variété	14
	1.1.4.1.4. Le niveau de production	16
	1.1.4.2. Restitutions minérales sous différentes cultures.	22
	1.1.4.2.1. Mil Pennis ^u tum	22
	1.1.4.2.2. Sorgho	24
	1.1.4.2.3. Maïs	27
	1.1.4.2.4. Arachide	28
	1.1.4.2.5. Cotonnier	29
	1.1.4.2.5. Riz pluvial	30
	1.1.4.2.6. Jachère cultivée	31
	1.1.5. Conclusion	32
	1.2. Les résidus de culture : source de matière organique - Effet à long terme - Bilan	33
	1.2.1. Restitution organique des cultures	33
	1.2.2. Les effets généraux de la matière organique	35
	1.2.3. Les principales fonctions et effets de la matière organique dans les sols tropicaux.	36
	1.2.3.1. Intervention dans la nutrition et la croissance des plantes.	36
	1.2.3.2. Importance de l'humus dans le complexe absorbant.	36
	1.2.3.3. Rôle physiologique	37
	1.2.3.4. Capacité pour l'eau	37
	1.2.3.5. Structure et développement racinaire	37
	1.2.3.6. Fourniture de substances nutritives pour les micro-organismes.	38
	1.2.3.7. Intervention indirecte	38
	1.2.3.8. Résistance à certaines maladies ou parasites.	38
	1.2.4. Variations de la matière organique dans le temps	38
2.	<u>LES SOURCES PRINCIPALES DE MATIERE ORGANIQUE A BASE DE RESIDUS</u>	
	<u>DE CULTURE.</u>	41
	2.1. Limite des fumures organiques	41
	2.2. Les sources de matière organique	41
3.	<u>LES RESIDUS DE RECOLTE DANS LES SYSTEMES TRADITIONNELS DE</u>	
	<u>PRODUCTION.</u>	43
	3.1. L'élevage	43
	3.1.1. Zone sahélienne	43
	3.1.2. Zone soudanienne	43

3.2. Les systèmes de culture	45
3.2.1. Systèmes traditionnels - Culture semi-itinérante	45
3.2.2. Systèmes à jachère intégré dans les cultures	46
3.2.3. Systèmes de culture continue.	47

4. - PROPOSITIONS POUR L'UTILISATION DES RESIDUS DE RECOLTE DANS LES S
SYSTEMES DE CULTURE TRADITIONNELLE.

- 4.1. Dans l'exploitation où l'élevage est présent
- 4.2. Dans les exploitations sans élevage
- 4.3. Nécessaire intégration agriculture - élevage
- 4.4. Motorisation.

GENERALITES SUR LA MATIERE ORGANIQUE ET LE RECYCLAGE DES RESIDUS DE CULTURES

Compte tenu de la difficulté d'appréhender d'une manière rigoureuse les composants de la "Matière Organique" dans une perspective dynamique, les agronomes ont pris l'habitude de désigner sous le terme de Matière Organique :

- les substances organiques d'origine végétale; animale et microbienne se trouvant dans le sol à un moment donné ;
- l'ensemble des composés organiques pouvant s'incorporer au sol (par action directe ou non d'enfouissement) dans le but de maintenir ou d'accroître sa fertilité.

Cet ensemble englobe d'une part les friches, les jachères, les engrais verts cultivés ; d'autre part les résidus de culture.

Ces derniers peuvent être utilisés sans transformation (parties aériennes et racines) ou convertis avec réduction massive en composés plus élaborés tels que composts et fumiers.

Notre propos se limitera aux résidus de culture et nous examinerons en premier lieu leurs intérêts sur le plan minéral et organique.

1.1. Les résidus de culture : facteur essentiel du bilan minéral

1.1.1. Les facteurs du bilan minéral

Déterminer la fumure d'un système de culture, c'est adapter globalement la fourniture des éléments minéraux aux plantes qui le compose.

Cela implique la connaissance de deux facteurs :

- dynamique de l'élément étudié dans le sol pour connaître ses insuffisances
- exigences des plantes dans les conditions pédo-climatiques et culturales choisies et selon les objectifs de production escomptés.

On est ainsi conduit à définir deux notions essentielles :

- la fumure de redressement ou de correction qui s'adresse au sol
- la fumure d'entretien ou de maintien adaptée aux plantes du système.

- La fumure de correction se définit pour un élément donné comme la quantité d'élément permettant d'atteindre le maximum de production utile. Cette définition implique d'une part une alimentation optima de la plante en eau et pour les autres éléments minéraux, d'autre part des pratiques culturales aussi parfaites que possible pour éliminer tout autre facteur limitant.

- La fumure de maintien doit compenser les exportations réelles par les cultures et les pertes par ruissellement, érosion et lessivage. Elle doit réaliser avec des fertilisants un bilan nul au niveau de la parcelle.

Elle n'a sa totale signification que lorsque la fertilité a été relevé par la fumure de correction.

Il convient de souligner que les formules d'engrais actuellement recommandées en Afrique de l'Ouest tentent pour la plupart de jouer simultanément les deux rôles. Elles tiennent compte le plus souvent de la déficience phosphorée quasi-générale du sol à corriger et des besoins essentiels des cultures. L'apport d'azote engrais est toujours préconisé, particulièrement pour les céréales, alors qu'on suppose le plus souvent la couverture des exigences en d'autres éléments, dont le potassium, assuré par le sol. Ces formules se proposent seulement de stimuler rapidement et à moindre coût la production paysanne, afin de lui permettre de satisfaire aux besoins de base et de dégager quelques surplus. Cependant, dans le cas où la formule apporte des quantités d'éléments couvrant largement les exportations et les pertes, on peut admettre qu'une correction se réalise par paliers, et ce, d'autant plus rapidement que le bilan minéral demeure chaque année nettement positif.

L'établissement du bilan minéral d'un système de culture est donc une opération essentielle, mais souvent difficile à réaliser avec précision.

Les pertes en éléments minéraux (ruissellement, érosion et lessivage) peuvent être estimées à partir des mesures réalisées en parcelles de ruissellement et d'érosion et en cases lysimétriques. Ces données sont souvent approximatives et les résultats varient dans de larges proportions selon l'année, la culture, les productions atteintes et la nature du sol.

Il apparaît plus aisé de déterminer par voie analytique les mobilisations minérales et de distinguer les exportations réelles des récoltes. Les difficultés sont pourtant nombreuses, car les exigences des plantes dépendent de nombreux facteurs : nature de la plante, variété, fertilité actuelle du sol. Le niveau de rendement est un facteur essentiel qui dépend de nombreux autres souvent difficilement contrôlés et au premier rang desquels figure la pluviométrie pour les cultures exondées. Toutefois, les principales exigences des plantes ont été évaluées et les résultats des déterminations réalisées dans les différents pays de la zone sahélo-soudanienne sont concordants.

Les éléments minéraux inclus dans les résidus de culture recyclés sont à déduire de la fumure d'entretien qui pourrait être calculé à partir des mobilisations minérales de la plante.

Au paragraphe suivant est présenté l'exemple d'un bilan minéral établi à l'échelon d'un système de culture particulièrement simple. Il met en évidence l'importance du traitement des résidus de récolte pour la détermination de la fumure d'entretien.

Il est illusoire d'envisager l'utilisation exclusive des résidus de récolte, même transformés, pour la correction des carences du sol. Sans envisager l'aspect trésorerie, cette éventualité nous apparaît aléatoire, voire néfaste.

En effet, la récolte et les résidus transformés ou non, ne sont que le reflet du sol. Ainsi le fumier sera généralement très pauvre en phosphore et une application, même massive, peut induire un déséquilibre dans le sol non corrigé en phosphore ; les autres éléments, potassium et azote en particulier, pouvant devenir excédentaires. De plus, l'application exclusive de fumier par exemple, pourrait apparaître comme une pratique appauvrissante en transférant des éléments fertilisants d'une zone (pâturage, champs de culture éloignés) au bénéfice d'une autre (champs de cases), sans réelle compensation. Ce problème de transfert de fertilité mérite une attention toute particulière.

1.1.2. Exemple d'approche du bilan minéral

Le bilan minéral présenté concerne l'élément potassium. Il a été réalisé en Haute-Volta (3). Le système de culture choisi est un système binaire simple : cotonnier-sorgho. Ce système est fréquemment observé, le maïs pouvant se substituer au sorgho dans la zone Sud-Ouest. Il comporte deux plantes à enracinement différent pour lesquelles l'évolution de la demande en potassium n'est pas semblable : le cotonnier est une plante

à forte demande instantanée mais à consommation globale moyenne, le sorgho par contre a un débit d'absorption moyen mais plus soutenu. Le bilan gagne donc à être établi à l'échelon du système.

Deux variantes ont été retenues dont les caractéristiques figurent dans le tableau I. Chacune de ces variantes a été étudiée selon deux hypothèses -

Hypothèse I : - brulis des tiges de cotonnier
- exportation des tiges de sorgho

Hypothèse II: - brulis des tiges de cotonnier
- restitution des tiges de sorgho (brulis ou enfouissement).

L'hypothèse I correspond à la zone Centre Nord où les résidus de récolte sont utilisés pour maints usages et par conséquent l'exportation des résidus pratiquement totale.

Dans la zone Sud-Ouest, les tiges de sorgho sont le plus souvent laissées sur le champ après la récolte et brûlées au moment de la préparation des terres. Les pertes en potasse ont été extrapolées à partir des résultats des études sur le ruissellement, l'érosion et le drainage réalisés à SARIA de 1971 à 1974 par ROOSE (ORSTOM), ARRIVETS et POULAIN (IRAT (4)). Elles sont relativement légères, mais s'appliquent à des sols à faible pente pour lesquels les phénomènes de ruissellement et d'érosion sont bien contrôlés. Les apports par les eaux de pluie sont la moyenne des mesures enregistrées à SARIA pendant les trois années de l'étude précédemment citée.

L'approche du bilan minéral potassium est présentée au tableau II.

TABLEAU I

CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES

	Système A	Système B	
Région	Centre Nord	Sud-Ouest	
Roche-mère	granite	grès	
Nature du sol	Sol ferrunigeux tropical sur carapace à 50 cm	Sol faiblement ferrallitique profond modal	
Pente	0,5%	0,5%	
Argile 0-20 cm %	10,5%	9,5%	
K total ‰ _{0g} 0-20 cm	4,5 ‰ _{0c}	1,0 ‰ ₀₀	
K ech. meq/100 g 0-20 cm	0,14 meq/100 g	0,11 meq/100 g	
Pluviométrie moyenne	800 mm	1100 mm	
Production {	coton-graines	1 t/ha	1,6 t/ha
	sorgho-grains	1 t/ha	1,8 t/ha
Techniques culturales	optima	optima	
Pertes {	Ruissellement		
	Erosion	20 kg K ₂ O/ha/an	20 kg K ₂ O/ha/an
	Drainage		
Apport pluies	4 kg K ₂ O/ha/an	4 kg K ₂ O/ha/an	
Fumure minérale -	cotonnier	19 - 35 - 0	50 - 50 - 30
	sorgho	32 - 18 - 0	65 - 35 - 30

TABLEAU II

APPROCHE DU BILAN POTASSIUM (kg K₂O/ha)

	Cultures	Nature des grains et pertes	Hypothèse I		Hypothèse II		Bilan sur un cycle de 2 ans	
			Gains	Pertes	Gains	Pertes	Hyp. I	Hyp. II
Système A	Cotonnier 1 t/ha	Système racinaire	8		8		- 52	- 40
		Brulis tiges	-	15	-	15		
		Pertes	-	20	-	20		
		Pluies	4	-	4	-		
		Fumure	0	-	0	-		
	Sorgho 1 t/ha	Système racinaire	4		4			
		Exportation tiges	-	17	-	-		
		Recyclage tiges	-	-	-	5		
		Pertes	-	20	-	20		
		Pluies	4	-	4	-		
Système B	Cotonnier 1,6 t/ha	Système racinaire	16		16		- 1	+ 18
		Brulis	-	24	-	24		
		Pertes	-	20	-	20		
		Pluies	4	-	4	-		
		Fumure	30	-	30	-		
	Sorgho 1,6 t/ha	Système racinaire	7		7			
		Exportation tiges	-	31	-	-		
		Recyclage tiges	-	-	-	9		
		Pertes	-	20	-	20		
		Pluies	4	-	4	-		
		Fumure	30	-	30			

L'examen du tableau II met en évidence d'une part l'impossibilité d'équilibrer le bilan minéral en absence d'une fertilisation convenable, même à un niveau modeste, d'autre part l'intérêt du recyclage des résidus de récolte qui autorise la réduction du déficit minéral et un bilan minéral positif en présence de fumure.

1.1.3. Nécessité de l'approche agronomique à long terme pour l'établissement des fumures - Contribution des résidus de culture

Le coût et la rentabilité des fumures minérales est un souci permanent dans les pays en voie de développement, singulièrement dans ceux où le rapport du coût de la fumure minérale au prix des produits est très élevé. La plupart des pays ont été conduits à subventionner largement l'engrais distribué aux cultivateurs. Ainsi en Haute-Volta, le prix de revient de "l'engrais coton" vendu 35 F.CFA au cultivateur est supérieur à 75 F. en 1977, et le Sénégal a accordé en 1976 plus de 3 milliards CFA de subvention à la fumure minérale. On admet donc volontiers l'insistance des responsables pour l'application de formules de fumure économiquement rentables dans les conditions du rapport $\frac{\text{input}}{\text{output}}$ qui prévalent actuellement. De plus ces formules doivent répondre au critère d'incitation qui s'établit d'après la FAO à un niveau acceptable quand la valeur de l'augmentation de récolte obtenue est au moins deux fois supérieure au coût de la fumure minérale qui l'engendre.

Cette approche socio-économique à court terme est souvent la seule démarche réalisée, mais rarement le bilan minéral correspondant à l'ensemble des cultures d'une succession culturale est pris en considération(5).

Et cependant pour l'agronome dont le raisonnement à long terme est essentiel, il est impératif de maintenir un bilan positif sinon équilibré entre les gains et les pertes. Un bilan régulièrement négatif, même satisfaisant sur le plan économique, est inacceptable car il masque en réalité une baisse régulière de fertilité des sols par épuisement de leurs réserves dont les conséquences, sans doute peu visibles ou légères à court terme sur les rendements physiques des cultures, ne manqueront pas de s'affirmer à moyen et long terme sur la production agricole globale du pays. Il ne faut pas oublier que la récolte d'un champ ne recevant aucun engrais est produite, sauf cas exceptionnel, grâce aux éléments minéraux existants dans le sol qui caractérisent la fertilité actuelle. Si l'on admet seulement que ce capital nutritif doit être entretenu par des apports compensant les pertes, il faut également reconnaître que chaque dose d'entretien est nécessaire dans sa totalité pour produire la totalité de

la récolte. Pour G. BARBIER (5) et dans cette optique, "le calcul de rentabilité des doses d'entretien n'a guère plus de sens que si l'on se proposait de calculer par exemple la rentabilité de l'emploi des semences dans la production d'une culture". Ce même chercheur affirme : "Plutôt que de calculer le bénéfice à retirer de l'emploi de ces engrais dans l'immédiat, il serait préférable de chercher à prévoir les pertes d'argent croissantes qu'aurait à subir l'agriculteur ou son successeur dans 5, 10, 15 ou 20 ans, en l'absence prolongée de fumure d'entretien".

De nombreuses expérimentations menées par l'IRAI dans la plupart des pays ont mis en évidence cet arrière-effet négatif de l'absence de fumure ou de l'utilisation répétée de fumure trop réduite et incomplète s'accompagnant d'un bilan minéral déficitaire.

Les compte-rendu des résultats de ces expérimentations attirent toujours l'attention des responsables sur le fait que les propositions de fumure élaborées dans le seul souci socio-économique doivent être provisoires et insistent sur les graves dangers de leur assimilation à des propositions définitives.

Il est intéressant de mentionner le travail des chercheurs de l'ISRA qui ont tenté de concilier les deux approches socio-économiques et agronomiques. Ils ont réussi à définir les conditions pour lesquelles les fumures minérales satisfont globalement aux contraintes agro-socioéconomiques et ce, en fonction du rapport $\frac{\text{input}}{\text{output}}$ (6) [Interprétation agro-économique des essais d'engrais par C. PIERI - F. GANRY - P. SIBAND - ISRA Sénégal⁷].

Les auteurs précités ont établi les fonctions de production dans le cas des fumures azotées et potassiques sur mil pennisetum dans les sols très sableux ferrugineux tropicaux peu lessivés du Sénégal. Il est important de souligner que celles-ci sont très différentes selon que les pailles sont restituées ou non.

Ainsi, pour la fumure azotée, il est possible de trouver des doses satisfaisantes aux contraintes agro-socioéconomiques selon les rapports coût/prix actuel. Mais les déterminations mettent en évidence la possibilité de trouver des doses acceptables en fonction des critères retenus pour des rapports coût-prix plus élevés si les pailles de mil sont recyclées.

Pour la fumure potassique, la situation est plus précaire car en absence de restitution de pailles, il n'y a pas de solution agro-économique admissible, car le bilan apports-exportations est toujours négatif. Avec recyclage des résidus de culture, une solution peut être trouvée sous réserve d'un rapport coût/prix ne dépassant pas la valeur de 4.

Même dans ces conditions, la marge est étroite car un accroissement du coût de l'engrais de 45% nous ramènerait au premier cas, c'est-à-dire l'impossibilité de satisfaire les trois critères agro socio-économique (7) [La fumure potassique des cultures pluviales dans les sols exondés sableux au Sénégal - C. PIERI ISRA Sénégal].

Des expériences similaires ont été conduites dans des conditions pédo-climatiques différentes au Sénégal [Rentabilité de la fumure potassique de quelques céréales de culture sèche au Sénégal par C. PIERI].

A Nioro du Rip dans le Sud du Saloum, on note un effet spectaculaire de l'enfouissement des pailles de riz équivalent à 90 kg/ha de K_2O sur la culture de maïs suivante. Pour la succession inverse, on observe à Séfa en moyenne Casamance, que l'enfouissement des résidus de récolte du maïs annule les effets de la fumure potassique sur riz pluvial. Il s'agit donc bien là d'une contribution minérale effective des résidus de récolte puisque sur le plan strictement socio-économique la culture de riz pluvial suivant le "maïs paille enfouie" n'aurait pas besoin de recevoir d'engrais minéraux potassiques et que la contrainte agronomique peut être satisfaite par des apports modérés.

Certes, comme le souligne C. PIERI, la méthode d'interprétation agro-socio-économique reste sans doute approximative. Ainsi les besoins des plantes sont probablement surestimés par le fait même du dispositif "Courbes de réponse sur une seule culture" car dans la pratique il est rare que tous éléments minéraux sauf celui qui fait l'objet de l'étude soient à l'optimum. par contre les pertes par lessivage, ruissellement et érosion demeurent difficilement mesurables et sont très probablement sous-estimées [Sous sorgho cultivé dans le sens de la pente, celle-ci étant faible : 0,7%, les pertes sont respectivement par an de 9 kg/ha K_2O par ruissellement, 28 kg/ha K_2O par l'érosion, 2 kg/ha K_2O par drainage vertical sur les sols ferrugineux tropicaux sur carapace à Saria - Haute-Volta - (3) et (4)].

Et les auteurs concluent (6) "Pour l'agronome, il est important de savoir que dans chaque situation il existe effectivement une situation d'équilibre minéral que l'on n'atteint jamais parfaitement.... l'objectif majeur sera la recherche de paramètres signifiants de l'évolution de l'écosystème, de façon à savoir à l'avance quand il sera nécessaire d'intervenir sur le plan de la pratique agricole, pour prévenir sinon une dégradation permanente du capital foncier, du moins une dépression sensible de la production".

1.1.4. Restitutions minérales dans les systèmes de cultures

Les quelques exemples cités ont mis en évidence l'importance des résidus de culture dans l'équilibre du bilan minéral. Avant de passer en revue les principales cultures entrant dans les systèmes de production les plus courants en Afrique de l'Ouest, il importe de préciser les facteurs qui déterminent la nature et l'importance des restitutions.

1.1.4.1. Facteurs influant sur la nature et l'importance des restitutions

Nous en retiendrons essentiellement quatre :

- le système de production
- les successions de culture
- la variété relative à chaque culture de système
- le niveau de production.

1.1.4.1.1. Le système de production

Il est évident qu'un système de production qui intègre l'agriculture et l'élevage - permet la diversification et la transformation des résidus de récolte. Outre l'intérêt d'utiliser les animaux pour les façons culturales, labour d'enfouissement en particulier, la présence de bovins sur l'exploitation autorise les opérations suivantes :

- transport et stockage des résidus de culture pour la saison sèche

S'il est raisonnable d'envisager la consommation des résidus de récolte directement au champ, il est prudent d'envisager un transport et stockage d'une partie des sous-produits pour l'alimentation des animaux en saison sèche. On limitera ainsi les dommages causés par le feu et les vols.

La charrette, indispensable pour conserver les habitudes de travail des boeufs dressés en saison sèche, constitue ainsi un moyen d'incitation important à la culture attelée.

- élévation et transport de l'eau

L'eau est un élément essentiel pour l'alimentation humaine et animale, mais la disponibilité en plus grande quantité sur l'exploitation permettra la fabrication de compost ou fumier de qualité.

- transformation des résidus en fumier

Dans un tel système de production, l'utilisation des résidus de culture à d'autres fins que l'alimentation des animaux doit demeurer très marginale. Les problèmes de transport et d'eau étant solutionnés, il appaîrait possible d'envisager la fabrication de fumier avec apport de litière. Bien sûr l'alimentation des animaux restera en partie assurée par les parcours, mais dans ces systèmes les sous produits de récolte doivent y prendre une place de plus en plus importante.

1.1.4.1.2. La succession des cultures

Nous avons insisté sur le fait essentiel que la présence de bétail sur l'exploitation donne une orientation fondamentalement différente aux traitements des résidus de culture et autorise leur recyclage pratiquement intégral.

En se limitant maintenant au système de culture, nous rappellerons que deux cultures qui se succèdent sur une même parcelle ne sont pas indépendantes. Ainsi une culture modifiée par sa présence l'était de la parcelle directement par ses organes et indirectement par les techniques culturales qui lui sont liés (9). Ainsi un cotonnier de maïs diffère notablement d'un cotonnier de sorgho. En raison des cycles des deux céréales et de la reprise en masse des sols après l'arrêt des pluies on pourra réaliser un labour d'enfouissement des résidus de récolte du maïs. Cette opération sera impossible après la récolte du sorgho compte tenu des variétés actuellement disponibles. Il sera donc possible dans le premier cas non seulement de recycler les résidus de récolte, mais également de semer le cotonnier précocement après une simple reprise du labour d'enfouissement. Après sorgho, on est conduit soit à exporter les résidus et dans le meilleur des cas selon les possibilités du cultivateur à les transformer en compost ou fumier, sinon à les brûler. On attendra ensuite une pluie convenable pour réaliser le labour dont le profit n'est pas contentable sur le cotonnier et probablement une deuxième pluie pour réaliser le semis. En raison du cycle assez long du cotonnier, le retard au semis s'accompagne généralement d'une baisse de rendement.

La nature de la rotation est donc essentiel et on peut dès à présent affirmer que plus la proportion de cultures à résidus abondants sera élevé dans la rotation (en particulier cas des céréales traditionnelles - Mil et Sorgho), plus il sera indispensable de préconiser le recyclage de ces résidus en raison des prélèvements minéraux importants.

Dans le cas de résidus abondants, il sera sans doute possible, si le recyclage est bien effectif, de résoudre le problème de la matière organique.

1.1.4.1.3. La variété

Il est évident que les mobilisations minérales des plantes dépendent également de la variété cultivée. Si nous connaissons en moyenne les besoins du maïs, du riz, du sorgho etc.... il ne s'agit que de chiffres approximatifs qui varient avec la variété dont la composition exacte n'est pas toujours bien déterminée. Cependant des déterminations ont été réalisées sur les principales variétés recommandées à la vulgarisation.

Ainsi J. DUBERNARD au Cameroun (10) et M. DEAT en Côte d'Ivoire (11) ont montré qu'il existe de nombreuses variations dans la teneur en éléments minéraux des variétés de cotonnier : variétés américaines, BJA du Cameroun, 442 de Côte d'Ivoire.

Les quantités d'éléments exportés par les résidus aériens en kg pour 1 tonne de coton-graines figurent dans le tableau III.

TABLEAU III

ELEMENTS EXPORTES PAR LES RESIDUS AERIENS EN KG POUR
UNE RECOLTE D'UNE TONNE DE COTON-GRAINE

	N	S	P	B	K	Ca	Mg
USA (1955)	46		8,0		55,0	18,0	9,0
Cameroun (1972)	60	7,5	8,0	0,07	59,0	29,0	11,0
Côte d'Ivoire (1974)	36	3,6	4,5	0,04	41,5	18,4	5,0

(d'après M. DEAT et G. SEMENT)

IRCT Côte d'Ivoire

Outre ces variations intervariétales, les auteurs soulignent l'importance des variations de poids de matière sèche résiduelle pour une même production de fibres suivant les variétés considérées et pour une même variété suivant les conditions climatiques.

Des études semblables ont été faites sur sorgho. Nous citerons trois résultats obtenus au Sénégal (12), en Haute-Volta (13) (14) et au Cameroun (15) pour des conditions de rendements analogues.

TABLEAU IV
ELEMENTS EXPORTES PAR LES RESIDUS AERIENS
POUR UNE RECOLTE D'UNE TONNE DE GRAINS

	N	P	K	Ca	Mg
Sénégal (SH 60)	12	1	10	9	9
Haute-Volta (S.29)	19	3	33	8	7
Cameroun (IRAT 85)	7	3	24	7	6

On constate que les exportations en phosphore, calcium et magnésium sont relativement constantes. Plus de la moitié du P se retrouvent dans les résidus aériens qui contiennent l'essentiel du Calcium et du Magnésium (75% pour Mg, 90% pour Ca). L'estimation est plus délicate en ce qui concerne la potasse, car l'absorption de cet élément par la plante dépend avant tout du niveau de fertilité du sol en cet élément, et il est difficile de déterminer à partir de quel niveau on peut parler de "Consommation de luxe". On soulignera cependant que 90% du K sont prélevés par les tiges quelque soit la variété. Pour l'azote on observe des variations importantes et il se peut que le type de la plante en soit la cause, tout au moins pour les exportations relatives à la partie végétative; la quantité d'azote contenu dans les grains, qui représente plus de 50% des mobilisations minérales totales en cet élément, étant plus régulière.

1.4.1.4. Le niveau de production

Des déterminations systématiques ont été réalisées sur le sorgho en Haute-Volta à différents stades d'intensification de la culture (14) (15).

Le tableau V présente les résultats obtenus en 1969 pour 4 niveaux d'intensification (variété S.29 à grande tige) appliqués depuis 10 ans.

Culture continue de sorgho

<u>Stade 1</u>	Aucun apport minéral	(rendement	140 kg/ha)
<u>Stade 2</u>	Fumure minérale faible déséquilibrée	(rendement	870 kg/ha)
<u>Stade 3</u>	Fumure minérale faible identique au stade 2 + 5 t fumier/ha/an	(rendement	1.800 kg/ha)
<u>Stade 4</u>	Fumure minérale forte + 40 t fumure/ha/an	(rendement	3.100 kg/ha)

Fumure minérale faible/ha 8-24-0

Fumure minérale forte/ha 50-50-0 (le potassium a été inclus à partir de 1970 dans la formule)

Fumier pour 1 tonne à 7,2-3,4-15,8 (+ 5,8 CaO et 3,4 MgO)
70% d'humidité

TABLEAU V

VALEUR DES EXPORTATIONS POUR UNE PRODUCTION DE
UNE TONNE DE GRAINS (à 12% d'humidité environ)

éléments Stades	N			P			K			Ca			Mg		
	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$
Stade 1	33,4	14,5	43	4,3	1,4	33	36,8	33,0	90	6,9	6,4	93	6,4	4,7	73
Stade 2	28,4	10,8	38	3,6	1,0	27	31,3	27,2	87	6,9	6,4	92	5,7	4,1	71
Stade 3	33,7	16,0	47	6,4	3,6	56	52,8	48,9	93	7,7	7,1	93	8,0	6,2	78
Stade 4	35,4	16,9	48	7,9	5,0	63	73,8	69,7	95	5,9	5,4	93	6,9	5,2	79

ET : Exportations totales

ER : Exportations des résidus aériens (Tiges + feuilles)

L'examen du tableau V montre que les divers traitements ont peu d'influence sur les exportations azotées dans les tiges et les feuilles. L'azote est principalement accumulé dans les grains et l'influence de la fumure azotée apparait faiblement sur les organes végétatifs.

Le niveau de phosphore dans ceux-ci est relativement faible en valeur absolue, mais fortement influencée par la fumure. L'effet de la fumure organique est particulièrement net, sans doute grâce à la forme labile des composés phosphorés organiques ou (et) à l'action du fumier sur la libération et l'assimilation de certaines formes de phosphore du sol. Les teneurs en potassium dans les tiges sont très importantes (90% du K mobilisé) et très variables selon les traitements. Le calcul des exportations totales des tiges et feuilles en kg/ha compte tenu des rendements atteints met en évidence d'une manière plus nette que les teneurs les variations selon le niveau de fertilisation (tableau VI). On soulignera que la quantité exportée par les tiges et les feuilles au stade d'intensification 4 est du même ordre de grandeur que la totalité du potassium échangeable de l'horizon 0-20 cm du sol (0,16 meq/100 g).- Si on considère le rendement de 3 t/ha comme la potentialité actuelle de l'association "sol - pluie - variété", tout apport supplémentaire d'éléments minéraux absorbés par la plante au-dessus de ce qui est nécessaire pour obtenir ces 3 t/ha, se retrouve dans la partie végétative. Il s'agit bien là d'une consommation de luxe.

TABLEAU VI

	Exportations tiges + feuilles en K (kg/ha) pour 1000 kg grains	Rendement grains kg/ha	Exportation totale en kg K ₂ O/ha
Stade 1	33,0	140	5,5
Stade 2	27,2	870	28,4
Stade 3	48,9	1.800	105,6
Stade 4	69,7	3.100	259,3

Les teneurs en Ca et Mg sont peu influencées par les traitements bien que comme le potassium, la majorité de ces éléments sont compris dans les organes végétatifs. On soulignera l'antagonisme K-Ca et K-Mg sensible seulement au stade 4 avec un apport organique très important.

L'azote est certainement un facteur déterminant sur les mobilisations minérales des autres éléments.

Le tableau VII qui suit met en évidence les variations des teneurs en P, K, Ca et Mg des résidus aériens d'une culture de maïs à 2 niveaux de fumure. N = 0 (rendement 715 kg/ha) variété hâtive
N = 75 (rendement 3.450 kg/ha) Jaune de Fô.

Ces résultats ont été obtenus dans un essai courbe de réponse sur sol faiblement ferrallitique modal sur grès à Farako-Bâ.

TABLEAU VII

VALEUR DES EXPORTATION POUR UNE PRODUCTION DE
UNE TONNE DE MAIS GRAINS (à 13% d'humidité environ - kg/ha)

	P			K			Ca			Mg		
	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$	ET	ER	$\frac{ER}{ET}$
N = 0	22,0	9,0	41	30,7	27,3	89	4,3	3,9	91	11,4	8,8	77
N = 75	10,8	2,5	23	14,3	11,2	78	2,6	1,8	69	4,7	2,6	55
Référence moyenne avec fumure azotée (Sénégal- Hte-Volta- Mali-Niger)	11,4	2,3	23	16,4	8,2	50	3,0	2,2	73	4,8	2,9	60

On note que la présence d'azote, premier facteur d'accroissement de la production de Matière sèche, dans le fumier induit un effet de dilution. Les teneurs en P, K, Ca et Mg sont nettement plus faibles au niveau N 75.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que les exportations restent fonction des rendements. Ainsi pour l'élément potassium les exportations totales des résidus doublent avec la fumure azotée dans l'exemple précédent

DUBERNARD au Cameroun (10) a étudié globalement la teneur en éléments minéraux dans les résidus de récolte du cotonnier pour des niveaux de production variables. Une étude similaire a été réalisée à Bouaké (11) en séparant les constituants des résidus de récolte en deux classes : tiges + débris (feuilles restantes, capsules parasitées; brindilles, bractées florales) et parois carpellaires.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau VIII (17).

TABLEAU VIII
TENEUR EN % DE MATIERE SECHE

Rendement kg/ha	Résidus aériens kg/ha	N	S	P	K	Ca	Mg	Bppm	
<u>Cameroun</u>									
561	3.120	1,52	0,20	0,16	1,36	0,84	0,28	16,5	
1178	5.900	1,40	0,16	0,20	1,28	0,68	0,26	16,5	
1318	6.500	1,54	0,19	0,22	1,32	0,76	0,28	14,5	
1841	7.400	1,47	0,15	0,20	1,72	0,76	0,28	17,5	
2164	6.800	1,31	0,18	0,20	1,36	0,68	0,24	16,5	
<u>Côte d'Ivoire</u>									
773	3220	tiges	0,60	0,08	0,04	0,56	0,68	0,16	12,0
		carp.	0,73	0,23	0,08	2,48	0,44	0,12	13,0
1489	4070	tiges	0,56	0,04	0,04	1,08	0,68	0,12	13,0
		carp.	0,64	0,24	0,10	2,80	0,44	0,12	14,0
1645	4000	tiges	0,56	0,04	0,04	1,32	0,68	0,12	13,0
		carp.	0,66	0,27	0,16	3,20	0,44	0,12	14,0

On soulignera l'évolution importante de teneurs en potassium quand les productions varient, les autres éléments ayant des variations plus limitées.

Ces quelques résultats montrent que de nombreux facteurs, et particulièrement le niveau de production, influent sur la teneur en éléments minéraux des résidus aériens. Ils mettent en évidence la difficulté des études sur les résidus de récolte et le danger qui réside dans la simple extrapolation de données obtenues dans des conditions différentes de l'étude que l'on entreprend. Nous présenterons cependant les principales données relatives aux cultures principales dans le chapitre suivant, en précisant les conditions de leur obtention, étant maintenant bien instruit de la limite de confiance à leur accorder.

A ces difficultés de détermination précises des mobilisations minérales des différentes parties de la plante, il convient cependant d'ajouter pour être complet celles qui ont trait aux problèmes de l'échantillonnage. Une intéressante approche a été réalisée pour le Sorgho par J. GIGOU (IRAF Cameroun) (15).

Cette étude met en évidence le fait que :

- l'hétérogénéité est toujours plus grande sur les poids de matière sèche (indispensables pour l'estimation des exportations totales) que sur les teneurs
- l'hétérogénéité est plus grande en début de végétation qu'à la récolte.

1.4.2. Restitutions minérales sous différentes cultures

Ces réserves étant faites il est intéressant de chiffrer les quantités d'éléments minéraux dans les résidus aériens et souterrains des principales cultures. De nombreuses données figurent dans la littérature et nous nous limiterons aux cultures principales et ce dans deux hypothèses : culture traditionnelle et culture améliorée

Nous ferons appel pour les cultures vivrières aux résultats obtenus pour l'IRAT et l'ISRA Sénégal (P. VIDAL, L. JACQUINOT, C. CHARREAU) et rassemblés par F. GANRY (ISRA Sénégal) dans un document récent sur l'importance des enfouissements de matière organique dans l'amélioration des systèmes culturaux au Sénégal (18).

L'auteur incite à la prudence concernant les estimations relatives au système racinaire, celui-ci étant encore assez mal apprécié à la fois quantitativement (ordre de grandeur de l'ordre de 50% dans l'évaluation de la masse racinaire) et qualitativement.

La culture traditionnelle est caractérisée par des rendements faibles avec exportations ou brûlis des parties aériennes après récolte.

La culture de type améliorée avec des rendements élevés se distingue par le bon développement des systèmes racinaires en raison de la pratique de labours et la possibilité d'enfouissement des résidus de culture aériens après récolte selon le cycle des plantes et les conditions pédo-climatiques.

1.4.2.1. Mil Pennisetum

1 Culture traditionnelle

{ Rendement en grains	1.100 kg/ha
{ Rendement en paille	6.200 kg/ha
{ Poids des racines	800 kg/ha

Exportation utile : épi

Les pailles sont entièrement exportées avec cependant quelques restes après prélèvements par les hommes et les animaux de passage. Ces résidus, estimés à 20% sont brûlés avant préparation (hypothèse I).

Dans un deuxième hypothèse, les pailles restent sur le champ et sont brûlés ensuite. Au cours du brûlis, il se produit des pertes estimées à 90% de la matière sèche de l'azote et du soufre.

Les autres éléments sont restitués mais répartis d'une manière très hétérogène sur le sol (brûlis en tas ou en andains).

TABLEAU IX

RESTITUTIONS en kg/ha d'éléments

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I	Système racinaire	800	6	4	1	9	2	4
	Pailles résiduelles brûlées	120	1	3	0,1	4	7	11
	Total restitution Hypothèse I	920	7	7	1,1	13	9	15
Hypothèse II	Système racinaire	800	6	4	1	9	2	4
	Paillées brûlées	620	4	14	0,4	16	35	53
	Total restitution Hypothèse II	1.420	10	18	1,4	25	37	57

ii Culture améliorée

{ Rendement en grains 2.000 kg/ha
{ Rendement en paille 8.000 kg/ha
{ Poids des racines 1.500 kg/ha

Exportation utile. : épi

Trois hypothèses peuvent être faites pour la restitution des pailles

- les pailles restent sur le champ et sont brûlées (mil tardif, impossibilité d'enfouissement avant culture car retard au semis préjudiciable)
- enfouissement avec mil tardif avant semis (perte de matière sèche 30% environ)
- enfouissement après récolte s'il s'agit d'un mil tardif ou dans des conditions climatiques exceptionnelles.

TABLEAU X

RESTITUTIONS en kg/ha d'éléments

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I	Système racinaire	1.500	11	8	2	17	3	8
	Pailles brûlées	800	5	18	0,5	21	45	68
	Total restitution Hypothèse I	2.300	16	26	2,5	38	48	76
Hypothèse II	Système racinaire	1.500	11	8	2	17	3	8
	Pailles partiellement enfouies	5.600	32	13	3	15	34	48
	Total restitution Hypothèse II	7.100	43	21	5	32	37	56
Hypothèse III	Système racinaire	1.500	11	8	2	17	3	8
	Pailles enfouies	8.000	46	18	5	21	45	68
	Total restitution Hypothèse III	9.500	57	26	7	38	48	76

1.1.4.2.2. Sorgho

i Culture traditionnelle

(Rendement en grains 630 kg/ha
Situation A. (Rendement en paille 5.380 kg/ha
(Haute-Volta) (Poids des racines 590 kg/ha

Résultats

J. ARRIVETS (14)

(Rendement en grains 1.100 kg/ha
Situation B. (Rendement en pailles 3.500 kg/ha
(Sénégal) (Poids de racines 800 kg/ha

L. JACQUINOT (12)

C. CHQRREAU

Nous formulerons les mêmes hypothèses que celles retenues pour le mil pennisetum.

TABLEAU XI
RESTITUTIONS en kg/ha

			Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
A Hta-Volta Centre 630 kg/ha	Hypothèse I	Système racinaire	590	4,5	4,8	-	2,8	0,3	1,5
		Pailles résiduelles (20%) brûlées	110	0,4	0,5	-	9	0,4	0,7
		Total restitution Hypothèse I	700	4,9	5,3	-	11,8	0,7	2,2
Cycle 125 jours Variété S.29	Hypothèse II	Système racinaire	590	4,5	(1) 4,8*	-	2,8	0,3	1,5
		Pailles brûlées	540	2	2,2	-	(2) 44,3*	2,0	3,7
		Total restitution Hypothèse II	1.130	6,5	7,0	-	47,1	2,3	5,2
B Sénégal- Saloum 1100 kg/ha grains	Hypothèse I	Système racinaire	800	5	0,5	1	4	2	3
		Pailles résiduelles (20%) brûlées	70	0,2	0,02	0,2	3	3	5
		Total restitution Hypothèse I	870	5,2	0,5	1,2	7	5	8
	Hypothèse II	Système racinaire	800	5	0,5	1	4	2	3
		Pailles brûlées	350	1	0,1	0,7	12	14	24
		Total restitution Hypothèse II	1.150	6	0,6	1,7	16	16	27

(1) Le chiffre correspondant aux mobilisations de P₂O₅ dans les racines apparait comme très élevé en regard de ceux obtenus au Sénégal. Cette détermination a été réalisée au 120^e jour en Haute-Volta et il faut souligner que les mobilisations étaient du même ordre de grandeur que celles réalisées au Sénégal au 45^e jour et au 75^e jour à savoir 0,7 kg de P₂O₅. J. ARRIVETS pense qu'à partir du 90^e jour il y a migration importante de P₂O₅ vers les racines.

(2) Les mobilisations de K₂O sont également importantes, le maximum étant atteint au 75^e jour. J. ARRIVETS considère que les pertes par excréation racinaire et par pluvio-lessivage sont relativement élevées.

ii. Culture améliorée

{ Rendement en grains 2.500 kg/ha
 { Rendement en paille 7.500 kg/ha
 { Poids des racines 2.000 kg/ha

TABLEAU XII

TRESTITUTIONS en kg/ha d'éléments

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I	Système racinaire	2.000	12	1	2	9	5	9
	Pailles brûlées	750	3	3	1,5	25	29	52
	Total restitution Hypothèse I	2.750	15	4	3,5	34	34	61
Hypothèse II	Système racine	2.000	12	1	2	9	5	9
	Pailles enfouies	7.500	26	3	15	25	29	62
	Total restitution Hypothèse II	9.500	38	4	17	34	34	71

Pour les deux céréales traditionnelles précédentes, dont les variétés sont le plus souvent à cycle court, il est difficile voire impossible d'enfouir après la récolte. On peut cependant envisager une restitution différée par fabrication et enfouissement de fumure ou compost selon la présence ou non d'animaux sur l'exploitation.

1.4.2.2.3. Maïs

Nous ne ferons état que des résultats obtenus en culture pluviale améliorée. Les résultats présentés ont été enregistrés dans un essai de courbe de réponse à l'azote sur sol faiblement ferrallitique modal à Farako-Bâ (IRAT - Haute-Volta) et se limitent aux parties aériennes. Les fumures en P₂O₅ et K₂O sont respectivement de 190 kg/ha et 50 kg/ha. Les données correspondent à la moyenne des résultats enregistrés sur les parcelles ayant reçues 50 et 75 kg d'azote (Résultats DUPONT DE DUNECHIN (13)).

Nous ferons deux hypothèses

- Exportation des pailles pour l'affouragement avec recyclage différé (fumier) et brûlis des pailles résiduelles (20%) ;
- Enfouissement total des résidus par labour de fin de cycle

Production : 3.050 kg/ha - Maïs grains à 21% d'humidité.

TABLEAU XIII

RESTITUTION en kg/ha

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I	Pailles résiduelles brûlées	460	0,3	0,5	5,6	0,9	1,0
Hypothèse II	Résidus enfouis	2.300	11,8	2,6	28,0	4,7	4,9

Les résultats sont sensiblement inférieurs à ceux obtenus au Sénégal ou dans les climats tempérés pour ce qui concerne l'azote et le phosphore. Il se peut que la variété locale hâtive à cycle court utilisée soit moins exigeante en ces éléments.

1.4.2.2.4. Arachide

Nous ferons avec F. GANRY (18) deux hypothèses

i. Culture traditionnelle

(Rendement en gousses 1.200 kg/ha
{ Poids de fanes 700 kg/ha
{ Poids de racines 600 kg/ha

Les parties aériennes sont entièrement exportées pour le fourrage, cependant on observe une défoliation importante et environ 1/4 des parties aériennes

TABLEAU XIV

RESTITUTIONS en kg/ha d'éléments

	Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Système racinaire	600	10	1	1	6	7	7
Feuilles (1/4 fanes)	175	4	1	0,5	5	4	3

ii. Culture améliorée

(Rendement en gousses 2.250 kg/ha
{ Poids de fanes 3.100 kg/ha
{ Poids de racines 1.000 kg/ha

Les fanes sont également exportées, mais en raison de bonnes conditions de récolte et de battage, les pertes par défoliation sont réduites à 10%.

TABLEAU XV

RESTITUTION en kg/ha d'éléments

	Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Système racinaire	1.000	16	2	2	10	12	12
Feuilles (1/10 fanes)	310	3	1	0,5	4	3	3

La culture du Niébé (*Vigna unguiculata*) est faite dans les mêmes conditions que l'arachide (exportation des fanes pour l'affouragement). Les exportations sont voisines, mais assez nettement plus importantes en potassium (45 kg K₂O mobilisés pour une production d'une tonne de grains).

Il y a donc lieu d'être prudent dans le cas d'une culture pure intensive, car les risques d'apparition d'une déficience potassique sont grands en l'absence d'une fumure complète NPK. [La fumure minérale du Niébé au Sénégal par R. NICOU et J.F. POULAIN. (19)]

1.4.2.2.5. Cotonnier

Les résidus de récolte sont composés de racines, tiges, branches, feuilles, bractées florales, parois carpellaires, capsules momifiées. Nous avons déjà souligné les variations importantes avec les rendements DEAT et SEMENT (17) mentionnent que les parties aériennes résiduelles représentent dans le cas de la variété 444-2 69% du poids total de la production aérienne des cotonniers pour un rendement de 770 kg/ha, mais seulement 48% pour un rendement de 2.150 kg/ha. Ces résidus aériens sont pour des raisons phytosanitaires et (ou) techniques coupés, mis en tas et brûlés. De ce fait les éléments N et S qu'ils contiennent sont en majorité perdus par combustion.

Nous ferons trois hypothèses en adoptant les données obtenues par DUBERNARD au Cameroun en 1972.

Hypothèse I Tiges et feuilles sèches brûlées en cours de saison sèche - Rendement en coton graines 800 kg/ha -
Tiges + feuilles 3.000 kg

Hypothèse II Tiges et feuilles sèches brûlées en cours de saison sèche - Rendement en coton graines 1.600 kg/ha -
Tiges + feuilles 6.000 kg

Hypothèse III Culture motorisée : Girobroyage préalable et enfouissement des résidus en début de saison des pluies.
Même production que l'hypothèse II

Dans ces trois hypothèses on admettra que les feuilles sèches tombées sur le sol à la suite de l'importante défoliation qui se produit au cours des récoltes successives sont également brûlées ou enfouies. Les chiffres correspondant aux parties aériennes en place sont donc probablement exprimés par défaut.

TABLEAU XVI
 RESTITUTION en kg/ha d'éléments

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	S	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I 800 kg/ha	Système racinaire	600	6	3	1	8	4	3
	Tiges-feuilles + paroïis carpellaires	300	5	15	0,6	57	32	15
	Total restitution Hypothèse I	900	11	18	1,6	65	36	18
Hypothèse II 1600 kg/ha	Système racinaire	1.200	12	6	1	16	8	6
	Tiges-feuilles + paroïis carpellaires	600	10	30	1,2	114	16	12
	Total restitution Hypothèse II	1.800	22	36	2,2	130	24	18
Hypothèse III 1600 kg/ha	Système racinaire	1.200	12	6	1	16	8	6
	Tiges-feuilles + paroïis carpellaires	6.000	96	30	12	114	16	12
	Total restitution Hypothèse III	7.200	108	36	13	130	24	18

On soulignera l'importance des restitutions dans le cas où l'enfouissement des résidus se substitue au simple brûlis et la contribution importante des racines.

1.4.2.2.5. Riz pluvial

Quatre hypothèses peuvent être faites :

Hypothèse I Culture traditionnelle - rendement : 1000 kg/ha
 récolte manuelle - coupe des panicules avec une partie de la tige - brûlis à 70% des résidus de récolte

Hypothèse II Culture améliorée - rendement 2500 kg/ha
 brûlis des pailles après récolte mécanique à 90%

Hypothèse III Rendement : 2500 kg/ha - Labour d'enfouissement des pailles après récolte à 90% (girobroyage)

Hypothèse IV Rendement : 2500 kg/ha - Exportation des pailles pour affouragement et enfouissement des résidus estimés à 20%.

TABLEAU XVII

RESTITUTIONS en kg/ha d'éléments (partie aérienne seule)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Hypothèse I	0,8	3,5	21	6,3	2,1
Hypothèse II	2,5	11	68	20,2	6,8
Hypothèse III	25	11	68	20,2	6,8
Hypothèse IV	5,5	2,5	15	4,5	1,5

1.4.2.2.6. Jachère cultivée

Il est intéressant de mentionner les restitutions pour les jachères, celles-ci étant quelquefois incluses dans les systèmes de culture.

Des données très précises ont été rassemblées au Sénégal (18 - 20).

Nous ferons deux hypothèses :

Hypothèse I Système traditionnel (1 ou 2 ans de jachère)

Avec production de foin sec en fin d'hivernage et brûlis en saison sèche. Foin sec : 2000 kg/ha -

Poids de racine : 700 kg/ha

Hypothèse II Système amélioré

Pailles enfouies en fin de saison des pluies

Paille sèche : 5000 kg/ha Matière sèche -

Poids de racine : 1700 kg/ha Matière sèche

TABLEAU XVIII

RESTITUTION en kg/ha d'éléments

		Matière sèche	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Hypothèse I	Système racinaire	700	4	1,5	12	2	1	0,7
	Pailles brûlées	200	2	8	30	18	9	0,2
	Total restitution Hypothèse I	900	6	9,5	42	20	10	0,9
Hypothèse II	Système racinaire	1.700	10	3	29	5	3	2
	Pailles enfouies	5.000	40	20	75	46	22	6
	Total restitution Hypothèse II	6.700	50	23	104	51	25	8

1.1.5. Conclusion

Si nous avons insisté longuement sur l'aspect minéral des résidus de récolte, c'est que celui-ci est souvent minimisé par rapport à l'aspect strictement organique. Selon nous et dans les difficultés conjoncturelles actuelles (rapport coût/prix très élevé), une utilisation rationnelle des résidus de culture sous différentes formes choisies en fonction de la technicité du cultivateur peut autoriser l'approche du bilan minéral et satisfaire les critères socio-économiques.

Le brûlis, quand il n'y a pas d'autres solutions disponibles, ne doit pas être condamné systématiquement. Nous avons vu que pour toutes cultures, il permet le recyclage du phosphore, du calcium et du magnésium et surtout du potassium dont la teneur est très importante dans les organes végétatifs. Bien entendu, chaque fois que possible, nous préfererons l'enfouissement ou la restitution sous forme de compost et fumier.

Ces dernières modalités permettent en particulier de conserver l'azote et le soufre. L'azote est un élément coûteux. Il constitue le plus souvent après correction de la fumure phosphatée (celle-ci étant relativement aisée et possible avec des amendements locaux) le pivot de la fumure des céréales.

Le simple examen des tableaux précédents nous montre que les restitutions d'un cotonnier ayant produit 1600 kg/ha de coton-graines sont de 108 kg/ha d'azote avec enfouissement des résidus aériens au lieu de 22 kg/ha à la suite d'un simple brûlis.

Peut-on douter qu'une partie au moins de cette azote, stockée dans le sol et libérée progressivement au fur et à mesure de la biodégradation de la matière végétale n'aura aucun effet sur la céréale suivante et pour le moins à moyen terme sur le statut organique et le bilan minéral du sol ?

Il convient maintenant d'examiner le problème des résidus de culture dans leur aspect organique en essayant de dissocier leurs effets à long terme et leurs effets à court terme sur la fertilité des sols.

1.2. Les résidus de culture : source de matière organique - Effet à long terme Bilan

Il est plus difficile d'isoler l'action des résidus de culture en tant que source de matière organique. Il est important de rappeler que l'accroissement des fumures minérales en vue de meilleurs rendements, entraîne une production accrue de résidus végétaux (racines et parties aériennes).

1.2.1. Restitution organique des cultures

Le tableau qui suit présente les estimations des quantités de matière sèche, carbone et azote contenues dans les résidus aériens et les racines des principales cultures en suivant les hypothèses émises dans le chapitre 11421.

On notera que dans les systèmes où le brûlis de la paille est la règle, les racines contribuent pratiquement exclusivement à la formation de la matière organique, le carbone et l'azote des parties aériennes étant entièrement perdus par le feu.

La pratique du brûlis est donc extrêmement préjudiciable pour le bilan organique des sols.

TABLEAU XIX

Restitutions de Matière sèche, Carbone et azote, dans les résidus de culture (kg/ha)

Culture	Rendement partie utile	Traitement des résidus	Poids Matière sèche		Racines		Partie Aér.		Total	
			Racine	Partie aér.	C	N	C	N	C	N
<u>Mil</u>	1.100	Export.-brûlis 20% résidus	800	120	360	6	55	1	415	7
	1.100	Brûlis	800	620	360	6	280	4	640	10
	2.000	Brûlis	1500	800	675	11	360	5	1035	16
	2.000	Enfouissement (70%)	1500	5600	675	11	2520	32	3195	43
	2.000	Enfouissement après récolte	1500	8000	675	11	3600	46	4275	57
<u>Sorgho</u>	630	Exportation brûlis 20%	590	110	270	4,5	50	0,4	320	4,9
	630	Brûlis	590	540	270	4,5	240	2	510	5,5
	1.100	Exportation brûlis 20%	800	70	360	5	30	0,2	390	5,2
	1.100	Brûlis	800	350	360	5	160	1	520	6
	2.500	Brûlis	2000	750	900	12	340	3	1240	15
	2.500	Enfouissement	2000	7500	900	12	3380	26	4280	38
<u>Maïs</u>	3.050	Brûlis	1500	460	675	12	210	0,3	885	12,3
	3.050	Enfouissement	1500	2300	675	12	1035	11,8	1710	23,5
<u>Arachide</u>	1.200	Exportation	600	425	270	10	350	4	620	14
	2.250	Exportation	1000	300	450	16	140	3	590	19
<u>Cotonnier</u>	800	Brûlis	600	300	270	5	140	5	410	11
	1.600	Brûlis	1200	600	540	12	280	10	820	22
	1.600	Enfouissement	1200	6000	540	12	2800	96	3340	108
<u>Riz pluvial</u>	1.000	Brûlis 70%	600	105	270	4	50	0,8	320	4,8
	2.500	Brûlis 90%	1600	340	720	12	150	2,5	870	14,5
	2.500	Enfouis. 90%	1600	3300	720	12	1480	25	2200	37
	2.500	Exportation + enfouis. 20%	1600	750	720	12	340	5,5	1060	17,5
<u>Jachère</u>	2.000kg foin	Brûlis	700	200	315	4	765	2	1080	6
	5.000kg foin	Enfouissement	1700	5000	765	10	2500	40	3265	50
<u>Miébé</u>	1.000kg	Exportation	500	400	225	9	180	6	405	15

1.2.2. Les effets généraux de la Matière organique

Nous distinguerons avec DROINEAU (21) des effets à court terme et des effets à long terme.

i. Les effets à court terme des résidus de culture (transformés ou non) se situent dans un intervalle de temps limité (quelques semaines à quelques mois) et influenceront le rendement de la culture suivante. C'est en général ce type d'effet qui est observé et chiffré dans les expérimentations. Ils sont dus le plus souvent à la fraction de la matière organique du sol "non encore humifié".

On notera qu'il est souvent difficile de mettre en évidence l'effet spécifique de la matière organique, car dans les conditions des sols pauvres tropicaux prédominant, l'effet minéral est souvent prépondérant.

ii. Les effets à long terme ont trait essentiellement au maintien de la teneur organique du sol à un niveau satisfaisant. La question est de savoir à quel niveau le taux de matière organique du sol doit être maintenu pour tirer le meilleur parti des fumures minérales sans dégradations du capital de fertilité. Ces effets sont dus aux substances stables, véritablement liées à la partie minérale du sol, appelées généralement "Humus", mais aussi aux fractions libres (dont les effets se répètent en cas d'apport régulier de matière organique fraîche) susceptible d'ailleurs d'évoluer rapidement vers les formes liées si les conditions sont favorables.

C'est un des grands apports des travaux de G. MONNIER (2) d'avoir mis en évidence que le facteur évolution ou dynamique de la matière organique est beaucoup plus important que le simple aspects quantitatif.

1.2.3. - LES PRINCIPALES FONCTIONS ET EFFETS DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES SOLS TROPICAUX

Nous ferons rapidement état des principales fonctions et effets de la matière organique à long terme, étant admis que les résidus de récolte apportent une contribution importante à son statut.

1.2.3.1. Intervention dans la nutrition et la croissance des plantes

Nous avons vu que la matière organique intervient directement dans la nutrition et la croissance des plantes. Les éléments mis en réserve dans l'humus sont labiles et facilement disponibles pour l'alimentation des plantes, soit directement par simple mise en solution (cas du potassium en particulier), soit progressivement au fur et à mesure de la biodégradation des matières organiques fraîches. L'humus joue également un rôle important vis-à-vis de la nutrition phosphatée (23 - CHAMINADE). La nutrition azotée des plantes à partir de la matière organique dépend des conditions pédoclimatiques.

Au Sénégal en sol sableux, BLONDEL (24) et GANRY observe en conditions pluviométriques suffisantes, un pic de minéralisation net dès le début de la saison humide. Ce pic est suivi d'une phase de minéralisation à un niveau très bas pendant la saison des pluies. On trouve là un argument de plus en faveur des semis précoces. En conditions pluviométriques déficitaires, le pic n'est pas visible et on observe un plateau plus élevé de minéralisation pendant la saison.

Ces auteurs précédents ont mis en évidence des différences importantes entre les types de sol.

1.2.3. 2. - Importance de l'humus dans le complexe absorbant

L'humus est au premier plan des facteurs qui, dans le sol contrôle l'équilibre général entre les ions absorbés et dissouts. La capacité d'échange des sols est liée à la nature du complexe absorbant et la présence d'humus en plus grande quantité accroît notablement les possibilités de réserve en éléments minéraux.

Au Sénégal, J.F. POULAIN (25) a déterminé séparément la capacité d'échange minérale et organique d'un sol DIOR sous deux traitements de longue durée :
Friche permanente vieille de 10 ans
Culture d'arachide en continue depuis 5 ans.

Les résultats sont les suivants pour un complexe absorbant composé ainsi :

Argile 4 % (60 % Kaolinite - 10 % Montmorillonite + Hydroxydes de fer)
Matière organique C %_o 2,6 (friche) à 2,1 (arachide)
N %_o 0,25 (friche) à 0,20 (arachide).

	FRICHE	ARACHIDE CONTINUE	
T. minéral	2,11	2,25	
organique	1,07	0,65	en mg./100 g
TOTAL	3,18	2,90	

On constate l'importance de la composante organique malgré les faibles teneurs observées dans ce type de sol.

1.2.3.3. Rôle physiologique

La matière organique joue un rôle important dans la solubilisation du fer et dans sa chélation, évitant ainsi les chloroses.

1.2.3.4. Capacité pour l'eau

L'humus, par sa propriété de mouillabilité, joue un rôle important dans la capacité de rétention par l'eau.

R. MAIGNIEN (26) a nettement mis en évidence dans une étude des sols châtaîns du Sénégal, l'influence de l'humus sur la capacité de rétention par l'eau.

Capacité pour l'eau :	12	12,5	18,5	24,5
Humus % :	0,27	0,31	0,45	1,05

GANRY (18) note que plus les résidus sont évolués, plus ils retiendront l'eau et cite à titre d'exemple :

Paille : 250 à 260 Kg pour 100 Kg
Fumier : 800 à 850 Kg pour 100 Kg.

G. AUBERT a montré la grande affinité pour l'eau de l'humus de caractère peu acide des sols ferrugineux tropicaux.

1.2.3.5. Structure et développement racinaire

Le pouvoir agrégatif de l'humus a été amplement démontré. Ce haut pouvoir d'agregation par enrobage et cimentation permet :

- de créer une structure en sol sableux
- de corriger les caractères défectueux de l'argile quand celle-ci est en excès.

R. NICOU (27) a montré que l'enfouissement de matière végétale fraîche (C/N assez bas) a une action immédiate sur la diminution de la prise en masse à la dessiccation. En comparant des formes de plus en plus humifiées : engrais vert, pailles, compost, fumier, l'auteur a observé que leur action sur la cohésion diminue et peut même s'inverser. Il a pu établir une liaison étroite entre les quantités des premiers produits de décomposition (polysaccharides) et la perte de cohésion et en est amené à recommander la présence constante de matières organiques fraîches pour réduire la prise en masse.

Un autre effet intéressant est celui qui concerne la porosité qui augmente notablement avec la présence de matière organique.

Cette propriété autorise d'une part, un meilleur stockage de l'eau et d'autre part, un développement plus dense et profond du système racinaire avec ses conséquences sur l'alimentation hydrique et minérale des cultures et la protection contre l'érosion et le ruissellement.

1.2.3.6. Fourniture de substances nutritives pour les micro-organismes

Les restitutions de matière organique au sol sont nécessaires pour la vie microbienne du sol. GANRY signale que dans le cas du fumier, il s'agit plus d'une activation des micro-organismes présents dans le sol par apports alimentaires et énergétiques que d'une simple inoculation.

1.2.3.7. Intervention indirecte - Substances spécifiques

Depuis longtemps (FLAIG - CHISTERVA) ont montré que la présence de certaines substances qui apparaissent au cours de la transformation de la matière organique peuvent jouer un rôle physiologique spécifique. Certaines quinones et benzoquinones augmenteraient le pouvoir d'absorption et la longueur des racines. D'autres par contre ont un rôle inhibiteur de la croissance. Ce serait le cas des substances libérées par la décomposition des résidus de sorghos (racines et tiges), et cela expliquerait les effets dépressifs d'enfouissement sur la culture suivante. CHAMINADE et BLANCHET ont émis l'hypothèse que ses actions étaient liées à une modification de la perméabilité cellulaire.

1.2.3.8. Résistance à certaines maladies ou parasites

Les matières organiques peuvent jouer un rôle contre les maladies racinaires, mais des observations contraires ont été notées avec des matières végétales peu humifiées (termites en particulier).

1.2.4. - VARIATIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LE TEMPS

Il est essentiel de savoir comment évoluent les matières organiques dans le sol et quels sont les modèles susceptibles de représenter cette évolution. La représentation admise actuellement suppose que la variation de la teneur en matières organiques dans un intervalle de temps donné, est égale à la différence entre la quantité de matière organique apportée par unité de temps (saison de culture par exemple) A et la quantité de matière organique qui disparaît pendant ce même intervalle de temps.

On admet que cette quantité est proportionnelle à la masse de matière organique (H) multipliée par un facteur de proportionnalité qui représente la vitesse d'évolution de la matière organique (k).

$$\frac{dH}{dt} = A - kH$$

H, A, k sont mesurés pour une même profondeur de sol.

Pour définir le bilan, deux éléments sont particulièrement intéressants.

i. - Le coefficient isohumique c'est-à-dire la fraction de la matière organique labile se transformant en humus stable.

Pour les principales formes de matière organique apportées, on peut admettre les valeurs suivantes :

Fumier décomposé	0,5 à 0,3
Fumier de parc	0,3 à 0,2
Pailles	0,15 à 0,08
Matière verte (engrais vert, jeune)	voisin de 0

Ces valeurs sont cependant très approximatives car des variations importantes sont prévisibles en fonction des conditions pédo-climatiques, des façons culturales et du système de fertilisation minérale retenu

ii. - Le paramètre d'évolution de l'humus, c'est-à-dire la constante de vitesse d'évolution de l'humus (k dans la formule).

Si on admet que dans les pays tempérés, 0,8 à 1,2 % de l'humus présent dans le sol se détruit, le pourcentage est plus important dans les régions tropicales. Au Sénégal, SIBAND et CHARREAU (28) estiment que la valeur de k se situe entre 2 et 9 %.

Le paramètre k peut être exprimé en terme de Carbone ou d'Azote. Dans ce dernier cas, il est important de signaler que pour chaque type de fumure organique, il existe un taux apparent de déperdition de l'azote, indépendant des quantités de matière organique apportées. De plus, ce taux est plus important quand la fumure organique régulièrement appliquée fait appel à des composés humifiés (fumier - compost).

Quand la fumure est exclusivement minérale, la vitesse d'évolution est réduite et ce d'autant plus que le niveau d'azote apporté au sol est élevé.

L'apport de matière organique pour chaque saison (A) peut s'exprimer sous forme d'Azote ou de Carbone. L'Azote est mieux choisi, étant le premier facteur limitant dans la formation de l'humus.

Des estimations sont mentionnées dans le tableau XIX. Elles permettent de chiffrer les apports annuels et montrent l'influence néfaste des brûlis. La conséquence en est la faible quantité de matière organique et d'humus des sols tropicaux cultivés estimée (selon COINTEPAS (30), CHARREAU et VIDAL (31) et POULAIN (25)) de 10 à 25 t/ha.

Il est bien évident que le modèle presque mathématique présenté est séduisant, mais il représente seulement une approche car il demeure difficile de définir la fumure organique nécessaire pour maintenir le bilan humique à l'équilibre. La contribution des résidus de récolte peut être notable, mais il importe de définir simultanément le régime des fumures minérales qui en régit le volume.

Nous passerons en revue dans le chapitre suivant les principales sources de matière organique.

2. - Les sources principales de matière organique à base de résidus de culture. -

21 - Limite des fumures organiques

En fertilisation organique exclusive, il est nécessaire de distinguer les apports de restitution par la culture en place des apports extérieurs qui sont à la source de transfert réel de fertilité.

Sans apports extérieurs, une restitution la plus complète possible ne changera pas le signe de l'inéquation qui peut s'écrire pour le simple aspect minéral :

Mobilisation minérales des parties végétatives + Exportation par les récoltes + Pertes diverses (ruissellement, érosion, lavage) > restitution de récolte (les restitutions étant au mieux égales aux mobilisations minérales des parties végétatives (tiges, feuilles, racines)).

C'est ainsi que GANRY (18) a pu chiffrer qu'en absence de fumure minérale suffisante et en adoptant une situation de mi-restitution (ce qui est peut être optimiste) la production moyenne actuelle de 1.000.000 t d'arachide et 750.000 t de céréales en équivalent mil prélève au patrimoine foncier du Sénégal chaque année plus de 200.000 t d'engrais et 25.000 t de chaux.

Sans prétendre pouvoir par elle seule résoudre le problème du déficit minéral, toutes les sources de matière organique doivent être cependant privilégiées.

22 - Les sources de matière organique

Différentes formes sont à la disposition du cultivateur.

Matière verte peu lignifiée : Engrais vert - Jeune jachère

Résidus de culture proprement dit : pailles de céréales, tiges de cotonnier, etc...

Compost

Fumier

En dehors du fumier, non disponible dans les exploitations sans élevage, il est normal de chercher à s'adresser à des produits de remplacement. Les premiers et les moins coûteux auxquels on puisse songer sont les résidus de récolte dont nous avons tenté d'apprécier l'importance au chapitre précédent. Nous avons vu que les masses de matières organiques que l'on peut espérer obtenir ainsi sont relativement grandes sous réserve d'éviter le brûlis et que leur effet minéral est très important à l'échelon d'un système de culture.

L'étude systématique des enfouissements de matière verte (jachère, engrais verts, repousses fourragères) a été entreprise en Afrique Tropicale depuis longtemps et un acquis important est disponible dans ce domaine (Travaux de R. TOU' TE et collaborateurs au CRA de Bambey en particulier depuis 1949). La masse de matière sèche produite sur place varie selon l'espèce, les conditions climatiques et la durée de végétation.

Un certain nombre d'obstacles ont été mis en avant. En premier lieu l'enfouissement nécessite des moyens de traction et un certain nombre de difficultés se présente pour sa bonne réalisation.

Ensuite, l'accroissement indispensable des rendements allant de pair avec la démographie se traduit par une augmentation des surfaces au détriment des soles non productives de l'assolement (ou considérées comme telles) : jachères, engrais vert...).

Des résultats peu convaincants, dus dans la majorité des cas à des conditions de mauvaise réalisation ont également été enregistrés sur de courts cycles cultureux.

On peut cependant penser que le développement de la culture fourragère devrait autoriser après fauchage ou paturage direct, l'enfouissement des repousses sous forme de matière verte en fin de cycle.

Une des caractéristiques de ces matières vertes, est sa rapidité de fermentation (pauvreté en précurseurs de substance humique). Cette vitesse de décomposition et la faible valeur du rapport C/N de ce matériau entraîne un rendement en humus très faible, mais nous avons vu l'intérêt de ces substances sur certaines propriétés du sol.

Il n'y a d'ailleurs pas de solution exclusive et les apports au niveau du système de culture de matière verte et de résidus de culture permettraient d'espérer un équilibre du bilan humique et des conséquences favorables sur les propriétés physiques du sol.

Le compost et le fumier permettent de réaliser la concentration de la matière organique (2)

- concentration dans l'espace en exportant vers les soles de culture toutes les ressources organiques de l'exploitation (généralement avec transfert de fertilité quand l'exploitation comporte des paturages ou des soles privilégiées recevant compost et fumier.

- concentration dans le temps, car il apparaît plus pratique d'apporter fumure ou compost sur quelques cultures exigeantes de l'assolement.

- concentration massale enfin car ces produits stabilisés concentrent la matière organique et les éléments minéraux.

Ces avantages sont hélas à mettre en balance avec un accroissement de main d'oeuvre et de coût. Par ailleurs les pertes sont probablement importantes et la qualité du produit souvent médiocre.

3. LES RESIDUS DE RECOLTE DANS LES SYSTEMES TRADITIONNELS DE PRODUCTION

Chaque exploitation individuelle pratique un système de production qui lui est propre. Cependant, il est indispensable pour mieux comprendre l'importance des résidus de culture dans l'exploitation de proposer une classification des systèmes traditionnels à partir de quelques critères. Nous les limiterons volontairement à deux pour simplifier le problème, ceux-ci étant selon nous fondamentaux.

- Présence ou non d'élevage au sein de l'exploitation (singulièrement bovins)
- Présence ou non de terres disponibles pour la régénération ou l'affouragement en dehors des terres de culture.

3.1. L'élevage

Sans citer les élevages de type industriel et d'emboche intensive dont l'importance est encore négligeable, on pourrait admettre que deux types d'élevage coexistent dans la zone sahélo-soudanienne.

- un élevage pastoral de grande rente, de type sahélien ou soudanien
- un élevage paysan associé à l'agriculture ou se manifestant par une emboche domestique et pouvant déboucher sur une exploitation autoconsommée ou monétarisée.

Malheureusement, il faut bien admettre que la réalité est tout autre et que l'élevage traditionnel s'est adapté aux conditions du milieu dans lequel il subsiste.

3.1.1. Il présente en effet un caractère extensif dans la zone sahélienne et d'habitat semi-nomade. Les troupeaux se déplacent sans cesse à la recherche de pâturage et d'eau selon des parcours régis par l'alternance des saisons.

3.1.2. Par contre, dans les zones de cultures et d'habitat sédentaire de la zone soudanienne, les animaux coexistent avec les agriculteurs sans réelle association à la base.

3.1.2.1. Le principal type d'élevage se rattache au type précédent avec cependant des aménagements importants et une tendance à la sédentarisation d'une partie de la famille des pasteurs peulhs installés dans cette zone depuis une ou plusieurs générations. De ce fait, les cultures prennent une importance grandissante et l'amplitude des transhumances diminue.

3.1.2.2. Le second type d'élevage est représenté par les troupeaux appartenant aux agriculteurs sédentaires avec des caractéristiques différentes. Plusieurs modalités d'élevage existent :

- i En général l'agriculteur confie les boeufs de son troupeau à un éleveur-gardien qui les prend en charge en plus de son propre troupeau. Quelquefois, l'agriculteur ou une communauté de village confie la garde des troupeaux à un bouvier salarié ou à un groupe d'enfants. Il y a donc dans ce cas association éleveurs agriculteurs et on conçoit que ce système pose en priorité le problème de l'aménagement du territoire dans le sens d'une symbiose et non d'une ségrégation entre éleveurs et agriculteurs.
- ii La véritable association agriculture-élevage au sein d'une exploitation déterminée suppose la mise en place d'assolement avec des jachères fourragères et l'utilisation rationnelle de tous les sous-produits de culture. L'embouche paysanne associée ou non à la traction bovine est une forme très prometteuse d'association, mais également encore peu représenté faute sans doute d'une impulsion de la puissance publique. L'importance des petits ruminants impose également dans ce modèle l'utilisation complète de tous résidus de culture.

Dès qu'il y a association réelle au sein d'une exploitation, la totalité des résidus de récolte est réservée aux animaux

A titre d'exemple, nous citerons le cas des exploitations mis en place au sein de l'Autorité des aménagements des Vallées des Volta. La rotation utilisée par les agriculteurs est :

Jachère	1,25 ha
Jachère	1,25 ha
Mil - Sorgho	0,65 ha - 0,65 ha
Cotonnier	1,25 ha
Arachide - Niébé	0,65 - 0,65 ha
Sorgho - Maïs - Riz	0,25 - 0,50 - 0,50

La production de foin calculé sur 6 ha de culture et 2,5 ha de jachère pour une unité familiale moyenne de 4 personnes actives est :

2 ha	Mil - Sorgho - Maïs	3 t foin
0,65 ha	Niébé	1,5 t
0,65 ha	Arachide	0,5 t
0,5 ha	Riz	0,3 t
2,5 ha	Jachère	3,8 t
		<hr/>
		9,1 t

alors qu'une paire de boeufs nécessite un minimum de 8,25 tonnes de fourrage sec par an.

On constate que l'exploitation familiale ainsi décrite peut entretenir une paire de boeufs, mais comme il semble souhaitable que l'exploitation familiale entretienne au moins 2 paires, il faut admettre que le fourrage produit sur l'exploitation doit être entièrement réservé à l'affouragement venant en complément d'un pâturage situé en dehors des blocs de culture. Ce problème est très important et montre que tout système de production basée sur la culture attelée risque d'échouer si une politique en faveur de l'alimentation des animaux n'est pas parfaitement définie.

La présence d'animaux sur l'exploitation, s'elle impose des contraintes du point de vue alimentaire, permet par contre de résoudre les problèmes de transport (pailles, eau) et d'envisager la transformation des résidus de récolte en produits plus élaborés (compost et fumier)..., mais cette intensification est encore peu perceptible dans les systèmes actuels, sinon dans des zones très localisées.

3.2. Les systèmes de culture

3.2.1. Systèmes traditionnels - Culture semi-itinérante

Dans les systèmes traditionnels anciens de la zone tropicale on observait de longues friches qui interrompaient le cycle culturel. Les cas d'agriculture itinérante au sens strict sont assez rares et la règle était et demeure toujours la culture semi-itinérante dont les caractéristiques sont la permanence de villages et la succession dans l'espace des cultures (presque essentiellement vivrières) et des friches de longue durée.

Cette pratique est encore fréquente et nous prendrons l'exemple du milieu Baoulé (CIV). Le système est le suivant :

- 1ère année - Défrichage à la machette d'une parcelle de forêt ou de jachère en saison-sèche. Séchage rapide - brûlis.
La taille de la parcelle est faible et limite le ruissellement.
Les grands arbustes subsistent et servent de buteur à l'igname.
- Préparation manuelle du sol à la daba. Binage superficiel et confection des buttes pour l'igname. Le buttage est la seule opération culturale du paysan baoulé.
 - Bouturage au moment des premières grosses pluies. Semis du maïs et des condiments entre les lignes (culture associée).
- 2ème année - Binage superficiel des buttes en parties érodées.
- Semis de différentes variétés de riz à dates échelonnées ou d'arachide.

Le champ est abandonné et retourne ainsi à la végétation naturelle. Le Buanec (34) fait d'ailleurs remarquer que l'abandon des parcelles n'est pas du à l'épuisement du sol, mais à un salissement par les adventices.

Ce système exige de grandes superficies exploitées très limitées.

Ce système se retrouve encore dans certaines régions de l'Afrique de l'Ouest dans les régions où les terres sont abondantes.

Aussi Barral (35) cite le terroir de Tiago (cercle de Ténado en Haute-Volta)

Il est divisé en trois zones bien distinctes :

- une auréole de champs permanents et semi-permanents autour des fermes familiales ; les champs les plus proches étant fumés à partir d'ordures ménagères et de fumier fabriqué par le petit bétail... l'auréole externe cultivée généralement en sorgho rouge ne reçoit aucune fumure.
- une bande intermédiaire de 100 m de large environ a une végétation buissonnante ou pâture chèvres et moutons.
- une zone de champ de brousse pièce maîtresse du dispositif, planté en sorgho blanc - Ces champs sont cultivés pendant 8 ans au maximum puis abandonnés à une longue jachère de quinze à vingt ans.

En pays Dagari (Cercle de Léo), on trouve une succession analogue avec champs de case, fumés régulièrement, puis auréole de champ semi-permanents avec jachères courtes, enfin champs de brousse de très grande taille cultivés pendant 6 à 7 ans d'une manière ininterrompue et abandonnés ensuite à de très longues jachères de 30 ou 40 ans quelquefois.

Ces systèmes, autorisés par l'abondance des terres sont cependant appelés à disparaître en raison de l'expansion démographique et leur très faible productivité. L'équilibre est cependant maintenu grâce au transfert de fertilité des champs de brousse vers les champs de case et à l'existence de très longues jachères succédant à quelques années de culture continue dans les champs de brousse.

327 - Systèmes à jachère intégrés dans les cultures

Ces systèmes sont encore nombreux en Afrique Tropicale.

Ils ont généralement évolués à partir du système précédent sous l'influence de la pression démographique et du développement des cultures de rente. En effet on trouve dans certaines zones de terroir des parcelles incultes depuis de nombreuses années. L'aspect de la végétation herbacée et l'absence d'arbres donnent à penser que leur régénération est hypothétique. Le cultivateur, pour assurer son autosatisfaction vivrière est donc conduit à utiliser des jachères de courtes durées intégrées dans les cultures.

Nous citerons l'exemple de l'agriculture Sérère au Sénégal.

Le système comporte un assolement triennal typique et le système de culture intègre l'élevage et les pâturages arborés.

Une sole est close par des haies d'épineux maintenant les troupeaux pendant la saison de culture. Dès la fin de la récolte, les haies sont ouvertes et les troupeaux bénéficient du pâturage des *Accaria Albida* très abondants. La sole suivante porte le mil qui bénéficie de la régénération apportée par la sole précédente. La dernière sole porte l'arachide qui s'est intégrée dans le système.

Autour du village, on trouve des champs permanents de mil, niébé, condiments fumés à partir d'ordures ménagères.

Ces systèmes deviennent fragiles et l'intensification pourrait s'envisager si les jachères étaient exploitées rationnellement avec enfouissement en fin de cycle, mais tel n'est pas le cas et en raison de la pression démographique, des besoins vivriers et des rendements médiocres, les jachères sont menacées de disparition pour faire place à moyen terme à des systèmes de cultures intensifs sans sole de régénération.

323 - Système de culture continue

Dans certaines régions, on constate chaque année que les superficies en jachère vont en diminuant.

Dans le pays mosi (Haute-Volta), il est fréquent de rencontrer maintenant des exploitations où la totalité de la surface est cultivée. Ce qui est plus inquiétant est que la monoculture continue de sorgho ou de mil est souvent la règle et que les restitutions de récolte se limitent quelquefois au système racinaire et à un pourcentage faible des parties aériennes brûlées avant la préparation des terres.

L'agronome se doit de manifester son inquiétude devant un tel système qui, bien que permettant le maintien de rendements à un niveau très bas, compromet l'avenir en épuisant régulièrement les réserves minérales et organiques du sol.

Le caractère permanent de la culture avec occupation totale du terroir n'est pas dans ces conditions, un critère d'intensification en absence d'utilisation de techniques dont le coût semble actuellement hors de portée de l'homme rural.

4. PROPOSITIONS POUR L'UTILISATION DES RESIDUS DE RECOLTE DANS LES SYSTEMES DE CULTURE TRADITIONNELLE.

La distinction entre les systèmes avec élevage et sans élevage est fondamentale pour l'utilisation des résidus de récolte.

D'autre part, celle-ci doit être d'autant plus recommandée que les ~~soles~~ ^{seules} de repos sont limités, à fortiori inexistantes.

4.1. Dans l'exploitation où l'élevage est présent, toutes les possibilités sont offertes.

- Fabrication de fumier
- enfouissement des résidus (si boeufs de labour)
- transport de paille pour compostage au champ ou à proximité des habitations, etc.

Les solutions qui font appel au brûlis doivent être prescrites.

La majorité des résidus de récolte, ~~si non~~ ^{si non} la totalité doit être réservée à l'alimentation du bétail.

Dans ces conditions on doit délibérément s'orienter vers la fabrications rationnelle de fumier avec litière (les transports étant possibles) et l'enfouissement des résidus non consommés. L'enfouissement pourra se situer en fin de cycle immédiatement après évacuation des pailles de céréales.

Celles-ci peuvent être évacuées directement ou hâchées afin d'autoriser un transport et un stockage plus facile. En début de cycle, dès que les premières pluies ont rendu le travail du sol réalisable dans de bonnes conditions, les résidus non consommés peuvent facilement être enfouis. On aura soin d'éviter les transferts de fertilité en établissant un calendrier régulier d'apports organiques sur tous les champs de l'exploitation.

4.2. Dans les exploitations sans élevage

Les possibilités sont plus restreintes et cependant, la nécessité d'une restitution organique y est plus impérative. On peut envisager le mulch ou le paillage avec transfert de fertilité. Dans la zone d'Ouahigouya (Haute-Volta), le paillage commence en Février et se réalise non seulement avec les résidus de récolte, mais également avec des herbes de brousse que les cultivateurs vont chercher parfois fort loin. La paille est étendue sur le sol en couche relativement mince, maintenue par des pierres. Cette pratique a fait complètement disparaître l'incinération des tiges de mil après la récolte et les feux de brousse. Les somis sont effectués en poquets, à travers le paillage, sur sol non travaillé.

Le compostage est également possible, mais les transports devant être manuels, ou en traction asine, les longs déplacements sont interdits. On pourrait envisager un compostage direct au champ et utilisation du compost après une saison des pluies.

4.3. Nécessaire intégration agriculture - élevage.

Les contraintes d'une exploitation sans bétail sont évidentes et montrent à quel point la culture attelée doit rester une priorité absolue dans les objectifs de vulgarisation. Les effets de celle-ci sont souvent très lents, mais des exemples (région de San - Ségu au Mali), montrent que des résultats importants et irréversibles peuvent être atteints quelquefois après une ou deux décennies.

Dans un premier stade, la vulgarisation devrait s'efforcer d'amener le cultivateur à utiliser les animaux à des travaux simples. La charrette peut paraître comme un moyen d'incitation important. Les animaux devront être placés pendant la nuit et aux heures chaudes dans un abri simple où la fabrication de fumier avec apport de litière peut être envisagée. La réelle intégration de l'agriculture et de l'élevage correspond sans doute à un niveau technique élevé du paysan. La stabulation libre du bétail permettrait alors un recyclage aussi complet que possible des résidus de culture de l'exploitation. Il est dommage que même dans des conditions où la présence d'élevage le permettrait, la contrainte de transport fait que les résidus de récolte interviennent souvent peu dans la préparation des fumiers, ceux-ci ne pouvant être considérés que comme des terres de parc.

4.4. Motorisation

On est amené dans certaines situations à ne pouvoir concevoir un recyclage des résidus de récolte, par conséquent un maintien de la fertilité, que par l'introduction de la motorisation (ou semi-motorisation). Celle-ci permettrait :

- la préparation du matériel à enfouir (gyroboyage)
- l'enfouissement homogène du matériel organique ainsi préparé sans contrainte de dates.

Le problème est alors économique, mais son choix ne peut être fait sur un simple bilan à court terme.

MODELE D'ENQUETE RESIDUS DE RECOLTE

(une fiche par champ d'une même culture)

Observateur : Année : Date d'observation :
 fin hivernage :
 fin saison sèche :

Région : Cercle : Village :
 Ethnie :

CULTURE PRINCIPALE

(entourer le cas observé)

Type de champ : Case Village Brousse
 Position topc : Plaine - Bas-fond Bas de pente Pente Plateau
 cultivé par :HommesFemmesMixte
 Nom vernaculaire du champ :

DESTINATION DES RESIDUS

DESTINATION	MOIS D'EXECUTION	OBSERVATIONS	(-proportions -qualité -modalités -autres desti- -nations des -résidus.
<u>BRULAGE</u>			
Feu courant
Feu en andain
Feu hors du champ
<u>PARCAGE</u>			
Au piquet
Enclos
En passage
Mobile ou fixe
<u>RAMASSAGE - EXPORTATION</u>			
Combustibles
Matériaux de construction
Fourrages
Litières
Autres destinations
<u>ENFOUISSEMENT</u>			
Labour
Autre travail du sol (culture attelée)
Travail manuel (mention- ner l'outil)
<u>CONSERVATION</u>			
Tiges - Pailles laissées sur le terrain :			
sans contrôle
avec contrôle
Intérêt du paysan pour la conservation
Culture précédente :
Culture à venir :

BIBLIOGRAPHIE

1. Organic materials as fertilizers - Soils Bulletin 27 FAO/SIDA
2. Elaboration d'un programme visant à promouvoir "l'emploi des matières organiques comme engrais" - FAO - Rome 1976
3. Bilan des études sur la fertilisation potassique en Haute-Volta avec références particulières aux cultures vivrières
J.F. POULAIN - IRAT/HA
4. Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre de Haute-Volta - ROOSE (E.J.) ORSTOM
J. ARRIVETS et J.F. POULAIN - IRAT/HV
5. La fumure minérale d'une succession de cultures
par G. BARBIER (INRA)
6. Interprétation agro-économique des essais d'engrais
Exemple des fumures azotées et potassiques du mil au Sénégal
par C. PIERI - J. GANRY - P. SIBAND
7. La fumure potassique des cultures pluviales dans les sols exondés sableux au Sénégal - C. PIERI (ISRA - Sénégal)
8. Rentabilité de la fumure potassique de quelques céréales de culture sèche au Sénégal - C. PIERI (ISRA - Sénégal)
9. Les rotations culturales par Michel SEBILLOTE Journées FNCETA 1968
Etude N° 1,381
10. Rapport de la section d'agronomie 1971-72 - IRCT - MAROUA
J. DUBERNARD
11. Rapport de la section d'agronomie 1973-74 - IRCT - BOUAKE
M. DEAT
12. Contribution à l'étude de la nutrition minérale du sorgho
Agro. Trop. (Paris) 1964 N°9
13. Contribution à l'étude des exportations minérales du maïs et du sorgho en Haute-Volta - B. DUPONT DE DUNECHIN
14. Exigences minérales du sorgho. Etude d'une variété voltaïque à grande tige - J. ARRIVETS
15. La Mobilisation des éléments minéraux par le sorgho IRAT 55
J. GIGOU - IRAT Cameroun Maroua - Déc. 1976
16. Utilisation des résidus de récolte - J.F. POULAIN - IRAT/Haute-Volta-Mali
17. Atelier sur les résidus de récolte - Le Cotonnier - M. DEAT et C. SEMENT
IRCT Bouaké
18. Importance des enfouissements de matière organique dans l'amélioration des systèmes cultureux au Sénégal - F. GANRY (ISRA Sénégal)
19. La fumure minérale du Niébé au Sénégal - par R. NICOU et J.F. POULAIN -
Communication 54 Colloque Tananarive 19-25 Nov. 1967

20. La production de matière sèche et les mobilisations minérales par une jachère naturelle annuelle pour différents systèmes de culture. Résultats obtenus au Sénégal - D. BLONDEL - P. LAURENT - G. POCHTIER Mars 1970
21. Fumures minérales et fumures organiques. Cas des exploitations sans bétail - BAFES N°2 - 1963 86-108 - G. DROUINEAU
22. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols Ann.Agro. n°16 pages 327 à 340 et 471 à 534
23. Influence de l'Humus sur l'évolution de l'acide phosphorique dans un sol latéritique - Ann. Agro. 1947 - R. CHAMINADE
24. Dynamique du l'azote minérale de deux sols sableux du Sénégal - D. BLONDEL - Colloque Tananarive 1967 - Rôle de la Matière organique libre dans la minéralisation en sols sableux - Relation avec l'alimentation azotée du mil - D. BLONDEL - Janvier 1976
25. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Sols "Diors") - Les principaux facteurs de leur fertilité - CRA BAMBEY - J.F. POULAIN.
26. La matière organique et l'eau dans les sols des régions Nord-Ouest du Sénégal - Bulletin agricole du Congo Belge - 1949
27. La prise en masse des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine - par R. NICOU - ISRA
28. Résultats de la recherche sur le riz pluvial en Casamance 1971 P. SISAND
29. Amélioration du Profil cultural - Agro. Trop. XXVI 9. 903.978 C. CHARREAU - R. NICOU
30. Bilan des études chimiques et pédologiques entreprises à Séfa (Sénégal) ORSTOM - Dakar
31. Influence de l'Accacia Albida sur le sol, la nutrition minérale et les rendements des mils au Sénégal (CHARREAU et VIDAL)
32. Considération sur la production d'engrais vert G. LEFEVRE et G. HIROUX.
33. Atlas des structures agraires au Sud du Sahara ORSTOM - H. BARRAL - G. SAVONNET
34. Cultures alternées sur un bassin versant du Centre de la Côte d'Ivoire IRAT/Côte d'Ivoire - B. JACOB - Juillet 1971
35. Notes d'agriculture ivoirienne - Les cultures assolées des sols non hydromorphes - B. BUANG - IRAC (Côte d'Ivoire)

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100