

Christian Pieri

Fertilité des terres de savanes



Ministère de la Coopération
et du Développement



Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique
pour le Développement

Bilan de trente ans
de recherche et de développement
agricoles au sud du Sahara

Chapitre 2

LABOUR ET BILAN ORGANIQUE DES SOLS CULTIVÉS

Ce chapitre présente les effets mesurés ou probables du travail du sol par le labour, en culture attelée bovine, sur les différents termes du bilan organique des sols. Cette analyse est ensuite étayée par les résultats obtenus dans les expérimentations où l'impact global du labour sur le bilan organique des sols cultivés a pu être évalué.

Labour et rendement

L'amélioration des rendements des cultures annuelles par la pratique du labour est généralement reconnue dans la zone de savanes au sud du Sahara.

Les travaux de CHARREAU et NICOU (1971) montrent que la porosité des sols de cette zone est limitée (environ 40 %) et même insuffisante pour permettre un bon enracinement des cultures. Ces auteurs estiment que les techniques de travail du sol sont nécessaires d'autant plus que les conditions naturelles propres à ces sols ne permettent pas d'attendre une amélioration spontanée de leurs caractères physiques.

L'effet direct du labour sur l'accroissement des rendements est variable selon les espèces. Au Sénégal, où ces études ont été les plus poussées, NICOU (1977) et CHOPART (1981) observent que le labour augmente en moyenne de 20 % les rendements en mil, sorgho, arachide ou coton (tableau IV.III). Cette augmentation peut atteindre 50 % dans le cas du maïs, et même plus de 100 % pour le riz pluvial, certainement à cause des répercussions de cette technique sur l'alimentation hydrique des cultures.

Le labour influence très nettement les caractéristiques de l'enracinement des cultures en favorisant ainsi l'exploitation des ressources du milieu. Les travaux de CHOPART (1980 et 1983) sont à ce point de vue très éclairants.

Tableau IV.III : Effet moyen du labour sur les rendements entre 1960 et 1976 au Sénégal.

Culture	Nombre de résultats annuels dont totaux positifs		Labour à la charrue (12-18 cm)			
			Rendement		Excédents dus au labour	
			Témoin (kg/ha)	Labour (kg/ha)	kg/ha	%
Mil (grain)	36	(35)	1 638	1 944	+ 306	+ 19
Sorgho (grain)	54	(47)	2 033	2 533	+ 490	+ 24
Mais (grain)	20	(20)	2 439	3 666	+ 1 227	+ 50
Riz pluvial paddy	20	(20)	1 164	2 367	+ 1 203	+ 103
Cotonnier (graine)	16	(14)	1 576	1 840	+ 264	+ 17
Arachide (gousses)	46	(44)	1 259	1 556	+ 297	+ 24

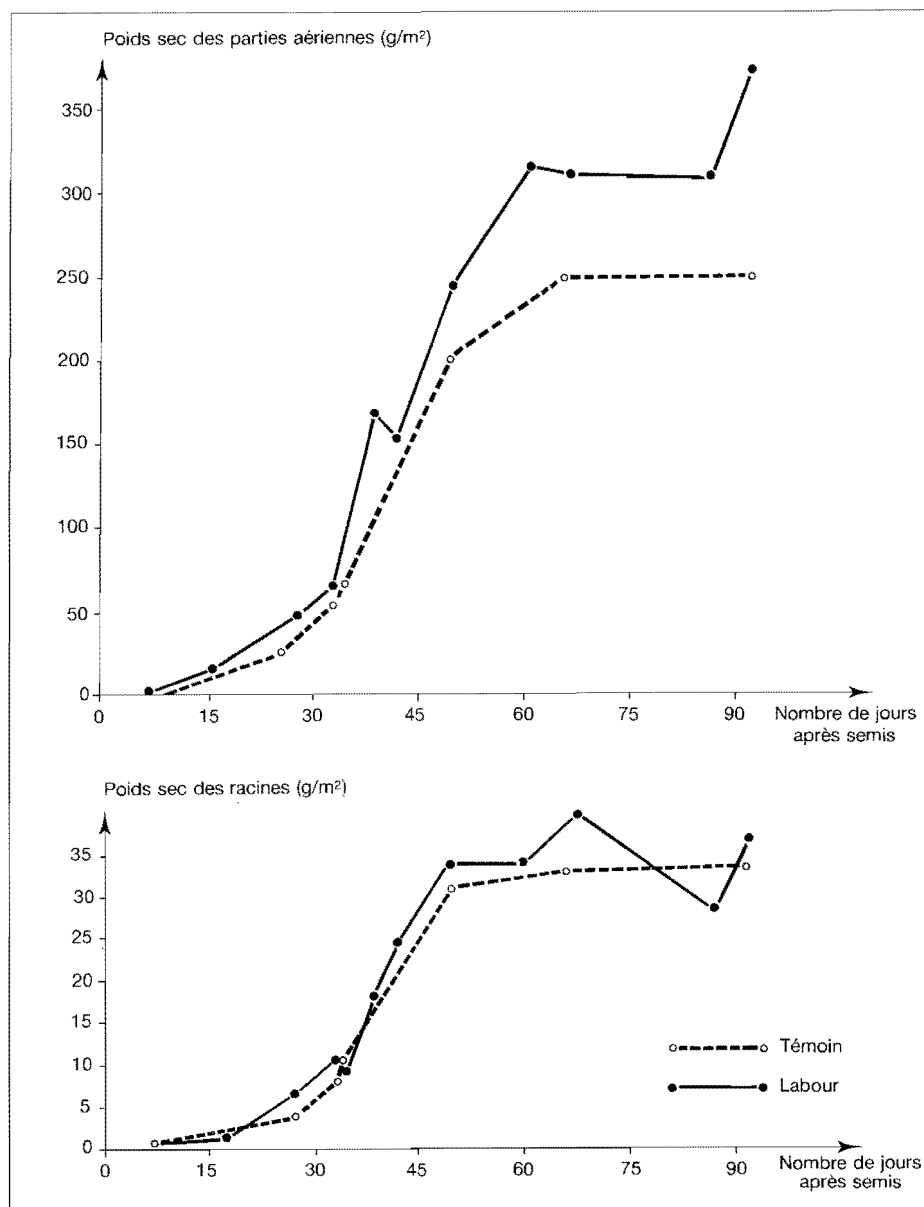
Source : NICOU, 1977 ; CHOPART, 1981.

Si l'on prend l'exemple de l'arachide, cet auteur montre que, dans les conditions de son étude, le labour agit finalement assez peu sur le poids total de matière sèche (M.S.) des racines : 30 à 40 g M.S./m² avec ou sans labour (figure IV.3). Par contre, cette technique joue fortement sur la production et la précocité d'installation des racines dans les différentes couches de sol prospectées (tableaux IV.IV et IV.V) et, dans une moindre mesure, sur la profondeur d'enracinement (tableau IV.VI).

Tableau IV.IV : Effet du labour sur la production de racines dans le profil à différents stades de végétation (% des différences labour - témoin) pour l'arachide (Sénégal).

Profondeur (cm)	34 j après semis	Entre 50 et 95 j après semis
0-30	+ 4 %	+ 8 %
30-70	+ 20 %	- 17 %
70-140	+ 50 %	+ 130 %

Source : CHOPART, 1980.



Source : CHOPART, 1980.

Figure IV.3 : Effet du labour sur la matière sèche produite par des variétés d'arachide hâtives (73-30 et 55-437). Bambey, Sénégal.

Tableau IV.V : Effet du labour sur la production de racines dans le profil à différents stades de végétation (% des différences labour - témoin) pour le mil (Sénégal).

Profondeur (cm)	34 j après semis	50 j après semis	Entre 65 et 90 j après semis
0-30	+ 126 %	+ 103 %	+ 35 %
30-60	+ 172 %	+ 40 %	+ 10 %
60-100		+ 56 %	- 10 %
100-180		+ 38 %	+ 41 %

Source : CHOPART, 1983.

Tableau IV.VI : Effet du labour sur la profondeur de l'enracinement de certaines cultures.

Culture	Profondeur du front racinaire (m)		Stade et variété
	Témoin	Labour	
Mil	1,7	1,7	Récolte - var. Souna
Sorgho	0,9	1,1	Récolte - var. 63-18
Riz pluvial	0,3	0,45	Grain laiteux - var. IK.P
Arachide	1,3	1,45	50 jours - var. 73-30, 55-437, 57-422

Source : CHOPART, 1980.

D'autres espèces, comme le sorgho et le riz pluvial, paraissent accroître plus sensiblement le poids total de racines produites sous l'effet du labour. On passe de 630 kg M.S./ha pour le témoin à 940 kg M.S./ha de racines en sol labouré pour la variété de sorgho 63-83, et 550 kg M.S./ha à 770 kg M.S./ha pour le riz pluvial I Kong Pao. Le mil, comme l'arachide, semble de ce point de vue peu sensible au labour si l'on en juge par le poids total de racines mesuré à la récolte : 340 kg M.S./ha pour le témoin et 370 kg M.S./ha avec labour. En revanche, la longueur totale de racines est augmentée de 60 % au moment de la floraison de l'arachide et de 100 % au tallage du mil.

CHOPART (1980) montre que la meilleure prospection du milieu sol se traduit par l'augmentation du poids de racines en profondeur, mais surtout par un développement de racines plus fines présentant une grande surface de contact. Ainsi, dans le cas du riz pluvial cultivé en Casamance (Sénégal), CHOPART et NICOU (1976) remarquent que le labour multiplie par 1,4 le poids de racines et par 2 leur nombre. La surface diamétrale de ces racines, à la montaison et au remplissage des grains, est, elle, multipliée par 3 : 1676 cm² par touffe de riz (issue d'une seule graine) contre 550 cm² sans labour, au stade « grain pâteux ».

Il n'existe pas beaucoup d'études sur l'enracinement aussi détaillées que celles menées au Sénégal. De nombreuses observations de terrain poursuivies en d'autres lieux (Burkina Faso, Côte-d'Ivoire) permettent de considérer que les études sénégalaises, effectuées pour les sols très sableux du nord, mais aussi dans le sud du pays où les sols ont une texture proche de celle observée dans la plupart des sols de la zone (A + L voisin de 10 à 15 %), ont une valeur générale.

On peut donc conclure que le labour accroît l'enracinement des cultures en augmentant la porosité des sols. Le sol est mieux colonisé non seulement dans la couche travaillée mais aussi en profondeur. Ceci résulte d'une plus forte production de racines, de l'augmentation de la longueur totale et du nombre de racines fines et divisées.

On doit souligner à nouveau que de plus nombreuses observations de terrain sur les enracinements s'avèrent nécessaires car les informations restent à ce jour trop restreintes et peu quantitatives. Il faut en outre ne pas oublier que ce que l'on mesure au champ, à la récolte, ne donne qu'une appréciation par défaut de la quantité réelle de « carbone racinaire » produit par la culture et restitué au sol sous forme d'exsudats et de débris de racines (représentant pour certains auteurs une quan-

tité de carbone équivalente à celle mesurée au moment de la récolte dans les racines vivantes).

Labour et activité biologique des sols

Les outils culturaux et en particulier la charrue ne sont pas généralement considérés comme très favorables au développement de la mésofaune et de la macrofaune (section A de la partie III).

Il est par contre certain que le labour, par son effet sur la porosité des sols et sur le couvert végétal, modifie, dans un sens favorable à l'activité microbiologique, l'aération, la température et les caractéristiques hydriques de ces sols (CHARREAU et NICOU, 1971). Cela est particulièrement vrai en début de saison des pluies, au moment où les populations microbiennes connaissent un développement véritablement explosif, après la longue pause de la saison sèche (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

L'augmentation de la surface de racines liée au labour a une répercussion indirecte sur les microorganismes, dont le domaine d'activité va s'étendre par extension de la rhizosphère. Au contact sol-racine, ces populations hétérotrophes trouvent l'eau, l'air, le carbone et les autres éléments nutritifs nécessaires à leur métabolisme.

Si les agronomes n'ont pas précisément mesuré ce phénomène, beaucoup de microbiologistes insistent sur ce rôle de « niche écologique » favorable aux microorganismes que constitue l'environnement rhizosphérique. Les agronomes ont par contre mesuré l'effet direct du labour sur l'amélioration de l'activité fixatrice de l'azote atmosphérique dans le cas de diverses symbioses rhizobium et légumineuses. Le tableau IV.VII et la figure IV.4, issus des travaux de WEY et OBATON (1978), montrent qu'au Sénégal l'amélioration d'activité fixatrice de l'arachide par le labour est vraisemblablement liée à l'extension des sites de fixation (les nodosités), plus nombreux et mieux répartis dans les premiers horizons du sol labouré.

Ainsi, le labour, par l'amélioration des conditions physiques et par l'extension de la rhizosphère, contribue très probablement au développement de la microflore hétérotrophe des sols. De ce point de vue, il faudra apprécier les répercussions de la consommation accrue de carbone qui en résulte sur le bilan final.

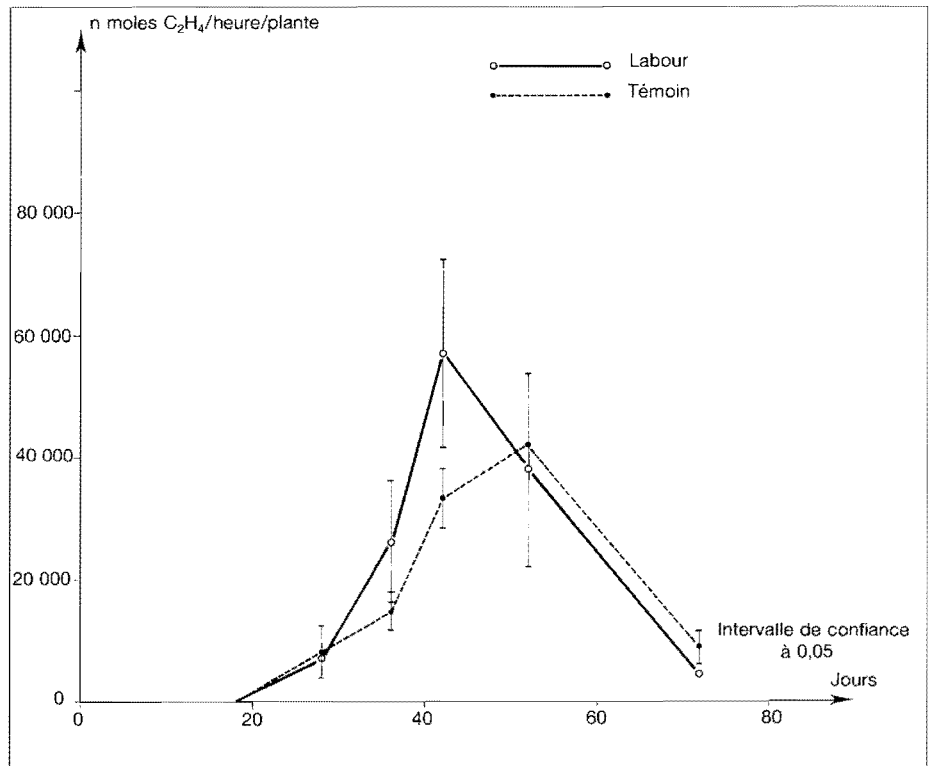


Figure IV.4 : Influence du labour sur la symbiose rhizobium-arachide à Thilmakha, Sénégal (1974, cycle de 90 jours). Mesures de fixation de $N_2 [C_2H_4]$ sur arachide.

Source : WEY et OBATON, 1978.

Tableau IV.VII : Nombre de nodosités par plant d'arachide au 60^e jour de végétation en fonction du type de racine et de la profondeur, à Thiénaba (Sénégal), en présence et en l'absence de labour.

Nombre de nodosités	Témoin	Labour
Total par plante	42	86
Sur pivot	40	3
Sur racines secondaires	2	83
Par profondeur		
0-10 cm	19	8
10-20 cm	13	45
20-30 cm	6	31
30-40 cm	5	3

Source : WEY, 1978.

Labour et circuit des eaux de surface

De nombreux écrits traitent de cette question (travaux de l'IRAT et de l'ORSTOM). Le labour agit fortement sur la dynamique des eaux

de surface. Selon sa qualité de réalisation, la période d'exécution et la stabilité du milieu physique (pente, profondeur) où il s'applique, les résultats peuvent conduire à une dégradation accélérée des sols (ruissellement et érosion) ou au contraire à une meilleure productivité liée à une amélioration de l'efficacité de l'eau pluviale.

Le stockage de l'eau dans le profil cultural est alors accru grâce au labour et induit de ce fait une forte production végétale dans les régions les plus sensibles aux aléas pluviométriques (tableau IV.VIII).

Tableau IV.VIII : Réserves en eau dans le sol le 27 juillet 1972 après 35 jours de sécheresse et rendements en arachide (Bambey, Sénégal).

Précédent végétal	Travail du sol	Réserve en eau (mm)	Rendement fin de campagne (kg/ha de gousses)
Jachère brûlée	0	21	229
Jachère brûlée	Labour avant semis (juin 72)	24	1 200
Jachère enfouie	Labour fin de cycle (oct. 71)	64	1 800
Mil, pailles enfouies	Labour fin de cycle (oct. 71)	79	2 135

Source : CHOPART, 1975.

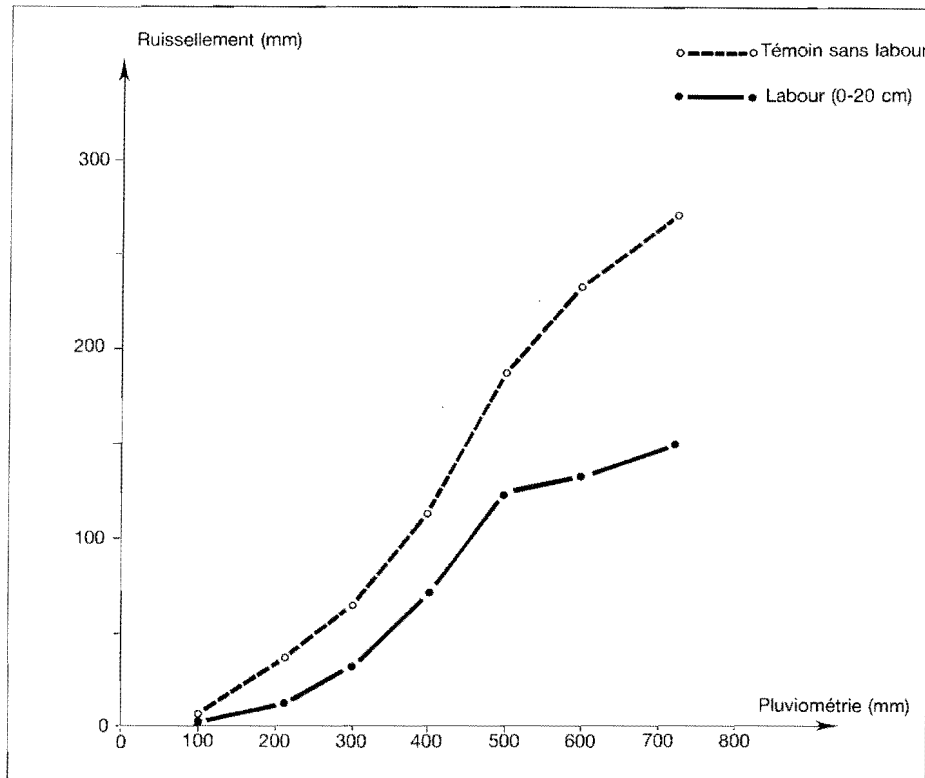


Figure IV.5 : Influence du labour sur le ruissellement sur sol nu. Séfa, Sénégal.

Source : CHARREAU, 1969.

Sans émiettement excessif, le sol labouré crée une rugosité de surface qui réduit très sensiblement le ruissellement (figure IV.5). L'érosion est d'autant plus limitée qu'en conditions de culture satisfaisantes la vigueur et la précocité d'installation du couvert végétal diminuent les effets destructurants des gouttes de pluie, dont l'énergie cinétique est en partie absorbée par l'écran de végétation.

Les résultats inverses ne manquent malheureusement pas. On a eu l'occasion d'évoquer les méfaits de l'érosion qui accompagnent de mauvaises pratiques culturales et des labours tardifs (la saison des pluies étant déjà commencée), mal exécutés (labour émietté, mal fermé, dans le sens de la pente, etc.). Lorsque la technique du labour est mal maîtrisée, elle induit des risques graves, dont les répercussions directes sur le bilan organique des terres sont, on le sait, décisives.

Labour et bilan organique des sols

L'exemple des CFJA, présenté en partie III (section B), souligne le poids considérable de l'érosion dans ce bilan. Sans maîtrise de ce processus dévastateur, il est vain de tenter de contrôler le bilan organique des sols cultivés par quelque technique que ce soit.

Dans les sols non sujets à l'érosion mais à texture très grossière, la perte annuelle intense en matière organique (7 % à Bambey, cf. fiche 4 ; 6 % à Thilmakha, cf. fiche 5) montre que le labour, malgré le niveau de rendement correct qu'il procure (plus de 1 200 kg/ha de mil sans engrais, 1t/ha d'arachide), induit un bilan organique très négatif. C'est le résultat d'une forte stimulation de l'activité microbienne de ces sols : leur fraction carbonée C fom, à la fois peu abondante et peu protégée par des surfaces d'adsorption minérale très faibles (A + L voisin de 4 %), est littéralement brûlée.

On peut considérer les deux situations précédentes comme des extrêmes (forte érosion, sols très sableux). Des expérimentations de longue durée réalisées au Sénégal depuis 1962 apportent en effet des informations plus complètes sur les relations entre travail du sol et bilan organique. Ces expérimentations, dénommées « améliorations foncières », ont permis de comparer les effets d'itinéraires techniques combinant factoriellement trois niveaux de travail du sol (manuel, T0, culture attelée légère, T1, culture attelée lourde, T2) à trois niveaux de fertilisation (sans engrais, F0, engrais minéraux à faible dose, F1, et à dose forte, F2, avec phosphatage de fond).

Les caractéristiques de ces expérimentations et leurs principaux résultats sont consignés dans la fiche 7 et les figures correspondantes, que l'on trouvera en annexe de la partie III.

Dans le tableau IV.IX, on a reporté les valeurs du taux de carbone organique des horizons de surface des parcelles exploitées depuis une vingtaine d'années en culture manuelle ou attelée légère et lourde.

L'échantillonnage du sol a été réalisé avec soin, en distinguant une couche superficielle de 8 cm et une couche 8-30 cm, pour pouvoir apprécier l'effet mécanique de dilution de la matière organique superficielle (litière) par le labour dans l'horizon travaillé (0-20 cm), par rapport à la perte absolue en matière organique.

Le travail du sol n'apparaît pas en lui-même comme un agent décisif de baisse du bilan organique des sols, si l'on se réfère à la moyenne des taux de carbone mesurés sous les traitements T0, T1, T2, dans ces essais. Cette absence apparente d'effet moyen cache des situations très contrastées.

Tableau IV.IX : Taux de carbone organique (‰) des horizons de surface de parcelles d'essais en culture manuelle (T0), en culture attelée légère (T1), en culture attelée lourde (T2), toutes fumures confondues. Essais d'améliorations foncières, Sénégal (cf. fiche 7).

Essais	T0		T1		T2	
	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm
Thiénaba	1,59	1,56	1,62	1,56	1,75	1,64
Nioro	3,59	2,95	2,79	2,76	2,84	2,89
Boulel	2,58	2,30	2,33	2,02	2,02	1,95
Sinthiou	3,02	3,18	3,89	3,22	3,09	3,36
Vélingara	4,90	3,65	4,43	3,89	3,88	3,44
Missirah	3,95	3,43	3,21	3,40	3,14	3,14
Séfa	4,73	4,30	4,83	4,60	5,50	4,75
Moyenne	3,2	3,1	3,3	3,1	3,2	3,0

Source : RABOT, 1984.

Deux cas ont fait l'objet d'une analyse plus détaillée (annexe du chapitre) : celui de Nioro-du-Rip où le travail du sol, quelle que soit son intensité, accentue la perte (mesurée par k) de matière organique (tableau IV.X), et celui de Séfa (tableau IV.XI) où un travail du sol intense préserve mieux le capital organique de ce sol.

Tableau IV.X : Relation entre le taux de perte annuelle k en matière organique du sol, les techniques culturales et le niveau de production obtenu à Nioro-du-Rip (Sénégal), au cours de la période 1967-1983.

Travail du sol	Traitement		C (‰)		k (%)		Indice de production végétale*
	Dose d'engrais	Code	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	
Manuel	0	F0 T0	3,6	2,9	3,1	4,4	1
Labour profond	0	F0 T2	2,5	2,6	5,3	5,0	1,39
Manuel	Forte	F2 T0	3,9	3,2	2,6	3,8	2,39
Labour profond	Forte	F2 T2	3,0	3,3	4,2	3,6	2,78
Labour superficiel	Moyenne	F1 T1	2,7	2,8	4,8	4,6	2,31

Source : SARR, 1981 ; RABOT, 1984.

* Indice de production végétale : somme des rendements obtenus de 1967 à 1983 pour les quatre cultures. L'indice 1 correspond au total à 48,2 t/ha/an de produits récoltés.

A Nioro-du-Rip, l'accroissement de rendement induit par le travail du sol avec ou sans engrais reste modéré. L'indice de production végétale est inférieur à 3. Trois raisons peuvent être invoquées pour expliquer le solde négatif du bilan organique des sols de Nioro-du-Rip :

- production de carbone végétal insuffisante (partie épigée et surtout racines) ;
- pertes en carbone liées à la stimulation de la microflore ;
- pertes vraisemblables de matière organique dues à l'érosion, dont les manifestations sont connues dans la station de recherche de Nioro-du-Rip.

Tableau IV.XI : Relation entre le taux de carbone organique du sol, les techniques culturales et le niveau de rendement obtenu à Séfa (Sénégal), au cours de la période 1967-1982.

Travail du sol	Traitement		C (‰)		Indice de production végétale*
	Dose d'engrais	Code	0-8 cm	8-30 cm	
Manuel	0	F0 T0	3,8	3,8	1
Labour profond	0	F0 T2	6,4	5,1	3,6
Labour profond	Moyenne	F1 T2	5,4	5,0	14,3
Labour profond	Forte	F2 T2	4,7	4,2	13,8

Source : RABOT, 1984.

* Indice de production végétale : rendement moyen en maïs obtenu de 1967 à 1982. L'indice 1 est équivalent à 198,3 kg/ha/an de maïs.

A Séfa, par contre, la porosité joue apparemment le rôle de premier facteur limitant de la production. Les accroissements relatifs considérables de rendement en maïs — donc en carbone végétal apporté par la culture au sol — liés à la pratique du labour font que le taux de matière organique du sol augmente*.

Ces deux exemples soulignent bien que l'évaluation a priori de l'impact du labour à la charrue sur le bilan organique des sols cultivés ne peut pas être faite si l'on en néglige une partie des termes.

Le labour favorise largement, par les conditions qu'il crée dans le sol, le développement de la microflore hétérotrophe, alors qu'il semble contrarier (section A de la partie III) l'activité humificatrice de la mésofaune. Selon la qualité de sa réalisation, il peut aussi bien favoriser que contrôler l'érosion. En définitive, cette technique, inévitable dès lors qu'il est recommandé d'enfouir, par exemple du fumier ou des résidus organiques, ne peut conduire à un maintien ou à une amélioration du bilan organique que si elle induit une production végétale en nette augmentation avec, tout particulièrement, un très fort développement racinaire.

* Le taux de perte annuelle k (%) n'a pu être calculé par manque d'informations sur le taux initial de carbone du sol en début d'essai.

ANNEXE

Effet de systèmes de culture à intensité croissante sur quelques caractéristiques des sols. Nioro-du-Rip (Sénégal), essai d'améliorations foncières, 1983 (fiche 7).

Système	Caractéristiques des sols						Indices de fertilité					
	Densité apparente (g/cm ³)		pH KCl		C (%)		N (‰)		TSA (%)		S _i (%)	
	0-15 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	0-8 cm	
F0T0	1,54	5,16	4,35	0,36	0,29	0,31	0,27	0	3,2	7,5	4,0	
F1T1	1,57	4,49	4,32	0,27	0,28	0,23	0,25	19,2	9,8	4,5	3,3	
F2T2	1,50	4,19	4,12	0,30	0,33	0,25	0,29	14,1	13,4	5,9	4,8	

Source : SARR, 1981.

Effet de systèmes de culture à intensité croissante sur quelques caractéristiques des sols. Séfa (Sénégal), essai d'améliorations foncières, 1983 (fiche 7).

Système	Caractéristiques des sols				Indices de fertilité*			
	pH KCl		C (%)		TSA (%)		S _i (%)	
	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm	0-8 cm	8-30 cm
F0T0	4,65	4,13	0,38	0,38	0	41,8	7,8	3,9
F1T1	4,05	4,15	0,55	0,50	25,2	16,0	6,7	4,3
F2T2	3,85	3,82	0,47	0,42	44,3	57,0	6,7	3,4

Source : RABOT, 1984.

* A + L : 11,5 % à 0-8 cm et 19,4 % à 8-30 cm.

TSA et S_i sont définis en partie III, section B, chapitre 1.