

08806

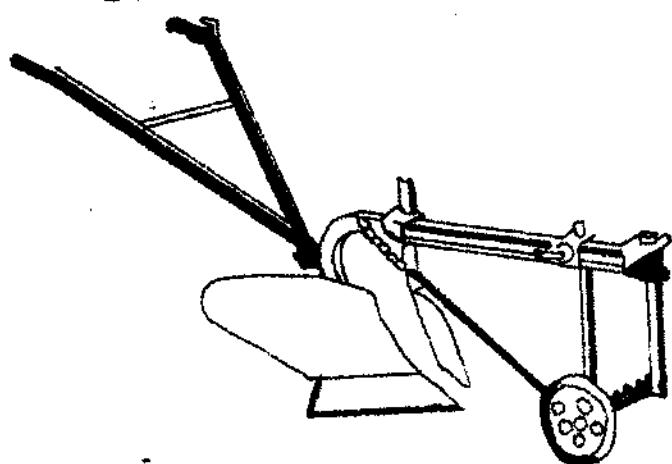
J.R.C.
REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SECRETARIAT D'ETAT A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET
TECHNIQUE

LE TRAVAIL DU SOL AU SENEGAL

ANALYSE DES CONTRAINTES TECHNIQUES
ET PROPOSITIONS ACTUELLES DE LA RECHERCHE

PAR
J. L. CHOPART *



AOÛT 1981

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES
AGROBIOLOGIQUES DE BANBET

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I.S.R.A.)

* Agronome de l'I.R.A.T. mis à la disposition de l'I.S.R.A. (IRAT : 110 rue
de l'université 75340 Paris CEDEX 07 FRANCE)
(ISRA - CERA : B.P. 51 BANBET SENEGAL)

L'étude des problèmes de travail du sol a débuté dès 1950. De nombreux chercheurs de plusieurs disciplines ont participé, à des degrés divers, à l'obtention des résultats qui permettent aujourd'hui de tirer des conclusions sûres en ce qui concerne les effets du travail du sol au Sénégal.

Dans la mesure où des documents ont été rédigés, les noms d'auteur et les références ont été cités. Malheureusement certains résultats n'ont pas fait l'objet de publication, sinon sous forme de rapports d'activités plus ou moins confidentiels et anonymes. C'est pourquoi, il m'est agréable de citer et de remercier ici l'ensemble de ceux qui ont participé aux études sur le travail du sol au Sénégal :

A. ANGE, C. CHARREAU, C. DANCETTE, S. DIATTA, J. FAYE, F. GANRY, M. LE MOIGNE, J. MONNIER, M. NDIAYE, R. OLIVER, C. PIERI, R. PIROT, J. WEY, G. POCHIER, J.F. POULAIN, R. TOURTE.

Parmi ceux-ci, une mention particulière doit être faite à :
- C. CHARREAU et R. NICOU qui ont largement contribué à l'explication des mécanismes de l'effet du travail du sol et qui ont rédigé des premières synthèses sur le travail du sol au Sénégal en 1971 et 1977 (CHARREAU et NICOU 1971, NICOU 1977).

- G. POCHIER qui, à travers son réseau d'expérimentation multilocale dans tout le Sénégal, a permis d'obtenir une masse importante de résultats sur les rendements en culture avec ou sans travail du sol.

Je remercie très sincèrement les techniciens : M. FALL, S.P. SARR, P.O. NDIEYE et A. KHOULE qui ont été chargés de la conduite des expérimentations de la division de physique du sol et aussi l'ensemble des responsables des stations et des Papem qui ont réalisé des essais de travail du sol.

S O M M A I R E

AVERTISSEMENT

1 - INTRODUCTION POSITION DU PROBLEME

2 - OBJECTIFS ET EFFETS DU TRAVAIL DU SOL

21 - Caractéristiques physiques des sols exondés

22 - Les outils de travail du sol utilisés

23 - Les effets du travail du sol

231 - Effets directs du labour

232 - Principaux facteurs de la variabilité de l'effet du labour

233 - Effets résiduels du labour

234 - Le travail du sol superficiel à la dent.

3 - LE PROBLEME DE LA DIFFUSION DU TRAVAIL DU SOL

31 - Contraintes de réalisation du labour

311 - Labour en humide : contraintes climatiques et de travail

3111. labour de début de saison des pluies

3112. labour de fin de saison des pluies

312 - Labour en saison sèche : contraintes relatives à l'effort de traction

32 - Solutions techniques envisageables pour faciliter l'introduction du travail du sol semi-profond en milieu rural - intérêt et contraintes

321 - Travail du sol en saison des pluies

322 - Travail du sol en saison sèche

3221 - augmentation de la puissance de traction

3222 - réduction des efforts de traction

4 - SYNTHESE DES PROPOSITIONS ACTUELLES DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE EN MATIERE DE TRAVAIL DU SOL

5 - CONCLUSION

A VERTISSEMENT

Au Sénégal, les sols exondés représentent la grande majorité des terres cultivées, mais il existe aussi des sols plus ou moins inondables sur lesquels se font des cultures irriguées, riz principalement.

Les caractéristiques pédologiques de ces sols et les systèmes de culture n'ont souvent rien de comparable avec ceux des sols exondés. De même, les problèmes de travail du sol s'y posent de manière très différentes.

Le travail du sol en terre inondée ne sera pas abordé dans ce document. On signalera seulement que, d'une manière générale, un travail profond ou semi-profond paraît nettement moins indispensable qu'en sol exondé, si l'on arrive à contrôler les mauvaises herbes par des moyens chimiques.

1 - INTRODUCTION POSITION DU PROBLEME

Dans les sols exondés du Sénégal, le choix par l'agriculteur du mode de travail du sol (ou de non travail du sol) sur ses différents champs dépend principalement des différents facteurs suivants :

- Objectifs de production
- Etat du milieu
- Disponibilité en matériel et moyens de traction
- Contraintes de réalisation.

Ce choix doit aussi dépendre de la connaissance qu'a l'agriculteur de l'intérêt agronomique de chacune des techniques de travail du sol susceptibles d'être utilisées.

Ce document qui fait la synthèse des résultats et des propositions actuelles de la Recherche en matière de travail du sol, a essentiellement pour but de faciliter le choix, par les paysans et les responsables du développement agricole, entre les différentes techniques de travail du sol envisageables, en fonction des contraintes de réalisation, mais aussi de leur intérêt agronomique. Les résultats et conclusions qui suivront ne concerneront bien sûr que le Sénégal, dont les conditions pédo-climatiques sont caractérisées essentiellement par une courte saison des pluies, faible et irrégulière dans le moitié nord du pays et par des sols sableux, mal structurés et pauvres en matière organique.

Objectifs du développement agricole

L'un des objectifs majeurs fixé à l'activité agricole du Sénégal peut être ainsi résumé : augmenter et sécuriser les productions céréalières et arachidières, pour assurer l'autosuffisance alimentaire nationale et l'accroissement notable du revenu des agriculteurs.

Dans beaucoup d'endroits, l'augmentation de la production ne peut plus se faire par l'augmentation des surfaces cultivées, car les terres cultivables encore en friche n'occupent plus que des superficies réduites. Seule l'augmentation de la productivité du travail et de la terre peut permettre d'atteindre les objectifs fixés. Il faut toutefois veiller à ce que l'augmentation de la productivité puisse aller de pair avec la conservation du patrimoine foncier.

Potentialités du milieu

Si la fertilité naturelle des sols exondés est généralement relativement faible au Sénégal, la fertilité potentielle obtenue par l'utilisation des thèmes semi-intensifs paraît beaucoup plus élevée. En grande culture, des rendements de 2.500 kg/ha d'arachide et de mil, de 5.000 kg/ha de maïs peuvent par exemple être obtenus en condition uniquement pluviale.

Des rendements élevés sont donc possibles, mais il faut pour cela lever certaines contraintes qui constituent des facteurs limitants de la production.

Les problèmes à résoudre

Les problèmes à résoudre pour améliorer la productivité de l'agriculture sont nombreux et justifient l'effort de recherche entrepris dans le domaine agricole. On n'abordera ici que ceux liés au travail du sol.

- l'alimentation hydrique : même dans les zones méridionales, l'alimentation hydrique des plantes constitue souvent, et particulièrement ces dernières années, le facteur limitant principal de rendement.

A côté d'une augmentation de la résistance à la sécheresse par des méthodes de sélection variétale, une amélioration des conditions d'alimentation hydrique peut aussi être obtenue par un aménagement du système sol-eau. Il faut en particulier réduire les pertes d'eau par ruissellement, par évaporation et par la consommation de mauvaises herbes. Il faut aussi et surtout assurer une bonne utilisation par la plante, de l'eau stockée dans le sol grâce à un système racinaire vigoureux, à développement rapide, avec une bonne colonisation du sol notamment en profondeur.

- l'alimentation minérale : l'amélioration de l'alimentation minérale des cultures passe par la pratique d'une fertilisation minérale et organique et par une meilleure disponibilité en eau. Mais, parallèlement, des systèmes racinaires bien développés permettent une meilleure interception des éléments minéraux dans le sol.

- la préservation du patrimoine sol : il est essentiel que l'augmentation de la productivité n'entraîne pas un appauvrissement et une dégradation des sols. A cet égard, la restitution de matières organiques transformées ou non et la fertilisation, de préférence enfouies par un travail de sol semi-profond (15 - 18 cm), paraissent indispensables. Il faut aussi contrôler les phénomènes d'érosion tant pluviale qu'éolienne.

Or, dans chacun de ces domaines : conservation de la fertilité du sol, alimentation hydrique et minérale, le travail du sol semi-profond, actuellement très peu répandu, peut jouer un rôle favorable.

2 - OBJECTIFS ET EFFETS DU TRAVAIL DU SOL

21 - Caractéristiques physiques des sols exondés

La grande majorité des sols exondés du Sénégal peuvent être classés parmi les sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés, les sols ferrallitiques et les sols peu évolués sableux. Ils ont en commun un certain nombre de caractéristiques physiques :

- la fissuration du sol sec est inexistante ou peu accentuée, la porosité est faible de 38 à 42 % ;

- la cohésion du sol sec est très forte, d'autant plus forte que le sol contient plus d'éléments fins ;

- la teneur en matière organique décroît très vite dès que l'on met le sol en culture, pour atteindre des valeurs de l'ordre de 0,5 %.

Le sol est sensible à l'érosion bolienne pendant la saison sèche (surtout dans la moitié nord du pays) et à l'érosion par ruissellement pendant la saison des pluies (surtout dans la moitié sud du pays).

Ces sols ont tout de même une qualité : ils sont généralement profonds, au moins ceux qui sont actuellement cultivés.

D'autres types de sols exondés existent aussi, mais les superficies cultivées sont nettement plus faibles : vertisols, lithosols, etc... La généralisation à ces sols des résultats obtenus dans les sols ferrugineux et ferrallitiques devra se faire avec prudence.

22 - Les outils de travail du sol utilisés

Jusqu'à maintenant, deux types d'outils de travail du sol ont été testés en traction bovine :

- outils de travail superficiel avec des dents : Pour le travail en sec, les dents peuvent être semi-rigides (canadien) ou rigides (dents type GOUVY). La profondeur du travail est de 5 à 7 cm avec 3 à 5 dents pour le canadien. Les dents type GOUVY peuvent pénétrer plus profondément, mais le volume du sol travaillé reste faible.

Pour le travail en humide en début de cycle, ce sont surtout des lames en forme de patte d'oeie qui ont été utilisées. Elles sont montées sur étançon rigide. La profondeur de travail peut atteindre 10 cm.

- la charrue : les études ont été réalisées essentiellement en traction bovine avec des charrues de 10 pouces à versoir cylindro-bulicoidal. La profondeur de travail est comprise entre 13 et 20 cm.

Le labour peut être réalisé :

- en début de saison des pluies, c'est-à-dire immédiatement après les premières pluies qui ont humidifié le sol sur plus de 15 à 20 cm, et avant le semis ;

- en fin de cycle, aussitôt après la récolte, avant que le sol ne se dessèche après les dernières pluies. Ce type de labour offre la possibilité de procéder à un enfouissement des pailles de céréales.

- pendant la saison sèche : labour en sec

- Autres outils

D'autres instruments de travail du sol en traction bovine et motorisée sont actuellement étudiés par la division de machinisme agricole. Les instruments testés sont surtout destinés à un travail en sec.

23 - Effets du travail du sol

Les effets agronomiques du travail du sol ont fait l'objet de nombreux travaux par TOURTE, CHARREAU, NICOU et CHOPART en particulier. Des synthèses ont été rédigées (CHARREAU et NICOU, 1971 ; NICOU, 1972 ; NICOU, 1977).

La présentation des effets agronomiques du travail du sol au Sénégal sera donc ici volontairement assez succincte.

231 - Effets directs du labour :

- Effets sur le sol et le développement de la plante :

Le retournement du sol par la charrue a pour effet immédiat d'augmenter la porosité du sol et sa rugosité (NICOU 1974), ce qui favorise l'infiltration de l'eau au moment des premières pluies (CHARREAU, 1969). Le labour, lorsqu'il est réalisé en fin de cycle après une culture à cycle court, permet de préserver de l'évapotranspiration pendant la saison sèche une partie non négligeable des réserves hydriques présentes dans le sol à la récolte. Le stock d'eau supplémentaire mis à la disposition de la culture suivante peut atteindre 50 à 80 mm d'eau utile sur 2 mètres par rapport à un terrain non travaillé et non désherbé après la récolte (DANCETTE, 1974 ; CHOPART, 1975 ; NICOU et CHOPART, 1979 ; CHOPART, NICOU et VACHAUD, 1979).

L'amélioration de la porosité du sol entraîne une augmentation de la densité racinaire, ce qui facilite l'alimentation hydrique et minérale de la plante (NICOU et THIROUIN, 1968 ; CHOPART, 1975 ; CHOPART et NICOU, 1976 ; CHOPART, 1980). Le rôle du labour, et en particulier, du labour de fin de cycle, sur l'économie de l'eau et sur une meilleure utilisation des réserves, a généralement pour conséquence une plus grande capacité de traverser sans dommage des périodes de sécheresse (CHOPART, 1975 ; CHOPART et NICOU, 1976 ; NICOU et CHOPART, 1979). L'amélioration de la porosité entraîne aussi une augmentation de l'activité fixatrice des légumineuses (WEY et DBATON, 1978).

Le conditionnement du sol par la charrue permet de procéder à des enfouissements de matière organique et des engrains, ce qui entraîne une réduction des pertes d'azote, une meilleure répartition des racines et une meilleure efficacité de l'engrais en cas de sécheresse (CHOPART, 1975 ; GANRY et GUIRAUD, 1979).

La rugosité du labour réalisé en fin de cycle ou en sec a pour conséquence, lorsqu'il est bien fait, de diminuer la sensibilité du sol à l'érosion goliennne.

Le labour permet enfin une certaine limitation des mauvaises herbes en début de culture. Le labour de début de cycle est le plus efficace à cet égard.

Ces différents effets du labour permettent de contribuer à la conservation du patrimoine sol, à condition de procéder à des restitutions organiques et à des apports d'engrais. Ils conduisent aussi et surtout à une augmentation de la productivité des cultures.

Effets sur les rendements

Les effets moyens du labour avec ou sans enfouissement de matière organique (pailles ou fumier), sur l'ensemble des essais de travail du sol réalisés au Sénégal entre 1960 et 1977, figurent dans le tableau n°1. Ceux obtenus entre 1977 et 1980, dans le tableau n°2.

- Rendements moyens

Durant ces dernières années, on note une baisse très sensible des rendements en mil, arachide et cotonnier par rapport aux années antérieures, en moyenne plus pluvieuses. Seule l'arachide des essais avec labour d'enfouissement a un rendement en augmentation. Ceci s'explique par le fait que la plupart des résultats de 77 à 80 ont été obtenus en Casamance où l'arachide n'a pas souffert de la sécheresse.

Par contre, des cultures à cycle court comme le maïs et le riz pluvial ont des rendements qui se maintiennent.

- Effet du labour

Toutes les cultures réagissent positivement au labour, avec toutefois des augmentations variables suivant les espèces, et suivant qu'il y ait ou non enfouissement de matière organique.

Si l'on fait la moyenne des résultats obtenus entre 1960 et 1980, les effets du labour sur le rendement sont les suivants :

<u>Labour seul</u>	<u>Labour d'enfouissement</u>
Arachide + 20 %	+ 9 %
Mil + 17 %	+ 24 %
Sorgho + 24 %	+ 24 %
Maïs + 54 %	+ 75 %
Riz pluvial + 71 %	+ 103 %
Cotonnier + 16 %	+ 33 %

On observe que les céréales plus sensibles aux conditions physiques du sol, comme le maïs et le riz pluvial, voient leur rendement amélioré dans des proportions nettement plus importantes que le mil ou l'arachide.

L'effet du labour sur l'arachide paraît plus marqué dans les zones nord et centre nord que dans les zones plus méridionales.

D'autre part, sur l'arachide, l'effet moyen du labour d'enfouissement de matière organique est inférieur à celui du labour sans enfouissement. Toutefois, dans la plupart des essais de labour d'enfouissement, il s'agit de matière organique non humifiée (pailles de céréales). Il y a alors une minéralisation rapide de ces pailles en début de cycle, avec une libération d'azote qui a tendance à réduire et retarder la nodulation de l'arachide. Lorsque la pluviométrie est importante (cas des zones méridionales), cet azote est rapidement lessivé : la plante manque ensuite de cet élément et l'effet de l'enfouissement est peu marqué ou même dépressif. Lorsque la pluviométrie est faible, l'azote reste dans la zone d'exploration racinaire ; il peut être utilisé par la plante et l'effet du labour d'enfouissement est positif.

Si l'on procède à des enfouissements de fumier, les résultats sont en général spectaculaires car le fumier active au contraire la nodulation.

232 - Principaux facteurs de la variabilité de l'effet de labour :

Si les effets du labour sont variables d'une espèce à une autre, pour une même espèce ils peuvent aussi être très variables en fonction des conditions pédo-climatiques et des itinéraires techniques.

- La pluviométrie : Des conditions d'alimentation hydrique légèrement déficiente au cours de la culture ont tendance à entraîner une augmentation de l'effet du labour particulièrement du labour de fin de cycle, tandis que, en conditions de sécheresse très sévère comme en 1980, les rendements sont partout très bas, aussi bien sur témoin que sur labour.

Tableau 1 : EFFETS MOYENS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS ENTRE 1960 ET 1976 - D'APRES R. NICOU 1977

	LABOUR SEUL						LABOUR D'ENFOUISSEMENT							
	NOMBRE DE RESULTATS ANNUELS			RENDEMENT		EXCEDENTS DUS AU LABOUR		NOMBRE DE RESULTATS ANNUELS			RENDEMENT		EXCEDENTS DUS AU LABOUR	
	Taux Positifs %			Tômoins Labour	kg/ha	kg/ha	%	Taux Positifs %			Tômoins Labour	kg/ha	kg/ha	%
MIL GRAIN	36	35	97	1638	1944	+ 306	+ 19	14	12	86	1416	1740	+ 324	+ 23
SORGHO GRAIN	54	47	87	2033	2533	+ 490	+ 24	4	4	100	1849	2295	+ 446	+ 24
MAIS GRAIN	20	20	100	2439	3666	+1227	+ 50	27	25	93	1899	3289	+1390	+ 73
RIZ PLUVIAL PADDY	20	20	100	1164	2367	+1203	+103	8	8	100	1328	2816	+1488	+112
COTONNIER (Coton grain)	16	14	88	1576	1840	+ 264	+ 17	51	40	78	1356	1772	+ 416	+ 31
ARACHIDE GOUSSSES	46	44	96	1259	1556	+ 297	+ 24	123	94	76	1629	1779	+ 150	+ 9

Tableau n° 2 : EFFETS MOYENS DES LABOURS SUR LES RENDEMENTS ENTRE 1977 ET 1980 (4 ANS), D'APRES LES TRAVAUX
DE A. ANGE, J.L. CHOPART

	LABOUR SEUL						LABOUR D'ENFOUISSEMENT							
	NOMBRE DE RESULTATS ANNUELS			RENDEMENT		EXCEDENTS DUS AU LABOUR		NOMBRE DE RESULTATS ANNUELS			RENDEMENT		EXCEDENTS DUS AU LABOUR	
	Taux Positifs % positif			Témoin Labour		kg/ha	%	Taux Positifs % positif			Témoin Labour		kg/ha	%
MIL (GRAIN)	14	13	87%	1195	1334	+ 139	+ 12%	7	6	86%	958	1242	284	+ 30%
SORGHO GRAIN	13	13	100%	1477	1846	+ 369	+ 25%							
MAIS GRAIN	31	31	100%	1786	2817	1031	+ 58%	2	2	100%	1623	3336	1713	+ 106%
RIZ PLUVIAL PADDY	9	7	78%	1794	2244	+ 450	+ 25%	2	2	100%	1508	2629	1121	+ 74%
COTONNIER (GRAIN)	3	3	100%	802	895	93	+ 12%	21	20	95%	710	1017	307	+ 43%
ARACHIDE (GOUSSSES)	33	25	76%	837	940	+ 103	+ 12%	9	5	56%	2059	2125	66	+ 3%

- Le milieu : Sur un terrain remis en culture après une longue période de jachère ou après défriche ou encore lorsque le sol a déjà été labouré l'année précédente, la porosité initiale est bonne et l'effet du labour nettement moins marqué. A l'autre extrême, dans un terrain de vieille culture, avec des apports insuffisants d'engrais et de matière organique, l'effet du labour est souvent faible car d'autres facteurs limitant plus importants que la porosité et l'enracinement existent : richesse insuffisante en éléments nutritifs assimilables, pH bas qui entraîne une faible activité biologique et une toxicité aluminique etc.. Il faut d'abord résoudre ces problèmes, (en particulier par des apports d'engrais et de matière organique, par le chaulage) avant de mettre en évidence un effet du travail du sol.

Les résultats d'un essai mené par la division de rhizobiologie du CNRA de Bambaré sont à cet égard particulièrement parlants. L'essai a été mis en place en 1972 en milieu paysan sur un terrain très sableux de vieille culture, déjà épuisé, avec manifestation de tâches de chlorose azotée. Depuis 8 ans, cet essai est en culture suivant une rotation mil-arachide avec des traitements appliqués avant l'arachide et dont on étudie les effets résiduels sur le mil. Parmi les différents traitements, on en retiendra quatre :

- Témoin
- Labour en sec
- Labour en sec avec enfouissement de chaux (600 kg/ha tous les deux ans)
- Labour en sec avec enfouissement de fumier (10 t/ha tous les deux ans).

Pendant les trois premières années, on a assisté, en moyenne, à un effet intéressant de chacun des traitements qui permet de relever le rendement déjà médiocre du témoin (figure n° 1). Par contre, depuis quelques années, sur arachide, l'écart de creuse nettement entre les traitements labourés ayant reçu des apports de chaux et surtout de fumier tous les deux ans, et les deux autres traitements sans amendement (témoin et labour sec), qui voient leur rendement continuer à baisser avec une diminution de l'effet du labour. Les rendements du mil chutent dans des proportions encore plus spectaculaires pour atteindre des niveaux pratiquement nuls en 1980 en absence de fumier ou de chaux.

Dans un tel sol, si des niveaux minima d'activité biologique et d'équilibre physico-chimique dans le sol ne sont pas maintenus, ceux-ci deviennent rapidement les facteurs limitants principaux du rendement plus que les propriétés physiques du sol, et l'effet du travail du sol devient négligeable.

- Les techniques culturales

Des semis et des démarriages trop tardifs, un mauvais contrôle des adventices et du parisitisme sont autant de facteurs qui contribuent à réduire l'effet du labour. Ceux-ci doivent être maîtrisés aussi bien que possible, préalablement ou parallèlement à la réalisation d'un travail du sol semi-profond.

Les conditions de réalisation du labour

La qualité d'un labour a bien sûr une influence sur l'efficacité de celui-ci.

RENDEMENTS GOUSSES Kg/Ha
(MOYENNE 3 ANS)

_____	TEMOIN
_____	LABOUR EN SEC
_____	LABOUR + FUMIER
_____	LABOUR + CHAUX

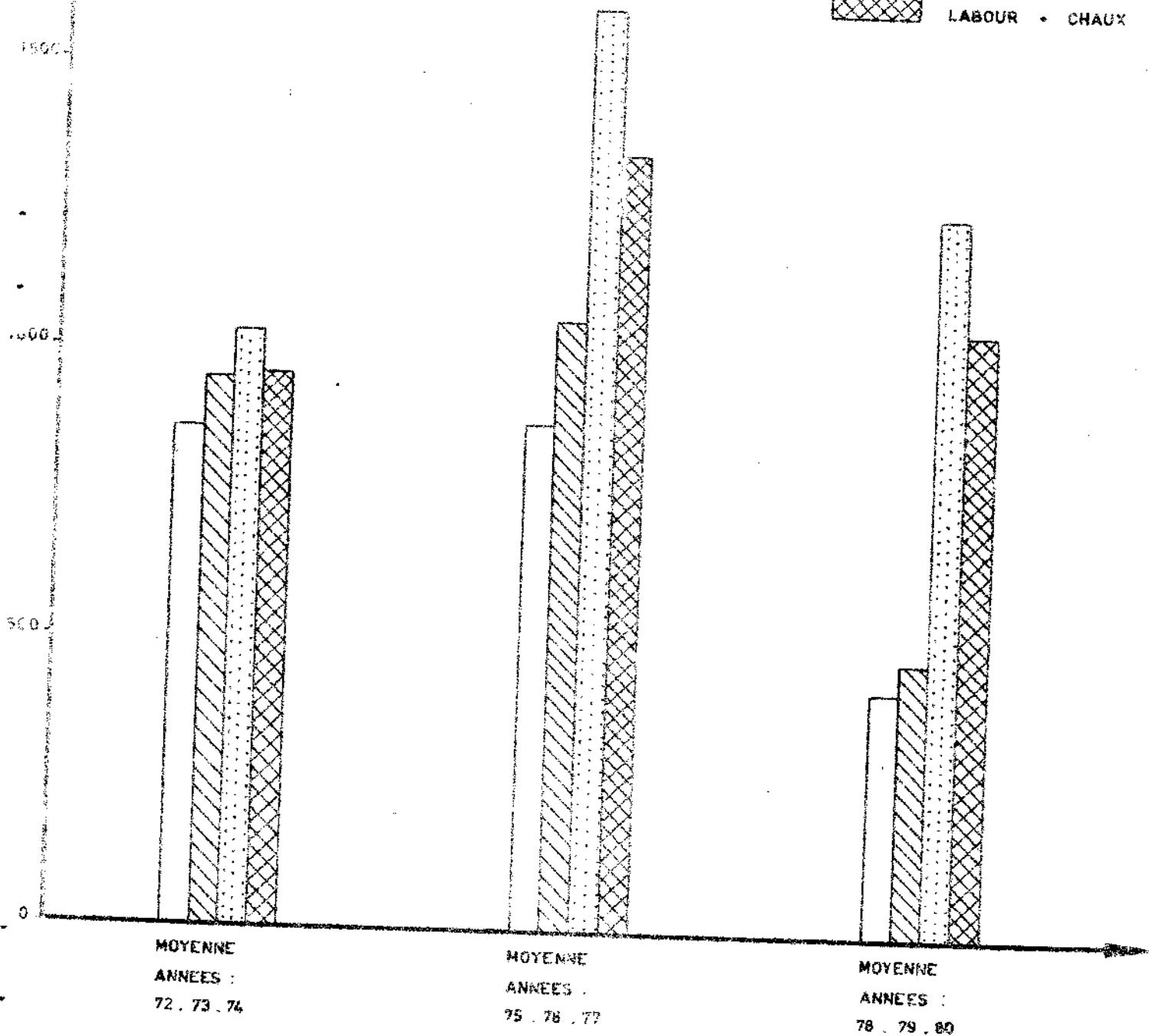


FIGURE n° 1 ESSAI TECHNIQUES CULTURALES
THILMAKHA
EVOLUTION DES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE
(GOUSSES) EN Kg/Ha - MOYENNE DE 3 ANS

PLUVIOMETRIE UTILE	72 . 73 . 74	= 315 mm
	75 . 76 . 77	= 355 mm
	78 . 79 . 80	= 332 mm

(D'APRES WEY)

Toutefois, il ne faut pas apporter une attention exagérée à l'aspect extérieur du labour (état de surface). Un labour en sec, constitué d'un mélange plus ou moins cahotique de mottes de différents diamètres et de terre fine "présente" moins bien qu'un beau labour "dressé fermé" réalisé en humide, en début ou en fin de cycle, aux sillons réguliers et finement motteux ; mais l'expérience montre que leurs effets sont souvent très voisins. Le labour ne doit cependant pas être trop pulvérulent pour éviter les risques d'érosion.

La qualité d'un labour repose surtout sur les trois facteurs suivants :

- la profondeur de travail, qui est l'élément essentiel ;
- le rapport mottes/terre fine dans le cas d'un labour en sec ; le terrain doit être suffisamment motteux pour avoir une action favorable sur l'érosion éoliennes ;
- la répartition de la matière organique dans le cas d'un labour d'enfouissement de pailles : il ne doit pas subsister de pailles en surface ou à proximité immédiate de la surface, pour ne pas gêner le semis et la levée de la culture suivante. Il convient à ce sujet d'insister sur le fait que les enfouissements de pailles doivent être réalisés dans un sol suffisamment humide pour qu'une première décomposition puisse se faire immédiatement.

233 - Effets résiduels du labour

Le labour peut aussi avoir un effet résiduel sur la culture suivante.

Cette action est bien sûr plus faible et surtout nettement plus irrégulière que l'effet direct, mais elle est souvent loin d'être négligeable. L'effet résiduel d'un labour dépend d'un certain nombre de facteurs liés à la qualité de celui-ci, au type de labour (avec ou sans enfouissement), à la rotation et aux autres techniques culturales appliquées pendant la culture.

D'une manière générale, les effets résiduels seront plus importants dans les conditions suivantes :

- labour d'enfouissement de matière organique
- labour profond
- labour avant une céréale
- effet résiduel du labour au bénéfice d'une culture sensible aux conditions physiques du sol ;
- minimum d'interventions sur le champ après le labour, en particulier pendant la saison des pluies (intérêt du semis mécanique en sec et du désherbage chimique).

Après une culture de mafs qui a bénéficié de l'effet direct d'un labour d'enfouissement, on obtient encore un effet résiduel de + 50 % sur riz pluvial ; ce chiffre représente une moyenne de 12 résultats (NICOU, 1977).

234 - Le travail du sol superficiel à la dent

La comparaison des effets du labour et des travaux du sol plus superficiels aux dents ont fait l'objet d'un certain nombre d'expérimentations. Les dents de travail en sec sont généralement semi-rigides (canadiens) ou rigides (dents type GOUVY). La profondeur de travail est de 5 à 10 cm. Le travail en humide est réalisé avec des socs sarclieurs en forme de "pattes d'oise" montés sur étañçon rigide. La profondeur de travail est de 8 à 10 cm.

Les résultats montrent que l'effet de ce type de travail est plus irrégulier que celui du labour, et toujours inférieur à celui-ci (NICOU 1977). On peut quand même obtenir des plus-values non négligeables sur le maïs (+16%) avec un travail en humide avant le semis, et sur cotonnier (+20%). Ce travail en humide après les premières pluies a aussi un effet intéressant sur la destruction des mauvaises herbes qui ont déjà levé.

Une grattage du sol plus ou moins superficiel avec des dents doit donc être considéré comme une solution de remplacement du labour lorsque celui-ci n'a pu être réalisé avant une culture de maïs, de riz ou de cotonnier.

235 - La reprise des billons de cotonnier

Pendant une culture de cotonnier, il est généralement procédé à un butteage (vers le quarantième jour). Le corps butteur réalise un travail sur une profondeur de 10cm environ dans l'interligne et rabat la terre sur la ligne de cotonnier. Avant la culture suivante, il est nécessaire de détruire ce qu'il reste de ces buttes. On peut le faire par un passage d'un outil à dent ou d'une souleveuse d'arachide, perpendiculairement aux lignes de butteage. Lorsque ce travail est bien fait, c'est à dire lorsque l'instrument éclate la couche non travaillée par le butteage, située sous la ligne de cotonnier, on peut obtenir un effet marqué par rapport à un témoin sans travail du sol et non butté l'année précédente (tableau N° 3).

Tableau N°3 : Effet de la reprise des billons de cotonnier sur le rendement d'une culture de riz pluvial (en kg/ha) à Vélingara entre 1969 et 1974. D'après G. POCHIER.

Témoin	Reprise des billons de cotonnier	Labour
1369	2371	2530

Cette technique est donc efficace, mais ne peut bien sûr s'appliquer qu'après un précédent cotonnier dont la culture est surtout localisée dans la partie Sud-Est du pays et qui occupe actuellement des surfaces relativement restreintes (20.000 ha environ en 1980). Le maïs est parfois butté lui aussi, mais la justification agronomique de ce butteage ne paraît pas évidente (NICOU 1979), surtout si l'on peut procéder à un contrôle chimique des mauvaises herbes.

3 - LE PROBLEME DE LA DIFFUSION DU TRAVAIL DU SOL

Après avoir montré l'intérêt d'un travail du sol semi-profond et en particulier du labour dans les sols sabloé et sablo-argileux exondés, ce qui peut maintenant être considéré comme un acquis, une des préoccupations essentielles de la recherche en matière de travail du sol est actuellement :

- de connaître les contraintes de réalisation du travail du sol ;

- de rechercher les solutions techniques susceptibles de faciliter l'introduction en milieu rural de modalités efficaces de travail du sol.

Il est certain que l'intérêt et les contraintes de réalisation de chacune des solutions envisagées dépendent des conditions pédoclimatiques et des agro-systèmes en présence. Ceux-ci sont assez variés au Sénégal. Pour simplifier, on a divisé le Sénégal agricole en trois grandes zones de cultures exondées, tout en étant conscient du caractère (très ?) schématique d'un tel découpage.

Ces trois zones sont les suivantes :

- zone centre-nord : régions de Louga, Diourbel, Thiès et Cap-Vert ;

- zone centre-sud : régions du Sine-Saloum et du nord du Sénégal-Oriental ;

- zone sud : régions de la Casamance et du Sud du Sénégal-Oriental.

Tableau n°4 : Principales caractéristiques des trois grandes zones écologiques de cultures exondées au Sénégal.

		Zone Centre Nord	Zone Centre Sud	Zone Sud
<u>Climat</u>	-pluviométrie moyenne (mm) :	300 à 700	700 à 1000	1000 à 1500
	-répartition :	très irrégulière	irrégulière	Stress hybrides peu fréquents (sauf sur riz pluvial)
	-durée d'hivernage (en j) :	60 à 100	100 à 130	130 à 150
<u>Sol :</u>	texture :	sableuse	sablo-argileuse	sablo-argileuse
	argile + en surface % :	3 à 10%	7 à 15 %	12 à 20 %
	limon			
<u>Principales cultures annuelles</u>	:	Mil Arachide	Arachide Mil-Sorgho Maïs Cotonnier	Arachide Sorgho-Maïs Riz pluvial Cotonnier

Traditionnellement, le paysan ne procède qu'à un travail du sol extrêmement superficiel, le plus souvent en sec, avant la mise en culture. Il réalise ainsi depuis toujours un véritable travail minimum du sol.

Les tentatives récentes d'introduction du labour dans les exploitations agricoles se sont heurtées dans la quasi-totalité des cas à un certain nombre de difficultés techniques et socio-économiques majeures (POUCHIER, 1976, FAYE, 1977). Le travail semi-profound est encore très peu répandu.

31 - Contraintes de réalisation du labour

L'introduction du labour en milieu rural se heurte actuellement aux principales difficultés suivantes :

- Pesanteurs sociologiques et psychologiques
- Problèmes d'équipement : l'agriculteur doit posséder une paire de bœufs et une charrue
- Systèmes de production : parcelles marcelées, pas ou peu essouchées - divagation d'animaux etc...
- Contraintes techniques de réalisation.

Afin de faciliter la résolution des trois premières catégories de difficultés, à rechercher dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire des systèmes de production en liaison avec les agriculteurs et les dévelopeurs, les agronomes de la recherche doivent s'attacher à réduire les contraintes techniques de réalisation.

Ces contraintes sont différentes suivant que le labour est réalisé en humide ou en sec ; elles peuvent aussi varier suivant les régions.

311 - Labour en humide : contraintes climatiques et de travail :

Le labour en humide peut être fait en début ou en fin de saison des pluies.

3111 - labour de début de saison des pluies :

- Région centre nord : En traction bovine, un labour demande 5 à 6 j/ha de travail. Pour faire un labour de début de cycle, on doit donc retarder la date de semis des cultures jusqu'à la seconde ou même la troisième pluie. Or, ceci entraîne des chutes importantes du rendement du mil et de l'arachide (tableau n°5).

Tableau n°5 : Influence de la date de semis sur les rendements du mil et de l'arachide dans la zone centre nord (Rendements en kg/ha)

	Témoin semis 1ère pluie	Labour 1ère pluie Semis immédiat	Labour 1ère pluie Semis 2ème pluie
Arachide hâtive (gousse)	2 230	2 340	1 830
Mil (grains)	1 590	2 020	920

Le labour de début de cycle en traction bovine n'est donc pas à conseiller dans la région centre-nord, sauf cas particulier (pluies très précoces ne permettant pas de semer).

- Régions centre-sud et sud : Comme pour la région centre-nord, la labour de début de cycle nécessite de procéder à un semis retardé, ce qui induit des chutes de rendements du mil et de l'arachide avec les variétés actuelles. Par contre, avec des espèces qui répondent mieux au travail du sol (sorgho, maïs, riz, cotonnier), il est possible de labourer après la première pluie, à condition de semer dès la seconde pluie utile (tableau n°6).

Tableau n°6 : Influence de la date de semis sur le rendement des cultures dans la zone centre-sud (rendements en kg/ha).

	Témoin Semis 1ère pluie	Labour 1ère pluie Semis immédiat	Labour 1ère pluie Semis 2ème pluie
Sorgho	2 530	3 160	2 990
Maïs	3 180	3 750	3 780
Cotonnier	1 640	2 280	2 170

Il convient de souligner que, dans les essais dont les résultats viennent d'être présentés, le semis retardé a été réalisé seulement de 10 à 20 jours après la première pluie et toujours avant le 15 Juillet. Des semis plus tardifs se révéleraient très certainement dépressifs et, de plus, le fait de laisser le sol nu trop longtemps entraîne de graves risques de ruissellement et d'érosion, même s'il y a eu un labour.

3112 - labour de fin de saison des pluies (labour de fin de cycle)

Par définition, un labour de fin de cycle est un labour réalisé aussitôt après les récoltes, dans un sol encore humide.

Partout au Sénégal, la possibilité de réaliser de tels labours dépend étroitement de la longueur du cycle des cultures et de la durée de la saison des pluies.

En moyenne, on peut considérer que les possibilités de labour de fin de cycle après des cultures à long cycle comme le cotonnier, la plupart des variétés de sorgho, et l'arachide tardive, sont très faibles. Par contre, après des cultures de mil souna, de maïs, de riz pluvial à cycle court, et d'arachide hâtive, les possibilités matérielles de labour de fin de cycle sont meilleures. La fréquence des années où la technique est réalisable et la durée de la période pendant laquelle les travaux sont possibles augmentent du nord au sud du pays ; elles dépendent aussi de la durée exacte du cycle des cultures.

Lorsque les conditions pédo-climatiques permettent le labour de fin de cycle (sol humide après récolte), il subsiste des contraintes de réalisation. Celles-ci ont été nettement mises en évidence au moment de l'introduction du labour de fin de cycle en milieu paysan, en particulier dans l'Unité expérimentale de Thyssé-Kaymor dans le Sine-Saloum. La contrainte principale est la concurrence, à cette période de fin de saison des pluies, d'autres travaux non différenciés (récolte, transport des récoltes). D'autre part, au moment des récoltes, la main-d'œuvre et les animaux de traction sont fatigués et peu enclins à réaliser un travail relativement pénible, dont on ne verra les effets qu'un an après.

Enfin, dans certaines zones (région de Bambe en particulier), le labour de fin de cycle subit la concurrence de la pratique de la culture de niébé dérobé et de l'utilisation des repousses des adventices à des fins d'alimentation animale.

Malgré ses nombreux avantages agronomiques, le labour de fin de cycle, et particulièrement le labour de fin de cycle avec enfouissement des pailles, a beaucoup de mal à "passer" en milieu paysan.

312 - Labour en saison sèche : contraintes relatives à l'effort de traction

A partir des mois de décembre ou janvier et jusqu'au mois de mai, l'agriculteur est beaucoup moins occupé ; il pourrait plus facilement trouver le temps de procéder à un travail du sol, mais la réalisation de ce travail se heurte alors à une autre contrainte liée à la forte cohésion du sol à l'état sec.

En effet, à une humidité proche de la capacité de rétention, la cohésion du sol est faible quelle que soit la texture, au moins dans la gamme des sols considérés. Les efforts de traction nécessaire pour réaliser un labour sur une profondeur de 15 à 18 cm sont peu supérieurs à 100 kg. Mais la cohésion augmente corrélativement avec la dessiccation du sol, de façon exponentielle (NICOU 1975 ; CHOPART 1978).

A l'état sec, les sols sont pris en masse dès que la teneur en argile dépasse 1 à 2 % et la cohésion est d'autant plus forte que la teneur en argile est élevée (NICOU, 1975).

Sauf dans le cas particulier de sols très sableux appauvris, les efforts de traction nécessaires pour réaliser un labour semi-profond de 15 à 18 cm sont élevés, de 160 à 300 kg, au dessus des possibilités de traction d'une paire de bœufs moyenne (100 à 120 kg).

Les agriculteurs ne peuvent donc réaliser des labours en sec aux bœufs que dans les sols les plus sableux. Même en sol sableux, à moins de disposer de bœufs particulièrement puissants comme en station, le paysan doit alors diminuer à la fois la profondeur de labour et la durée de travail journalier de l'attelage.

La réalisation du labour en traction bovine dans les systèmes agricoles du Sénégal pose des problèmes techniques bien réels, ce qui explique en partie la diffusion très limitée de cette technique malgré son importance agronomique.

32 - Solutions techniques envisageables pour faciliter l'introduction du travail du sol en milieu rural - intérêt et contraintes

321 - Travail du sol en saison des pluies

Pour lever les contraintes de réalisation du labour en saison des pluies, deux solutions sont envisageables :

- raccourcissement des cycles : c'est un des objectifs actuels de sélection mais, pour différentes raisons, il est difficile de trop les réduire.

- augmentation de la vitesse de réalisation du travail du sol. On peut, pour cela, introduire la traction motorisée. C'est une solution envisagée pour la moitié sud du pays où les spéculations comme le maïs, le riz pluvial et le cotonnier permettent d'espérer une rentabilisation de l'investissement d'un tracteur et des outils en traction motorisée. La mise au point du matériel agricole, y compris ceux du travail du sol en traction motorisée, et les problèmes liés à l'introduction du tracteur dans les exploitations, sont actuellement étudiés par l'ISRA, en particulier par la division de machinisme agricole de Bambey. Il convient cependant de souligner que le succès de la motorisation reposera sur une révision fondamentale des systèmes de production et non sur la simple substitution, même techniquement justifiée, d'une façon à traction animale par une façon à traction motorisée.

Dans la zone centre-nord la rentabilité économique du tracteur paraît problématique dans les conditions actuelles, sauf pour quelques rares très grosses exploitations.

Il est possible de remplacer le labour par un travail du sol plus superficiel qui permet de travailler sur une plus grande largeur et donc de réduire les temps de travaux. L'instrument qui est le plus utilisé pour ce genre de travail est constitué de lames "pattes d'oie", montées sur un bâti (cf. paragraphe n°22), utilisées en début de cycle et sur une profondeur de 8 à 10 cm. Les résultats obtenus figurent au tableau n°7.

Tableau n°7 : Effets comparés du labour et du travail du sol aux lames "pattes d'oie" en début de cycle (d'après NICOU 1977).

	Rendement témoin (kg/ha)	Excédent en %	
		Pattes d'oie	Labour
Arachide	2 173	+ 4	+ 12
Sorgho	2 054	+ 5	+ 27
Maïs	3 181	+ 16	+ 26
Cotonnier	1 643	+ 23	+ 39

Les lames "pattes d'oies" ont un effet nettement inférieur à celui du labour, mais celui-ci n'est quand même pas négligeable, en particulier avant maïs et cotonnier. Cette technique peut être une bonne solution de remplacement lorsque le labour n'est pas possible, à condition de ne pas retarder la date de semis.

322 - Travail du sol en saison sèche

Pendant la saison sèche, pour arriver à réaliser un travail du sol semi-profond dans un sol sec à forte cohésion il faut, soit augmenter la puissance de traction disponible, soit réduire les efforts de traction demandés à la source d'énergie. Dans ce dernier cas, la qualité du travail et son efficacité doivent être maintenues.

3221 - Augmentation de la puissance de traction

On peut envisager d'augmenter la puissance de traction disponible en travaillant avec des attelages composés de deux paires de bœufs, ou en introduisant la motorisation.

Les efforts de traction fournis par un double attelage de paires de bœufs peuvent atteindre 150 à 170 kg environ, ce qui est suffisant pour effectuer un labour à 15 cm de profondeur dans la plupart des sols de la zone centre nord et aussi dans quelques sols de la zone centre sud.

Le labour en sec motorisé est possible dans la zone centre sud, à condition d'avoir un tracteur suffisamment puissant.

Les caractéristiques et les effets sur maïs du labour en sec réalisés avec un tracteur de 60 CV et une charrue bidisque sont actuellement étudiés dans l'Unité expérimentale de Thyssé-Kaymor au Sine-Saloum. Les principaux résultats figurent dans le tableau n°8.

Tableau n°8 : Caractéristiques et effets du labour en sec motorisé dans l'Unité expérimentale de Thyssé-Kaymor (Sine-Saloum)

Année	Nombre de paysans suivis	Traitement	Profondeur ameublie (cm)	Rendement grains kg/ha	Différence de rendement (%)	
1978	3	Témoin	3	2 608	+ 24 %	
		Labour	13	3 224		
1979	12	Témoin	5	1 701	+ 57 %	
		Labour	13,2	2 673		
1980	12	Témoin	5,5	1 524	+ 30 %	
		Labour	17,5	1 976		
Moyenne		Témoin	5	1 723	+ 41 %	
		Labour	15	2 424		

La profondeur du travail est relativement faible pour un travail au tracteur. En fait, la profondeur du labour est très variable ; dès que le sol est un peu plus argileux, la charrue a certaines difficultés à pénétrer.

L'effet du labour est quand même très net. Sur les 27 champs étudiés, on ne rencontre qu'un seul résultat négatif. Le labour améliore chacune des composantes du rendement, en particulier le nombre de pieds récoltés et le nombre de grains par épi.

Le labour en sec au tracteur est donc une solution technique intéressante pour favoriser l'intégration du labour dans les exploitations de la zone centre sud à condition que les sols ne soient pas trop argileux pour la puissance de traction disponible. A cet égard, un tracteur de 60 CV peut être

considéré comme une limite pour tirer une charrue bidisque dans un sol contenant 10 à 15 % d'argile + limon en surface.

Dans la zone sud, quelques expériences ont montré que, même avec des tracteurs puissants, la charrue a beaucoup de mal à pénétrer, de plus l'usure du matériel est rapide.

3222 - Réduction des efforts de traction

La réduction des efforts de traction peut se faire en diminuant la profondeur de sol travaillé, en modifiant les pièces travaillantes (dents, mini-charrues) ou en réduisant la résistance mécanique du sol à la pénétration. Cet résultat de la réduction de la résistance mécanique du sol peut être obtenu par une diminution de la cohésion du sol à l'état sec, ou de la conservation pendant la saison sèche d'une certaine humidité dans le sol, suffisante pour empêcher l'apparition de la prise en masse à la dessiccation.

- Le travail du sol superficiel à la dent

Le travail en sec d'une dent sur 7 à 10 cm de profondeur, nécessite des efforts de traction variables suivant la forme et la grosseur de la dent, mais toujours inférieure à ceux demandés par un labour à la charrue. Des études comparatives des effets du labour et du travail à la dent ont été réalisées. Les résultats ont montré que le travail à la dent dégage certaines augmentations de rendement par rapport à un témoin non travaillé ; mais ces rendements restent nettement inférieurs à ceux obtenus sur des labours, sauf pour le cotonnier pour qui un travail à la dent présente quand même un certain intérêt, (tableau n° 9).

Tableau n°9 : Effets comparés de travail à la dent en sec et du labour sur les rendements (d'après NICOU 1977) :

	Témoin S travail (en kg/ha)	Travail à la dent (1)	Labour (1)
Arachide	1 825	+ 5 %	+ 12 %
Sorgho	2 025	+ 0 %	+ 17 %
Maïs	3 181	- 6 %	+ 36 %
Cotonnier	1 440	+ 17 %	+ 30 %

(1) excédents % de rendements dus au labour (en %)

Un travail du sol superficiel en sec, sur 7 à 10 cm, n'est pas à rejeter complètement ; il doit être considéré comme un dernier recours si l'on n'a pas pu réaliser d'autres travaux du sol plus performants avant des cultures de mil, d'arachide ou de cotonnier.

- Travail du sol semi-profound à la dent

Il s'agit là, non plus de réduire la profondeur mais de travailler le sol avec une dent sur 15 à 20 cm comme le labour, tout en réduisant l'effort de traction par rapport à celui-ci. Dans ce but, différents modèles de dents sont actuellement en cours de mise au point par la division de machinisme agricole. Les premiers résultats sont encourageants (PIROT et PARIS, 1980).

Cette solution technique va être mise en expérimentation très prochainement, dès que la mise au point du matériel sera suffisamment avancée.

Il convient toutefois de remarquer que le travail à la dent, surtout en traction bovine, ne permet pas un bon enfouissement des restitutions organiques. L'utilisation de cette technique devra, semble-t-il, se faire en alternance avec un labour, pour procéder à ces restitutions organiques.

- Le travail minimum du sol avec paillage

Dans certaines régions d'Afrique, le paillage plus ou moins complet du sol avec un travail minimum ou même pas de travail du tout, a donné des résultats intéressants. Ce travail minimum du sol serait bien sûr plus facile à réaliser que le labour, dans l'ensemble des sols du Sénégal.

Les principaux avantages évoqués par les partisans de la technique du travail minimum du sol avec paillage sont les suivants :

- réduction de la température du sol et enrichissement en matière organique, ce qui entraîne une activité biologique plus importante (vers de terre) qui permet d'améliorer ou de maintenir la structure du sol ;
- réduction de l'érosion et des pertes d'eau par évaporation.
- économie d'énergie en traction motorisée.

L'intérêt potentiel de cette technique est certain, c'est pourquoi des expérimentations ont été mises en place à Bambey (zone centre nord), et à Séfa (zone sud), pour comparer trois systèmes de travail du sol :

- zéro-tillage, c'est-à-dire la technique traditionnelle de travail du sol (simple nettoyage du sol en surface sans paillage) ;
- système de travail minimum du sol (10 cm uniquement sous la ligne de semis) avec paillage plus ou moins complet du sol suivant les traitements ;
- labour de fin de cycle en traction bovine (15 à 18 cm de profondeur).

L'essai de Séfa a dû être abandonné après un an, mais les premiers résultats ont été spectaculaires (tableau n°1).

L'essai de Bambey doit se terminer en 1981. On peut déjà tenter de faire un premier bilan provisoire.

Economie de l'eau :

- Le paillage du sol a un effet intéressant, comparable à celui du labour de fin de cycle sur la réduction des pertes par évaporation pendant la saison sèche, à condition que le sol soit bien désherbé et que les pailles couvrent complètement le sol (8 à 10 tonnes/ha de pailles). D'autre part, cette technique permet aussi une certaine réduction de la part de l'évaporation sol nu dans l'évapotranspiration pendant la période des cultures (CHOPART, NICOU et VACHAUD, 1979).

- L'effet du "travail minimum" associé au paillage sur le ruissellement et l'érosion n'apparaît pas nettement dans les conditions de l'expérimentation et avec la quantité de paille utilisée (8 à 10 tonnes/ha).

- Les systèmes racinaires des cultures sont mieux développés sur les traitements labourés qu'avec le système de travail minimum. Or, dans les sols sableux profonds du Sénégal, un système racinaire bien développé, notamment en profondeur, est un atout particulièrement important pour une bonne utilisation des réserves hydriques du sol (CHOPART, NICOU et VACHAUD, 1979).

Activité biologique du sol

L'effet du paillage sur l'activité biologique du sol et sa structure n'est pas visible après trois ans de paillage continu. Le paillage favorise plutôt la prolifération des iules, des termites et de différents autres insectes phytophages.

Lutte contre les mauvaises herbes

Pour l'arachide et le mil, il n'existe pas d'herbicide de post-levée, seule catégorie d'herbicide utilisable sur le sol paillé. En ce qui concerne le riz pluvial et le maïs, l'efficacité des herbicides paraît moins bonne sur le sol non labouré et paillé.

D'autre part, le paillage du sol empêche la réalisation de sarclages mécaniques aux bœufs ou au cheval ; il faut sarcler manuellement, ce qui augmente singulièrement les charges de main-d'œuvre et rend plus difficile, même en expérimentation, le contrôle des mauvaises herbes. Le labour a au contraire tendance à retarder l'apparition des mauvaises herbes et a en diminuer l'importance.

Effets sur les rendements

Les rendements obtenus à Séfa figurent sur le tableau n° 10.

Tableau n° 10 : Comparaison des rendements entre labour et travail minimum à Séfa en 1978 (en kg/ha).

	Travail minimum (1)	Labour (2)
Riz pluvial	1 715	3 417
Maïs	1 446	3 014

(1) Travail du sol à la dent sur les lignes de semis (profondeur 10 cm) + paillage du sol en surface.

(2) Labour de fin de cycle avec enfouissement des pailles de la culture de céréale précédente.

Les résultats peuvent s'expliquer par le fait que le maïs et le riz pluvial sont parmi les espèces qui répondent le mieux au travail du sol. D'autre part sur le terrain non labouré et paillé il n'a pas été possible de lutter aussi efficacement contre l'envahissement par les mauvaises herbes que sur les traitements labourés (moins bonne efficacité de l'herbicide, végétation plus clairsemée, impossibilité de sarcler avec des moyens mécaniques).

Les résultats obtenus à Bambey figurent sur le tableau n°11.

Tableau n°11 : Comparaison des rendements entre labour et travail minimum à Bambey (en kg/ha).

	Témoin non travail	Travail minium (1)	Labour (2)
Arachide	1 470	1 651	2 029
Mil	1 445	1 359	1 643

(1) Travail à la dent, profondeur 10 cm sous les lignes de semis + paillage de 8 à 10 t/ha tous les ans.

(2) Labour de fin de cycle avec enfouissement des pailles tous les 2 ans après la céréale.

Les rendements obtenus sur le système de travail minimum du sol avec paillage sont en moyenne peu différents des résultats enregistrés sur les traitements avec travail du sol traditionnel à l'îler et toujours inférieurs au labour.

La technique de travail du sol minimum associée à un paillage paraît intéressante dans une région tropicale humide comme le sud du Nigéria, avec des systèmes agricoles très différents de ceux du Sénégal, et des sols bien mieux structurés et plus riches en matière organique.

Par contre, la technique du minimum-tillage associée au paillage du sol comme cela est pratiqué au Nigéria, ne nous paraît pas adaptée aux conditions actuelles de l'agriculture sénégalaise caractérisées en particulier par :

- une courte saison des pluies obligeant à semer dès les premières pluies donc sans possibilité d'utiliser des herbicides de contact (Paraquat) entre les premières pluies et le semis sauf dans le sud du pays ;

- des sols mal structurés qui répondent bien à un travail semi-profound du sol ;

- une mécanisation de l'agriculture déjà assez avancée surtout en ce qui concerne les semis et les sarclages. Or, les techniques de semis et de sarclage mécaniques dans un sol paillé posent de gros problèmes en traction animale ;

- de très faibles disponibilités en pailles qui sont utilisées prioritairement pour l'alimentation du bétail et pour les constructions d'habitations.

Le travail du sol avec paillage n'est pas une solution réaliste pour améliorer les propriétés physiques du sol et elle n'est donc pas à conseiller dans les conditions actuelles de l'agriculture sénégalaise.

- Labour en sec superficiels (région centre nord)

Dans les sols sableux de la zone centre nord, il est possible de labourer en sec. Le labour en sec, tel qu'il est réalisé en station, à une profondeur de 15 à 20 cm, donne des résultats assez comparables à ceux des labours en humide (tableau n°12).

Tableau n°12 : Effet du labour en sec en station dans la zone centre nord (essai travail du sol Bambey).

	Témoin (1)	Différence (2)
<u>Arachide</u> continue	984	+ 36 %
<u>Arachide</u> : rotation mil-arachide	1 077	+ 18 %
<u>Mil</u> : rotation arachide-mil	1 594	+ 18 %

(1) Rendement du terrain en kg/ha

(2) Différence entre le rendement du labour et du témoin, en % par rapport au rendement du témoin.

Le labour en sec fait l'objet d'une action de vulgarisation de la part de la SODEVA dans la région de Diourbel. Ceci a permis à l'ISRA, en collaboration avec la SODEVA, d'étudier les caractéristiques et les effets du labour en sec réalisé par les paysans dans le département de Bambey.

Le nombre de champs suivis a été de 18 en 1978 et de 8 en 1980.

Caractéristiques des labours en milieu paysan

En 1978 et 1980, une majorité de paysans a utilisé des charrues à soc de 6 pouces ; les autres ont employé des charrues de 10 pouces.

Les charrues de 10 pouces font un travail plus superficiel qu'en expérimentation : 11,6 cm en moyenne en 1978, encore moins en 1980. Ceci peut être attribué essentiellement à la force des paires de bœufs nettement inférieure. Le travail avec les mini-charrues est encore plus superficiel : 9,4 cm en moyenne).

En 1978, la pluviométrie a été suffisante et l'on observe un effet intéressant du labour, malgré la très faible profondeur du travail. En 1980, le labour a eu un effet sur la végétation en début du cycle et sur le nombre de chandelles ; par contre, une très forte sécheresse durant la seconde moitié du cycle a perturbé le remplissage des chandelles et l'effet du labour sur le rendement est faible (tableau n°13).

Tableau n°13 : Caractéristiques et effets moyens du labour en sec en milieu paysan dans le Département de Bamboy

		Nombre de champs suivis	Traitemen-t	Profondeur de sol meuble	Nbre total chandelles/ha	Rendt. grain (kg/ha)	Diffé-ren- ce de rendement
1978	18		Témoin	4,5	40.000	790	+ 25%
			Labour	10,2	51.000	990	
1980	9		Témoin	6,2	59.000	680	+ 7,5%
			Labour	8,9	73.000	730	

De ces résultats, il ressort que le labour en sec, tel qu'il est réalisé actuellement par les paysans améliore la croissance de la plante et le potentiel de rendement, bien que la profondeur de travail soit très faible.

Lorsque les conditions d'alimentation hydrique ne sont pas trop difficiles, le rendement peut être amélioré de façon appréciable.

Il s'agit là d'un premier pas vers l'introduction du travail du sol en milieu paysan. Il est toutefois souhaitable que la qualité du travail (en particulier la profondeur) puisse être améliorée.

Cette profondeur sera cependant difficile à augmenter dans des proportions importantes du fait de la cohésion du sol sec et de la faible puissance de traction des bœufs en milieu paysan.

Labours de fin de cycle différés

Pour réaliser des labours de meilleure qualité pendant la saison sèche, il faudrait pouvoir diminuer la cohésion du sol pendant cette période.

On sait que, dans les sols du Sénégal, la cohésion dépend de la texture, de la porosité, et surtout de l'humidité du sol (NICOU, 1975, CHOPART, 1978).

La cohésion du sol ne devient importante que lorsque l'humidité descend en dessous de valeurs faibles : 1 à 2 % d'humidité pondérale (figure n°2).

On a pensé qu'il serait intéressant de tenter de maintenir une certaine humidité dans les horizons superficiels après la dernière pluie, pour retarder de quelques semaines à quelques mois l'apparition du phénomène de la prise en masse à la dessiccation de l'horizon laboureable.

Des expérimentations ont été mises en place à Bamboy (région centre-nord) et Thyssé-Kaymor (région centre-sud) pour tester l'efficacité d'un désherbage post-récolte dans ce domaine.

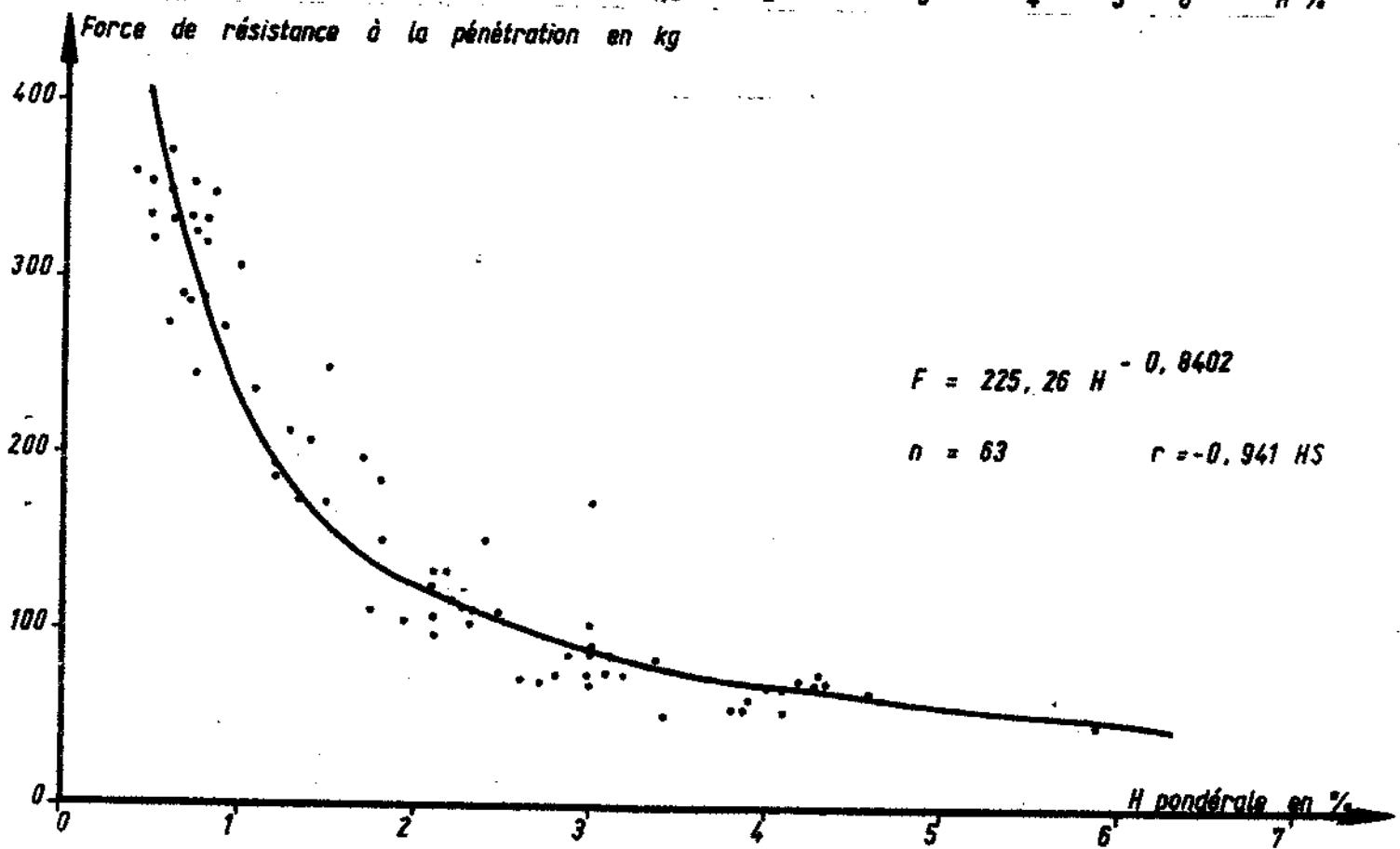
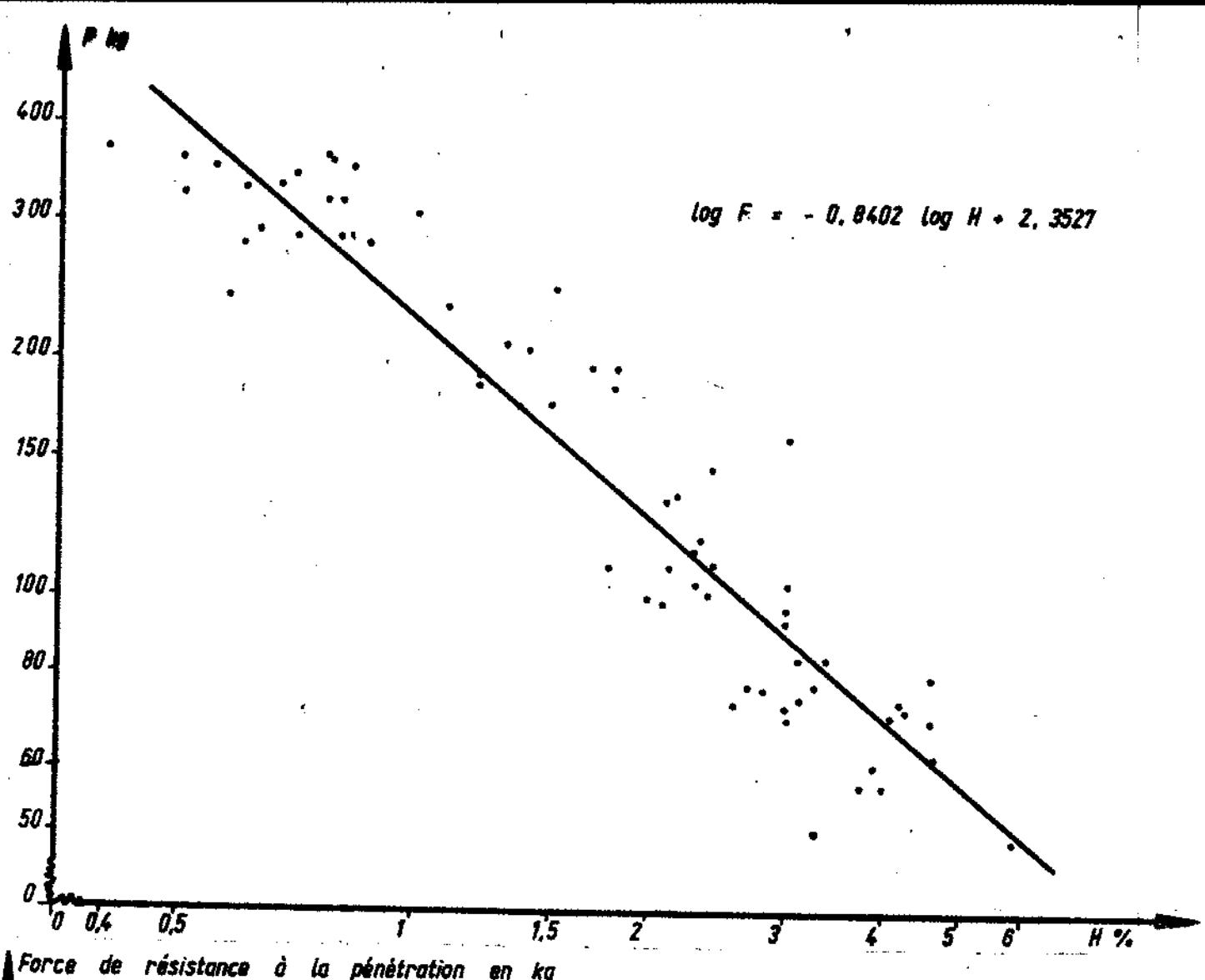


FIGURE n°2 SOL DIOR BAMBEY
RELATION ENTRE L'HUMIDITE PONDERALE ET LA RESISTANCE
MECANIQUE DU SOL A LA PENETRATION ENTRE 5 ET 20cm

- Bamboy

L'essai a été implanté en 1977 sur un terrain (sol dior) en friche depuis plusieurs années. Différents traitements ont été appliqués après la récolte d'une culture uniforme de mil (désherbage mécanique ou chimique) et des labours ont été réalisés à différentes dates (aussitôt après la récolte, 1 mois et demi après, 3 mois après).

Les résultats des mesures de l'évolution de l'humidité du sol, de sa résistance à la pénétration et des efforts de traction nécessaires pour labourer sont présentées dans les figures n°3, 4 et 5.

Il ressort qu'un simple désherbage mécanique ou chimique suffit, en sol dior, à maintenir une humidité supérieure à 3 % entre 5 et 20 cm de profondeur jusqu'à la deuxième moitié du mois de janvier (figure n°3).

La couche de sol située entre 0 et 5 cm est sèche mais sa cohésion reste faible car elle correspond à l'horizon travaillé régulièrement lors des sarclo-binages, pendant la culture.

La résistance mécanique du sol à la pénétration est nettement diminuée sur les traitements désherbés (figure n° 4) et les efforts de traction nécessaires pour labourer restent comparables à ceux d'un labour de fin de cycle réalisé aussitôt après la récolte (figure n°5).

Les résultats obtenus pendant les saisons sèches 1978 - 1979 et 1979 - 1980 viennent confirmer les résultats obtenus lors de la première année. Cependant, du fait que les parcelles ont déjà été labourées, il existe un effet résiduel de ce labour sur la cohésion du sol et sur les efforts de traction. De ce fait, l'effet du traitement de désherbage est moins spectaculaire (tableau n°14).

Tableau n°14 : Résistance mécanique du sol à la pénétration entre 5 et 20 cm en 1980, 5 mois après la dernière pluie (fin mars 1980)
Résultats exprimés en kg.

Traitements résiduels	Témoin sans désherbage post-récolte en 1979	Désherbage post-récolte en 1979
Pas de labour les années précédentes	309	209
Avec effet résiduel de labours	218	189

Dans un sol sablo-sableux dior, un simple désherbage réalisé après la récolte du mil ou de l'arachide permet de retarder la dessiccation du sol et de réaliser des labours dans un sol pas ou peu pris en masse, jusqu'à trois ou quatre mois après la récolte. Les effets de ce type de labour sur le rendement sont alors comparables à ceux d'un labour de fin de cycle.

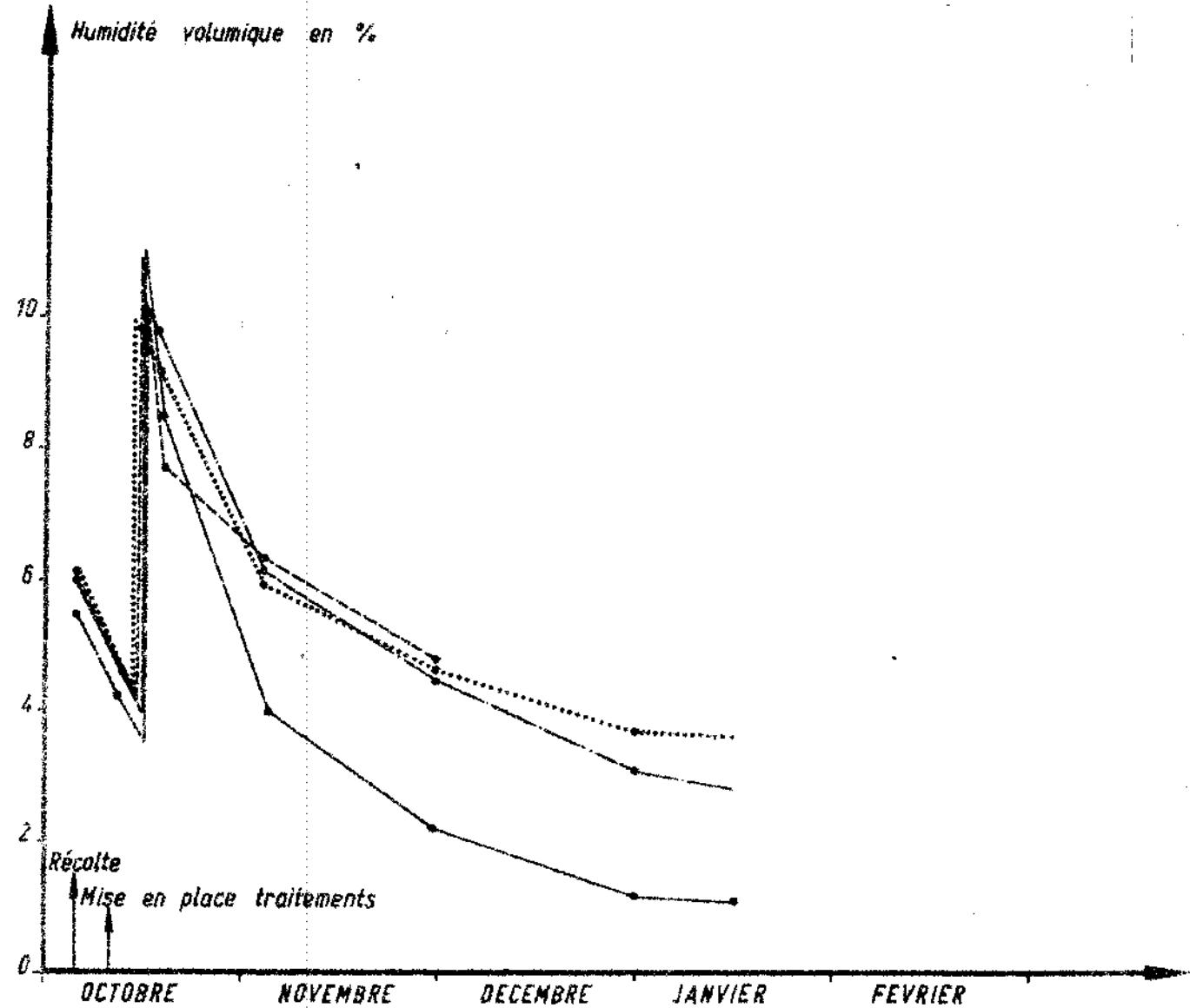


FIGURE n° 3

EVOLUTION DE L'HUMIDITE VOLUMIQUE DU SOL (DIOR)
ENTRE 5 ET 20cm APRES LA RECOLTE

LEGENDE

- émince non désherbé
- Désherbage chimique
- Désherbage chimique + paillage
- - Désherbage mécanique

Force de résistance à la pénétration
entre 5 et 20cm (en kg)

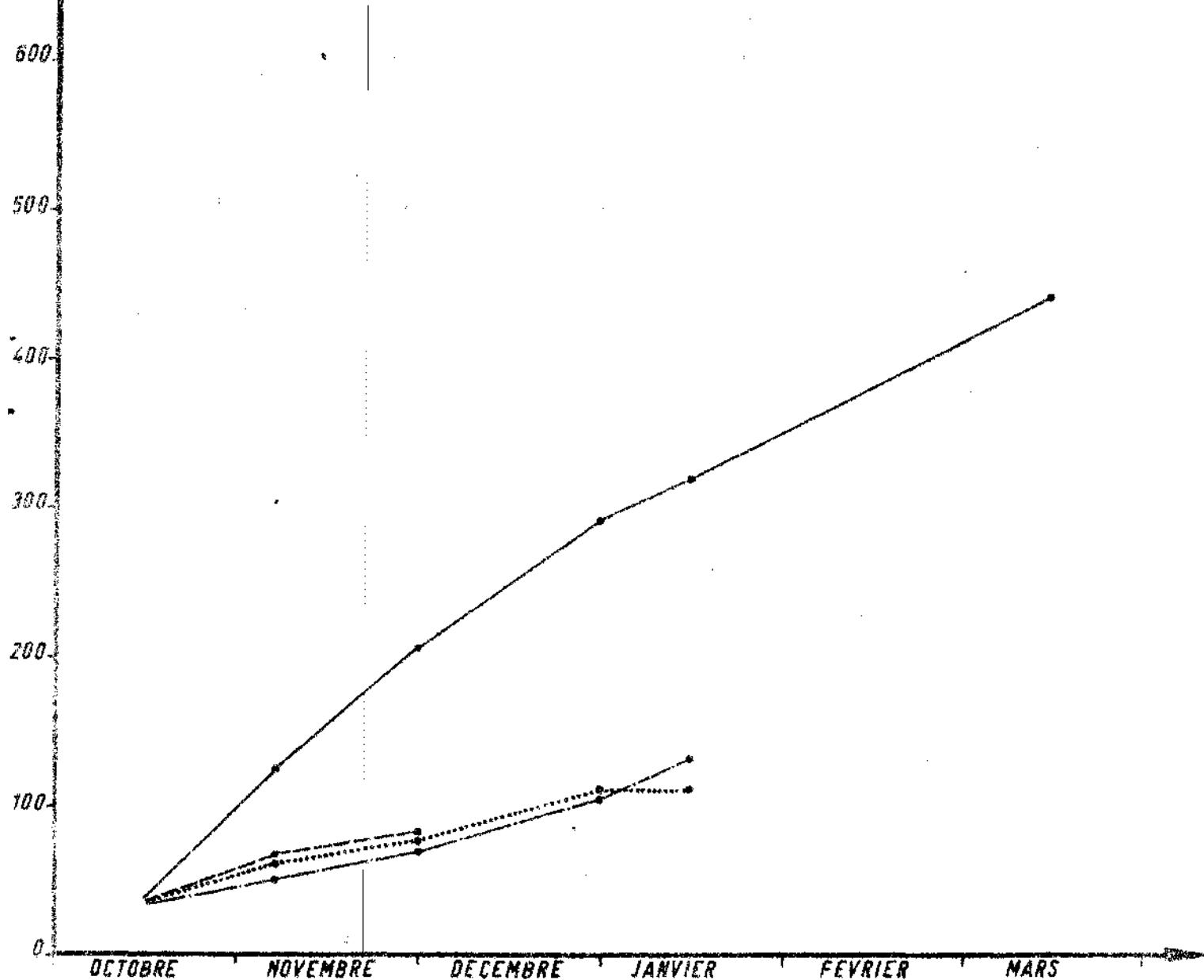


FIGURE n° 6 SOL DIOR BAMBEY

EVOLUTION DE LA FORCE DE RESISTANCE A LA
PENETRATION ENTRE 5 ET 20 cm APRES LA DERNIERE PLUIE

— Témoin non désherbé (T 1.2.6)

— Désherbage chimique sol nu T4

— Désherbage chimique sol paille T7.8

— Désherbage mécanique sol nu T5

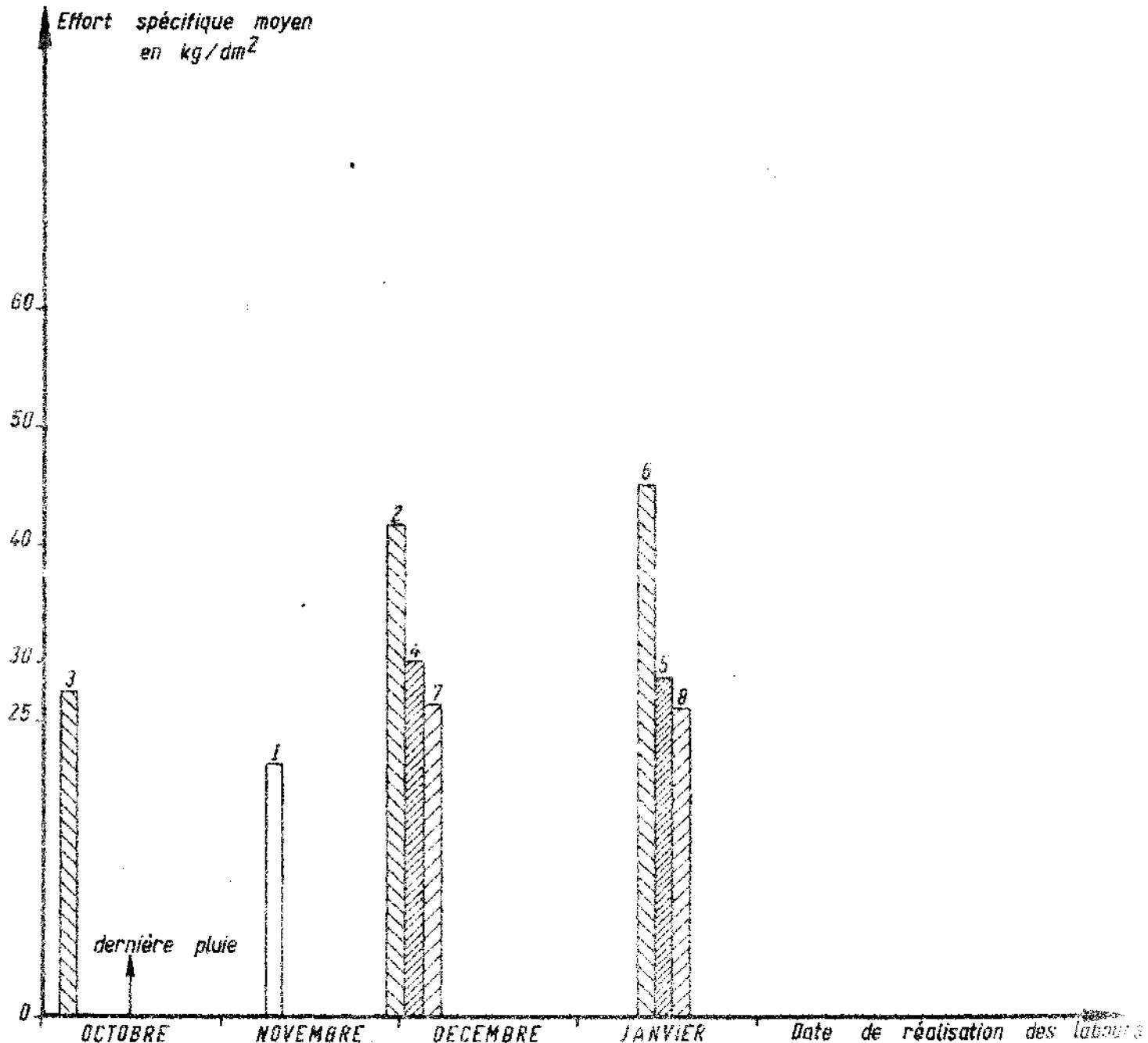


FIGURE n°5

EFFORTS DE TRACTION SPECIFIQUE MOYENS

MESURES PENDANT LES LABOURS

LEGENDE

- 3 Labour immédiat après la récolte
 - 2 Témoin essoufflé non désherbé
 - 4 Désherbage chimique
 - 7 Désherbage chimique + paillage
 - 5 Désherbage mécanique
 - 6 Témoin essoufflé non désherbé
 - 8 Désherbage chimique + paillage
 - 1 Parcelles extérieures - labour immédiat après irrigation de 31mm
- } Labour 1 mois et 2 mois après la dernière pluie
- } Labour 3 mois après la dernière pluie

Pour pouvoir réaliser ce labour, deux conditions sont cependant nécessaires :

- le paysan doit avoir la possibilité de procéder à un sarclo-binage aussi rapidement que possible après la récolte ;

- le sol doit être suffisamment humide en surface au moment de ce sarclo-binage. La saison des pluies doit donc se poursuivre jusqu'à la récolte ou s'arrêter peu de temps avant.

A titre indicatif, on a représenté dans le tableau n°15 la fréquence des années où il a plu après la récolte des cultures à Bambey et à Louga.

Tableau n°15 : Fréquence des années où il existe au moins une pluie supérieure à 10 mm située après la récolte, à Louga et à Bambey.

Nombre d'années étudiées	Pluviométrie moyenne supérieure à 10 mm après la récolte (en mm)	% d'années où il est tombé une pluie		
		Culture de 90 j : mil	Culture de 90 j : arachide	Culture de 105 j : arachide de semi-hâtive
Louga	62	350	40 %	37 %
Bambey	58	630	67 %	57 %

Dans le nord du pays (Louga), les possibilités de labour de fin de cycle retardé après une culture de mil, sont limitées à moins d'une année sur deux. Elles augmentent au fur et à mesure que l'on s'adresse à des localités situées plus au sud. A Bambey, deux années sur trois, le sol est suffisamment humide au moment ou après la récolte du mil pour que la technique du labour de fin de cycle différé soit efficace.

- Thyssé-Kaymor (centre sud)

Une expérimentation sur les labours de fin de cycle différés, très comparable à celle de Bambey, a été conduite à Thyssé Kaymor entre 1978 et 1980 sur des cultures de maïs et d'arachide.

Il en ressort qu'un désherbage post-récolte permet bien de maintenir une humidité suffisante pour empêcher la prise en masse du sol en dessous de 5 à 7 cm, pendant un à deux mois après la dernière pluie. Malheureusement, si l'on retarde le labour de plus d'un à deux mois, la profondeur de la couche superficielle de sol asséché augmente et possède, contrairement au sol dior, une cohésion suffisamment importante pour que l'effort de traction atteigne un niveau supérieur à celui que peut fournir une paire de bœufs moyenne.

Dans la zone centre sud, les recherches de solutions techniques pour faciliter la réalisation du labour de fin de cycle différé devraient donc se poursuivre dans trois directions :

- remplacement du désherbage post-récolte très superficiel par un travail à 6-7 cm pour empêcher la prise en masse de cette couche et améliorer son effet mulch ;
- passage de la traction bovine à la traction motorisée ;
- remplacement de la charrue par un travail du sol semi-profond à la dent ;
- remplacement des variétés d'arachide tardives par des semi-tardives.

Néanmoins, dans la zone centre nord, le labour de fin de cycle retardé après désherbage post-récolte offre une possibilité intéressante de réaliser un travail du sol de qualité pendant la saison sèche, si le sol est encore humide en surface au moment de la récolte.

Après quelques études des contraintes de réalisation et des effets de cette technique en milieu paysan, le labour de fin de cycle différé va être proposé rapidement à la vulgarisation dans la zone centre nord.

4 - SYNTHESE DES PROPOSITIONS ACTUELLES DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE EN MATIERE DE TRAVAIL DU SOL

Les principales techniques de travail du sol qui peuvent être réalisées au Sénégal dans les sols exondés ont été passées en revue. Pour chacune d'elles, leur intérêt agronomique et leurs contraintes de réalisation ont été présentés. Une synthèse des principaux avantages et inconvénients de ces techniques figure dans le tableau n°16.

Les propositions de la recherche en matière de travail du sol ne se limitent donc pas à une seule technique (labour de fin de cycle ou rien, par exemple). Il existe bien différentes possibilités de travail du sol dont l'intérêt peut toutefois être variable.

Le choix final par l'agriculteur de la technique de travail du sol à appliquer sur un champ lui appartient, et ce choix doit bien sûr être fait au niveau de son système de production, en tenant compte des différents critères de décision (état du sol, espèces mises en culture, disponibilité en temps, en matériel, contraintes de réalisation), mais aussi de l'efficacité de chaque technique de travail du sol envisageable.

Pour faciliter le choix entre les différentes techniques de travail du sol, on a tenté de les hiérarchiser en fonction principalement de leur intérêt agronomique (tableau n° 17), ceci pour les trois grandes zones écologiques du Sénégal qui ont été définies précédemment :

- Centre nord
- Centre sud
- Sud

Tableau n° 16 : Tableau synoptique des principaux avantages et inconvénients des différents types de travail du sol étudiés

TYPE DE TRAVAIL DU SOL	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Travail traditionnel (iler ou daba)	-pas de problème de réalisation	-aucune amélioration notable du profil cultural - simple nettoyage du terrain en surface.
Travail superficiel aux dents en sec	-pas de problème de réalisation (traction bovine, équine ou asine), opération plus rapide que le travail à l'iler. -possibilité d'enfouir l'engrais sur quelques centimètres.	-efficacité qui dépend de la profondeur de travail mais toujours assez faible. -pas de possibilité de véritable enfouissement du fumier ou du compost.
Travail superficiel aux dents en humide en début de cycle.	-idem ci-dessus, mais travail en général un peu plus profond et effet sur les adventices	-idem ci-dessus. Nécessité de réaliser un semis retardé par rapport à la 1ère pluie, si absence de pluies précoces.
Travail minimum du sol avec paillage	-effet sur l'économie de l'eau pendant la saison des pluies (réduction de l'évaporation) si la surface est bien couverte (8t/ha de pailles minimum). -apport d'azote et d'éléments minéraux par le paillage, effet "matière organique".	-difficultés de réalisation des opérations culturales (semis-sarclage) dans un sol paillé. -augmentation du parasitisme. -risques de libération de produits phytotoxiques en début de décomposition des pailles (premières pluies) -risque de transfert de fertilité par l'apport régulier de pailles en provenance d'autres champs. -problème de faible disponibilité en paille au niveau de l'exploitation dans la plupart des régions. -faible efficacité de la technique.
Début de cycle	-Le plus efficace pour la lutte contre les mauvaises herbes. -Travail de qualité -Possibilité d'enfouissement de l'engrais	-sauf pluies parasites précoces, nécessité de retarder la date de semis, donc risque de baisse de rendement par rapport à un semis 1ère pluie et risque d'érosion dans les zones les plus sensibles.
Fin de cycle	-Travail de qualité -Le plus efficace pour l'économie de l'eau : report des réserves d'une saison des pluies à l'autre. -Possibilités d'enfouissement des pailles.	-difficultés de réalisation à cause : -de la courte période où il est praticable -de la concurrence des travaux de récolte -de la fatigue de la main-d'œuvre et des bœufs -de la concurrence de la culture dérobée de niébé -des risques de dégradations par les animaux divagants.
En sec	-Possibilité d'étaler les travaux sur une longue période -Possibilité d'enfouir du fumier ou du compost -Peu de risques de dégradation du labour par les animaux divagants	-la cohésion du sol sec rend difficile, en traction bovine, la réalisation d'un travail semi-profond même dans les sols sableux, ce qui oblige à réduire la profondeur. En sol sable-argileux, le tracteur est indispensable. -problème de l'usure des pièces travaillantes
Fin de cycle retardé après sarclage post-récolte	-Permet de combiner la plupart des avantages du labour de fin de cycle et du labour en sec : -économie de l'eau -également des travaux sur 2 à 3 mois -possibilité d'enfouir du fumier ou du compost.	-nécessité de faire un travail supplémentaire (sarclage post-récolte) -Le sol doit être encore humide au moment du sarclage post-récolte, la technique n'est donc pas toujours réalisable.
Travail semi-profond avec dent (type sous soleuse) en saison sèche.	-Effort de traction inférieur au labour en sec -Possibilité d'étaler les travaux sur une longue période	-Volume de sol travaillé plutôt inférieur au labour (profondeur travaillée plus irrégulière) -Difficultés de réalisation des enfouissements de matière organique, donc nécessité d'une alternance entre labour et travail à la dent en thème semi-intensif. -Usure des pièces travaillantes.
Reprise des billons de cotonnier à la dent.	idem ci-dessus	idem ci-dessus.

Tableau N° 17 : Hiérarchisation des techniques de travail du sol proposables dans les sols exondés du Sénégal, en fonction de leur intérêt agronomique. (techniques présentées par ordre d'intérêt agronomique décroissant.

Zone Centre-Nord	Zone Centre-Sud	Zone Sud
En traction bovine* :		
1) <u>Labour de fin de cycle</u>	1) <u>Labour de fin de cycle*</u> (traction bovine ou motorisée)	1) <u>Labour de fin de cycle</u> (traction bovine ou motorisée)
2) <u>Labour de fin de cycle différé</u> :	2) <u>Labour de début de cycle motorisé</u> : après la première pluie (indispensable de semer dès la 2ème pluie utile - technique intéressante surtout avant maïs et cotonnier - pas d'intérêt avant arachide et mil)	2) <u>Labour de début de cycle</u> : en traction bovine ou motorisée après la première pluie - (indispensable de semer dès la seconde pluie ou avant le 15 juillet. Technique intéressante avant maïs, riz pluvial, soja, cotonnier - peu d'intérêt avant arachide.
3) <u>Labour en sec</u> (éventuellement avec deux paires de bœufs).	3) <u>Labour en sec motorisé</u>	3) <u>Reprise en sec des billons de cotonnier</u>
4) <u>Travail du sol superficiel en sec aux dents</u> : canadien, houe.	4) <u>Reprise en sec des billons de cotonnier</u>	4) <u>Travail aux dents en humide</u> (indispensable de semer dès la seconde pluie utile).
	5) <u>Travail aux dents en humide</u> : (avant maïs uniquement - indispensable de semer dès la seconde pluie utile)	5) <u>Travail superficiel aux dents en sec</u>
	6) <u>Travail superficiel aux dents en sec</u> : canadien, houe.	

* ou motorisé pour les très grosses exploitations.

Remarque : Lors des labours de fin de cycle, après céréale à cycle court, des pailles de céréales peuvent être enfouies. Pour tous les autres travaux du sol, seules des matières organiques humifiées (fumier, compost) doivent être incorporées au sol.

Il serait souhaitable que les décideurs en matière de travail du sol au niveau de l'exploitation (exploitant ou vulgarisateur) cherchent à privilégier les techniques classées en tête, en les appliquant toutes les fois que cela est possible. Il faut souligner que plusieurs techniques peuvent très bien être utilisées soit sur les différents champs d'une exploitation, soit sur un même champ d'une année à l'autre.

En dehors des travaux du sol actuellement au point, présentés dans le tableau n° 17, il en existe un certain nombre d'autres, actuellement expérimentés en station et qui, à plus ou moins court terme, devraient pouvoir venir diversifier encore la gamme des techniques de travail du sol proposées. Il s'agit de :

- Centre Nord :

- Travail du sol semi-profond (15 à 20 cm) à la dent en sec (traction bovine).

- Centre Sud

Labour de fin de cycle différé en saison sèche après un travail du sol superficiel réalisé après la récolte ;

Travail semi-profond (15 à 20 cm) à la dent en sec (traction motorisée).

- Sud :

Travail à la dent semi-profond en sec ou en sol demi-sec (traction motorisée).

5 - CONCLUSION

Le labour en traction bovine ou motorisé est une technique efficace pour augmenter la productivité de l'ensemble des cultures exondées au Sénégal et particulièrement de certaines espèces très sensibles aux conditions physiques du sol comme le maïs et le riz pluvial.

Lorsqu'il est bien réalisé et accompagné de restitutions organiques et minérales à intervalles réguliers, le labour participe aussi à la préservation du patrimoine foncier.

Cependant, la réalisation du travail du sol semi-profond en milieu rural s'avère difficile à cause d'un certain nombre de contraintes techniques liées aux conditions pédoclimatiques, au calendrier des travaux sur l'exploitation, aux systèmes agricoles adoptés etc...

Il est donc actuellement nécessaire de diversifier les propositions en matière de techniques de travail du sol, en tenant compte de ces contraintes.

C'est ainsi que, si le labour de fin de cycle reste la technique la plus intéressante sur le plan agronomique, d'autres solutions efficaces, comme le labour de fin de cycle différé sont dès maintenant proposables à la vulgarisation, ou devraient être prochainement (travail semi-profond à la dent).

L'agriculteur doit choisir la technique de travail du sol la mieux adaptée à sa situation en tenant compte de ses objectifs de production, des contraintes de réalisation, mais aussi de l'efficacité des techniques envisageables. La hiérarchisation de ces techniques en fonction de leur intérêt agronomique qui a été tentée pour chacune des trois principales zones écologiques du Sénégal, devrait faciliter cette prise de décision.

De toutes façons, un simple grattage superficiel avec des dents en sec ou en humide, s'il est moins efficace qu'un labour, est préférable à une absence totale de travail du sol (non-travail), même accompagné d'un paillage du sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHARREAU C., 1969 - Influence des techniques culturales sur le développement de l'érosion et du ruissellement en Casamance. Agron. trop. 24, 836-842.
- CHARREAU C. et NICOU R. 1971 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. Agron. trop. 26, 209-225, 531-565, 903-978, 1183-1247.
- CHOPART J.L., 1975 - Influence du labour et de la localisation de l'engrais en profondeur sur l'adaptation à la sécheresse de différentes cultures pluviales au Sénégal. Doc. mult. ISRA CNRA Bambey, 172 p.
- CHOPART J.L. et NICOU R., 1976 - Influence du labour sur le développement radiculaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquence sur leur alimentation hydrique - Agron. Trop. 20, 7, 28.
- CHOPART J.L., NICOU R. et VACHAUD G., 1979 - Le travail du sol et le mulch pailleux - Influences comparées sur l'économie de l'eau dans le système arachide-mil au Sénégal. In "Isotopes and radiation in research on soil plant relationships. International atomic energy agency. ed. Vienna, 199, 211.
- CHOPART J.L., 1980 - Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (Arachide-Mil-Sorgho-Riz pluvial). Thèse présentée à l'Institut National Polytechnique de Toulouse pour obtenir le grade de Docteur de l'INP, Soutenue le 19.6.80. 160 p. + annexes 45 p.
- DANCETTE C., 1974 - Comment adapter les cultures à l'aridité du milieu et améliorer ce milieu ? - Conférence atelier du CILSS sur la sécheresse en Afrique 3.14.2.1975 - Doc IRAT Sénégal Novembre 1974.
- FAYE J., 1977 - Problématique d'un thème technique agricole : le labour de fin de cycle avec enfouissement des pailles. Doc. mult. ISRA-CNRA Bambey 10 p.
- GANRY F. et GUIRAUD G., 1979 - Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux du Sénégal. Etude au moyen de l'azote 15. In "Isotopes and radiation in research on soil-plant relationships". I.A.E.A. édit. Vienne. 313-331.
- NICOU R., 1972 - Le travail du sol en terres exondées et ses incidences agronomiques. Doc. mult. IRAT CNRA Bambey, Sénégal, 20 p.
- NICOU R. 1974 - Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux dans la zone tropicale sèche. Agron. trop. 29, 1100-1127.

- NICOU R. 1977 - Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. Motivations contraintes. Doc. mult. ISRA-CNRA Bambey, Sénégal, 52 p.
- NICOU R. 1979 - Synthèse des études conduites par l'IRAT depuis 1961 sur les techniques culturales du maïs. Doc. mult. IRAT BP 5035. 34032 Montpellier France. 66 p.
- NICOU R. et CHOPART J.L. 1979 - Les techniques d'économie de l'eau dans les sols sabieux du Sénégal. In "soil physical properties and crop production in the tropics", J. Wiley and Sons edit. 375-384.
- NICOU R. et THIROUIN H., 1968 - Mesures sur la porosité et l'enracinement Première résultats. Doc. mult. IRAT Sénégal, 52 p.
- PIROT R., RARIS F., 1980 - Essais pour une mise au point de dents permettant le travail en sec semi-profound avec le minimum d'énergie en Afrique tropicale sèche. Doc. mult., ISRA CNRA Bambey 6 p.
- POCTHIER G., 1976 - Adéquation des propositions de la recherche au contexte socio-économique. L'expérience du Sénégal. Comm colloque sur la méthodologie des recherches sur les systèmes de production 16-20 Nov. 76. Bamako. Doc. mult., ISRA CNRA Bambey 12 p.
- TOURTE R., 1951 - Préparation du sol et enfouissement de la végétation naturelle comme engrais vert. Leur influence sur les rendements du mil au Sénégal. Ann. du CNRA Bambey, 120-125.
- TOURTE R., CHARREAU C., NICOU R. et POULAIN J.F. - Le rôle des facteurs mécaniques (travail du sol) dans la création et l'amélioration du profil cultural en zone tropicale sèche. Incidence sur la production agricole. Actes du colloque sur la fertilisation des sols tropicaux, Tananarive, 2, 1547-1569.
- WEY J., OBATON M., 1978 - Incidences de quelques techniques culturales sur l'activité fixatrice de l'azote et le rendement de l'arachide. Agron. trop., 33, 129-135.