

## **Aménagement en courbes de niveau et rendements des cultures en région Mali-sud**

par J. Gigou<sup>1</sup>, K.B. Traoré<sup>2</sup>, H. Coulibaly<sup>2</sup>, M. Vaksman<sup>1</sup>, M. Kouressy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> : CIRAD, BP1813, Bamako, Mali

<sup>2</sup> : IER-Laboratoire Sol-Eau-Plante, BP438, Bamako, Mali

**Résumé** : La technique d'aménagement proposée s'applique à l'échelle du champ individuel, dans lequel les courbes de niveau sont marquées de façon permanente par un ados de terre couvert de végétation naturelle. Elle respecte les droits fonciers traditionnels. Appréciée des paysans qui acceptent de payer pour l'aménagement, elle a déjà été appliquée sur une centaine de champs individuels de 2 à 3 ha ou plus.

Les travaux sont faits avec la charrue à bœufs. Les billons de culture suivent les courbes de niveau, ce qui permet de retenir l'eau de pluie et favorise son infiltration. Le bilan de l'eau est amélioré et les profils sont plus humides, ce qui profite aussi aux arbres associés.

Les rendements des cultures sont augmentés d'environ 30%. L'efficacité des engrais est augmentée. Ainsi l'augmentation de coton-graine est de +583 kg/ha pour aménagement plus engrais contre +227 kg/ha pour l'engrais seul.

**Mots-clés** : Conservation de l'eau, céréales, cotonnier, fertilisation, conditions agricoles, ruissellement

### **Contour Bunding And Crop Yields In The Southern Region Of Mali.**

**Abstract** : The proposed contour bunding technology applies at the individual field level, in which contour lines are marked permanently with a sheltered bed of soil covered with natural vegetation. It conforms to the traditional land rights. As it is accepted by farmers who are willing to pay for the contour bunding, this technology has been already applied on about one hundred individual fields of 2 to 3 ha or more.

The work is done with a cattle plough. The ridges follow the contour lines, which enables the retention of water from rainfall and enhances its infiltration. The water balance is improved and the soil profiles are wetter, which is favorable to the associated trees.

Crop yields increased by about 30 %. Fertilizer use efficiency increased. The increase in the yield of cotton seeds is 583 kg/ha for the contour bunding as compared to 227 kg/ha for fertilizer alone.

**Key words**: Water conservation, cereals, cotton plant, fertilization, farmers' field, runoff

## **Introduction**

Dans la région Mali-sud, la CMDT (Compagnie malienne pour le développement des textiles) a fait un gros effort de vulgarisation de techniques anti-érosives. Le « paquet technique » comprend des actions individuelles et des actions collectives, en mettant l'accent sur les actions collectives visant à l'aménagement global du terroir (Hijkoop et van der Poel, 1989) et au « maintien du potentiel productif » (Fané et Wenninck, 1998).

Les paysans connaissent ces techniques, qu'ils appliquent quand ils les jugent utiles, et leur préférence va aux méthodes individuelles (Giraudy et al., 1998). Cependant l'aménagement global est très lent (Van Campen, 1991 ; Hijkoop et al., 1991).

Notre démarche a été au contraire de faire des aménagements en courbes de niveau à l'échelle du champ, pour conserver l'eau et la terre (Gigou et al., 1997 ; Gigou, 1998). Les paysans se montrent intéressés car la méthode est simple et ses effets sur l'humidité du sol et sur les rendements sont bien visibles au champ.

Depuis 1995, nous testons des aménagements en courbes de niveau sur des champs individuels. Les résultats sont encourageants : l'humidité du sol est augmentée, les rendements sont nettement plus élevés et les paysans sont très intéressés, comme le montre le fait qu'ils acceptent de payer pour de nouveaux aménagements. En 1998, plus de 300 ha avaient été aménagés chez environ 100 paysans des régions de Koutiala, Sikasso et Fana. A cette échelle, il devient possible de mesurer l'effet des courbes de niveau sur les rendements dans les conditions normales des paysans.

L'effet des courbes de niveau est dû principalement à la conservation de l'eau de pluie. Nous avons donc observé les différences d'humidité et de bilan hydrique entre champs aménagés et non aménagés, ainsi que leurs conséquences sur la végétation.

Cependant, l'objectif final de l'aménagement est l'augmentation de la production. Il a été beaucoup plus difficile d'obtenir des estimations chiffrées fiables de l'effet sur les rendements. En effet, dans les tests simples d'aménagements de champs entiers que nous avons d'abord réalisés, il était rarement possible de comparer le champ aménagé avec une autre parcelle exactement semblable, car le paysan tend à demander d'abord l'aménagement des champs les moins fertiles et ensuite, dès que l'aménagement est bien stabilisé, il tend au contraire à apporter davantage de fumier et d'engrais sur les champs aménagés.

Nous avons donc dû mettre en place des essais spécifiques pour observer les rendements avec les mêmes doses d'engrais, à l'intérieur des parcelles aménagées et non aménagées d'un même site. Une première série d'essais a été réalisée de 1994 à 1997 à Konobougou, mais elle n'a pas donné de bons résultats pour une question d'échelle : la parcelle expérimentale était de taille réduite (ados de 40 m de longueur) ce qui permet des départs d'eau non négligeables à l'extrémité des billons. L'effet a été favorable, mais très inférieur à celui que l'on observe sur les champs entiers. Le dispositif aurait probablement permis l'observation d'effets dus à l'érosion, mais il n'était pas adapté pour les effets dus principalement à la conservation de l'eau de pluie. En effet, le ruissellement est généralement plus fort sur des petites parcelles d'expérimentation que sur des champs entiers (Perez, 1994).

Nous avons donc repris une nouvelle expérimentation en utilisant des champs entiers, ce qui est devenu possible puisque de nombreux champs ont été aménagés. L'aspect des cultures sur nos essais est alors comparable à celui des champs voisins des paysans. Les résultats exposés ci-dessous nous semblent donc bien représentatifs de la réalité, à l'échelle du champ du paysan.

## Matériel et méthode

### Méthode d'aménagement des champs en courbes de niveau

La méthode que nous utilisons s'applique à l'échelle du champ du paysan. Le principe est schématisé dans les figures n° 1 et 2.

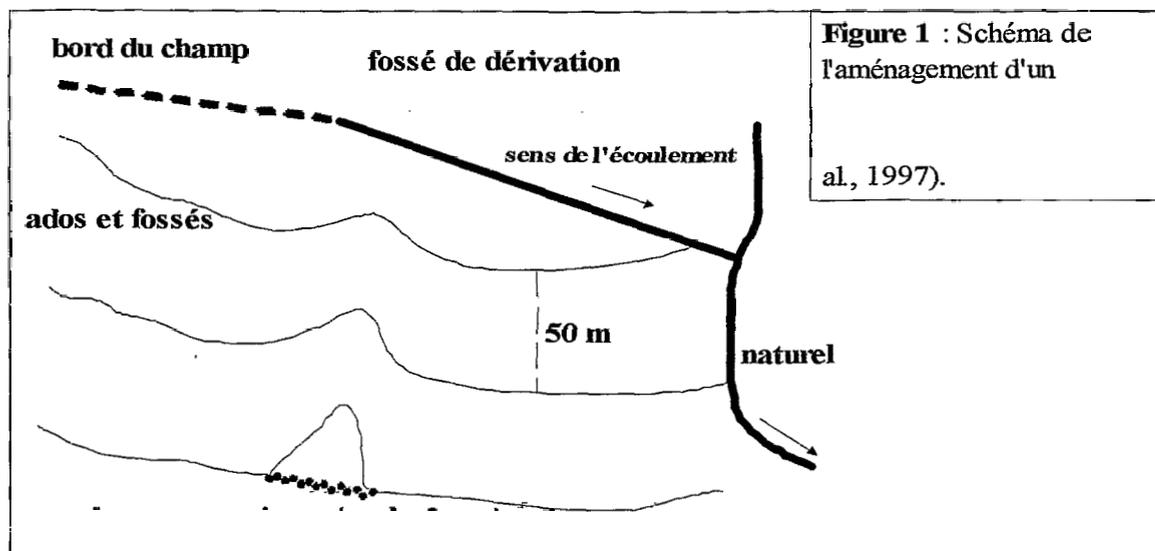


Figure 1 : Schéma de l'aménagement d'un champ (d'après Gigou et al., 1997).

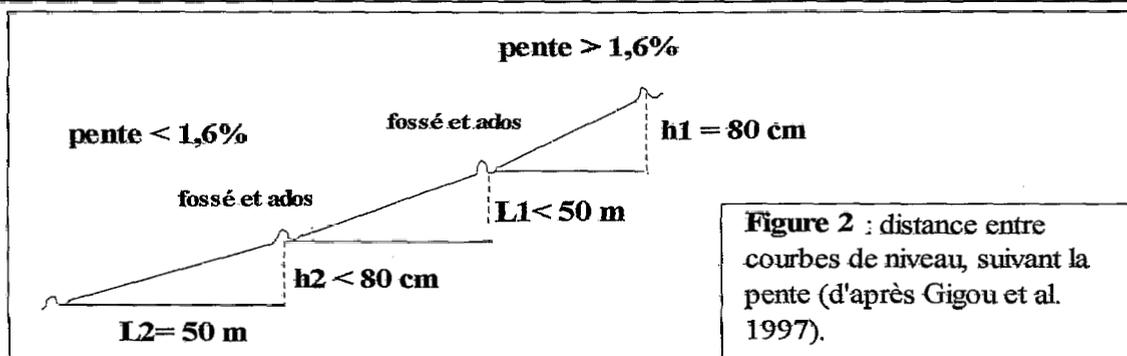


Figure 2 : distance entre courbes de niveau, suivant la pente (d'après Gigou et al., 1997).

L'échelle du champ offre des avantages importants pour la réussite des aménagements car les chefs d'exploitations ont des droits fonciers bien reconnus et peuvent décider librement des techniques qu'ils appliquent sur leurs propres parcelles. Cela compense largement les difficultés dues au fait que l'eau ruisselle du haut vers le bas de la pente, souvent invoqué en faveur des aménagements collectifs, à l'échelle du versant tout entier ou du village (CTFT, 1979 ; Hijkoop et van der Poel, 1989) qui apparaissent peut-être plus logiques, mais qui sont difficiles à installer en respectant les droits fonciers et à entretenir pour qu'ils fonctionnent correctement (Marchal, 1986 ; Delisle et Jacob, 1995). Pour réussir un aménagement à l'échelle du champ, il suffit d'organiser la circulation des eaux venant de l'amont et l'évacuation des éventuels excès d'eau. C'est généralement facile dans les conditions de la région Mali-sud où les pentes sont faibles, 1 à 3% en général.

Toutes les cultures des paysans sont en billons, soit que les semis soient faits sur billons, soit que les cultures soient buttées après un semis à plat. Il nous suffit donc de marquer de façon permanente la courbe de niveau pour que le paysan puisse installer ses billons suivant la courbe de niveau. Alors chaque sillon inter-billons devient un réservoir d'eau qui force une infiltration maximum des eaux de pluies. Les billons restent ouverts aux extrémités du champ afin que l'excès d'eau puisse s'évacuer lentement. Un simple ados fait avec 2 à 5 aller-retour avec la charrue à bœufs suffit pour marquer la courbe de niveau de façon permanente. Cet ados est couvert de végétation spontanée ou plantée (*Andropogon gayanus*, arbustes, etc.).

Le piquetage des courbes de niveau est fait directement au champ, sans levé topographique ni plan préalable. Nous opérons de la façon suivante (Gigou et al., 1997) :

**1- Diagnostic de situation** : Une visite dans le champ, avec le paysan, permet de repérer les voies de circulation de l'eau et les problèmes d'érosion ou d'excès d'eau qui se posent. On propose alors un schéma global d'aménagement du champ comprenant : si nécessaire, un fossé de garde pour collecter les eaux venant de l'amont et un exutoire pour évacuer les eaux en excès ; puis les courbes de niveau en commençant à l'amont du champ. Le paysan peut choisir parmi les solutions possibles. Par exemple, l'exutoire peut être une ravine préexistante ou bien un fossé creusé au bord du champ. Quand le champ est de grande dimension, on partage les travaux à raison de 2 à 3 ha au maximum chaque année. Il est commode de faire un schéma sur lequel on figure la localisation des ouvrages, mais il n'est pas nécessaire de disposer d'un plan précis.

**2- Piquetage des courbes de niveau et autres ouvrages** : il est fait directement sur le terrain.

On commence par placer le fossé de garde à l'amont du champ : si possible, on l'installe sur la limite de la parcelle ou dans une zone non cultivée à l'amont. Quand ce n'est pas possible, en raison des pentes constatées et des droits fonciers, on est obligé de le faire passer à l'intérieur du champ, en sacrifiant quelques petites parcelles à l'amont, qui pourraient être utilisées pour des cultures pérennes. Quand il ne suit pas le bord du champ, on lui donne une pente de 0,2 à 0,3%, ce qui est facilement obtenu en comptant un dénivelé de 2 à 3 cm entre deux piquets successifs distants de 10 m.

On piquette alors les courbes de niveau, à l'aval du fossé de garde, en partant du point le plus haut. Si la pente est supérieure à 1,6%, on trace la première courbe avec un dénivelé de 80 cm. Si la pente est plus faible, on compte 50 m à partir du point haut, en suivant approximativement la plus grande pente, ce qui permet de définir un point de la courbe, à partir duquel on trace la courbe de niveau. Sur les courbes de niveau, on place un piquet chaque 10 m environ. Le piquetage peut être fait avec un niveau à eau artisanal, qui a l'inconvénient d'être lent et peu précis quand la pente est faible (1% ou moins). On peut aussi le faire avec un niveau de chantier à lunette, par exemple le niveau Wild, modèle NK1, que nous utilisons. Un appareil « bas de gamme » suffit, car on ne recherche pas une grande précision, impossible dans des champs cultivés en billons. On admet une tolérance de +/- 5 cm (hauteur approximative des billons) sur l'altitude des points de la courbe, ce qui permet de lui donner une forme plus régulière, en évitant par exemple de contourner des termitières.

Le travail de piquetage doit être fait en fin de saison sèche, quand la végétation de l'année précédente a été récoltée ou rabattue, et assez tôt pour que l'on puisse utiliser les premières pluies pour réaliser les ouvrages sans retarder les travaux agricoles.

**3- Réalisation des ouvrages** : Les ados sont fabriqués avec une charrue à bœufs dès les premières pluies, afin de ne pas retarder les semis. Suivant les cas, le paysan peut faire un gros ados, avec 4 ou 5 passages aller-retour avec la charrue, ou au contraire un petit ados à peine plus gros qu'un billon. De toutes façons, dès que cet ouvrage permet d'orienter sans ambiguïté les lignes de semis, l'aménagement peut fonctionner correctement. Une petite finition à la daba permet de donner une hauteur constante à cet ados, qui pourra être augmentée au moment des sarclages et des buttages ou des labours des années suivantes. On laisse en général les herbes spontanées pousser sur cet ados de niveau. Cependant, il n'y a pas d'inconvénient à y planter des cultures ou des fourrages, à condition de ne jamais sarcler : la destruction des mauvaises herbes doit être faite exclusivement par buttage, ce qui augmente la taille de l'ados. Des gombos (*Hibiscus esculentus*), du dah (*Hibiscus cannabinus*), du maïs (*Zea mays*), etc. sont ainsi cultivés la première année. Les années suivantes, on préfère des plantes pérennes, par exemple *Andropogon gayanus* qui peut facilement être planté à partir de

souches sauvages. Des lignes de cailloux permettraient aussi bien de marquer les lignes de niveau, mais les paysans préfèrent les ados à la charrue à bœufs qui sont plus faciles et plus rapides à réaliser.

Les ados et fossés de garde sont réalisés d'une façon comparable, mais en respectant une hauteur suffisante pour que l'eau ne déborde pas. Quand il n'y a pas beaucoup d'eau à évacuer, une simple dérayure à la charrue suffit. Quand le témoignage du paysan et les traces du ruissellement indiquent des arrivées d'eau importantes on peut être amené à construire un ouvrage de 40 ou 50 cm de hauteur.

**4- Entretien :** Dans presque tous les cas, il se produit des cassures dans les ouvrages, au moins la première année quand la terre fraîchement remuée est meuble. Les réparations sont d'autant plus faciles qu'elles sont faites rapidement. Les petites réparations sont faites à la daba, avec de la terre. Quand la cassure est large, on peut renforcer avec des cailloux. Il arrive parfois que de grosses cassures se produisent à l'emplacement d'anciennes ravines : alors il vaut mieux laisser l'eau s'évacuer pendant toute la saison des pluies et fermer ces cassures les années suivantes, en commençant par les ados du haut et en descendant progressivement vers le bas. Si le diagnostic a été bien fait et qu'il n'y a pas d'excès d'eau à évacuer à cet endroit, la réparation peut être complète et solide après trois ou quatre années. S'il y avait un problème d'excès d'eau à évacuer, il faudrait réexaminer la question.

Dans tous les cas, il faut faire les aménagements très progressivement, en commençant par un ou deux hectares la première année, et en continuant par petites tranches les années suivantes. Si l'on essaie de faire un aménagement plus grand, le paysan aura trop de travail à faire en même temps, au début de la saison des pluies et il risque de tout abandonner. Inversement, en opérant progressivement, on observe rapidement des effets importants sur les parties aménagées, mais aussi sur les parties à l'aval qui reçoivent moins d'eau de ruissellement.

L'aménagement en courbes de niveau est une méthode classique pour lutter contre l'érosion et retenir l'eau de pluie. Cependant, la méthode que nous appliquons diffère de celles qui avaient été précédemment proposées par au moins deux caractéristiques importantes : 1- elle s'applique à l'échelle du champ cultivé ; 2- les courbes sont marquées par des ados à la charrue, méthode beaucoup plus simple que les cordons de pierre.

### Conservation de l'eau

Pour l'apprécier, nous avons réalisé trois types d'observations : 1- des observations qualitatives sur l'humidité du sol et l'évolution du parc arboré associé aux cultures ; 2- la comparaison des profils hydriques dans des champs voisins aménagés et non aménagés, pendant la saison de culture ; 3- la simulation des bilans hydriques.

Pour suivre les profils hydriques, nous avons choisi deux sites présentant chacun un champ aménagé et un autre champ voisin du même paysan portant la même culture, mais non aménagé. Nous avons prélevé à la tarière, à chaque fois, trois profils dans le champ aménagé et trois profils dans le champ non aménagé, pour mesurer l'humidité pondérale, par la méthode de la perte au feu. Ces champs ont été suivis en 1997 et 1998, par un prélèvement en début de saison des pluies puis un autre en fin de saison des pluies. Le prélèvement de début de saison, fonction de l'arrivée des pluies, a été fait en juillet ces deux années-là. Le prélèvement de fin de saison a été fait en fin septembre en 1997. En 1998, il a été fait en fin août, alors que le maximum d'humidité du profil a probablement été atteint vers le 10 septembre.

Nous avons mesuré le ruissellement sur des petites parcelles formées d'un sillon inter-billon sur 40 m de longueur. Nous avons alors pu modéliser l'utilisation de l'eau par la culture, à l'aide du logiciel bipode, en utilisant les valeurs mesurées du ruissellement, une réserve utile

du sol RU= 100 mm sur un mètre de profondeur et des coefficients culturaux estimés d'après les indices de surface foliaire mesurés sur des parcelles voisines à la floraison et à la récolte. Nous pouvons ainsi estimer la part de l'eau de pluie utilisée par les cultures et la satisfaction en eau de ces cultures. Les mêmes données permettent de représenter la variation du stock d'eau dans le sol au cours de l'année.

### Effets sur les rendements

La seule méthode qui ait donné de bons résultats consiste à faire des essais dans des champs entiers aménagés. Ainsi, sur chaque site choisi, on réalise deux essais semblables : l'un, **avec aménagement**, est localisé au milieu d'un champ aménagé en courbes de niveau et cultivé normalement par le paysan et l'autre, **sans aménagement**, est situé dans un champ voisin cultivé par le même paysan. Chacun des essais est en bloc de Fisher, avec deux répétitions. Les traitements sont différentes doses d'engrais (tableau 1).

**Tableau n°1** : traitements mis en comparaison dans les différentes séries d'essais

1997	1998	<u>Essai effet courbes de niveau</u>	1998	<u>Essais de cations</u>
<b>T00</b>	<b>T00</b>	sans engrais	<b>T00</b>	sans engrais
<b>Fv</b>	<b>Fv</b>	NPKS + urée	<b>Fv</b>	NPKS + urée
<b>+PNT</b>	<b>+PNT</b>	Fv + PNT	<b>NP</b>	DAP + urée
<b>+CaS</b>	<b>+CaS</b>	Fv + plâtre	<b>+CaS</b>	NP + plâtre
	<b>+KCl</b>	Fv + chlorure de potassium	<b>+KCl</b>	NP + KCl
	<b>+mélange</b>	Fv + mélange 50% PNT/ 50% plâtre	<b>+KS</b>	NP + K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
			<b>+KMgS</b>	NP + sulpomag
			<b>+KMgCaS</b>	NP + sulpomag + plâtre

Avec fumure vulgarisée =

doses	<b>NPKS au semis</b>	<b>N à 30/45 JAS</b>
<b>coton</b>	complexe 14-22-12-+SB = 150 kg/ha	urée = 50 kg/ha
<b>maïs</b>	complexe 15-15-15 = 100 kg/ha + ZnSO <sub>4</sub> = 5 kg/ha	urée = 150 kg/ha
<b>mil et sorgho</b>	complexe céréale = 50 kg/ha	urée = 50 kg/ha

PNT = phosphate naturel du Tilemsi ; Sulpomag = langbeinite = 22% K<sub>2</sub>O, 11% Mg, 22% S.  
Dose plâtre, PNT, KCl, KS, mélange, sulpomag : 50 kg/ha

Un premier essai d'un tel protocole a été réalisé en 1997 sur mil, sorgho et coton, avec seulement 4 traitements. Il a donné des résultats très satisfaisants, si bien qu'en 1998, nous avons réalisé deux séries d'essais suivant le même principe, mais avec des fertilisations légèrement différentes : *essais effet des courbes de niveau sur les rendements et essais de cations*. Le tableau 2 donne les résultats obtenus en 1997 et 1998. La plupart de ces essais sont poursuivis, de façon pérenne, en 1999. L'interprétation statistique a été faite suivant la méthode des séries d'essais à deux facteurs de regroupement, le site et la fertilisation, avec le logiciel STATITCF. Tous ces essais ont des traitements en commun qui peuvent être comparés sur l'ensemble des sites : T00 et Fv. L'analyse de variance a été appliquée (tableau 3), mais nous avons préféré la compléter par une méthode graphique qui permet de mieux visualiser les différences de rendements. Pour cela nous avons utilisé une échelle de fertilité des sites calculée ainsi : la moyenne des traitements T00 sans engrais, sur le site, aménagé et non aménagé, moins une constante, choisie pour que la moyenne des fertilités de tous les sites soit égale à la moyenne des traitements T00 non aménagés. Le calcul de la régression entre les

rendements et ces valeurs de fertilité permet de déterminer les intervalles de confiance aux seuils de 5% et 1%, représentés en gris sur la figure 6.

## **Résultats**

### **Effet sur le bilan hydrique**

**Observations qualitatives :** Les paysans remarquent l'effet de l'aménagement en courbes de niveau sur l'eau disponible : le sol est plus humide après les premières pluies, il y a plus de temps disponible pour les labours et les semis, la croissance des plantes est plus forte en cas de sécheresse et en fin de cycle, il reste souvent assez d'eau pour que des adventices continuent à pousser.

Il apparaît aussi un effet d'échelle. Ces phénomènes sont bien visibles sur un champ de un ou deux hectares entièrement aménagés. Mais sur des petites parcelles expérimentales, telles que celles que nous avons utilisées pour la mesure du ruissellement, l'effet est plus faible. Cela est compréhensible car l'écoulement latéral de l'eau se fait uniquement à l'extrémité des sillons inter-billons. Dans un champ entier, les billons mesurent 200 à 300 m de longueur et les pertes d'eau aux extrémités sont proportionnellement plus faibles que dans une parcelle expérimentale avec un billon de 40 m de longueur.

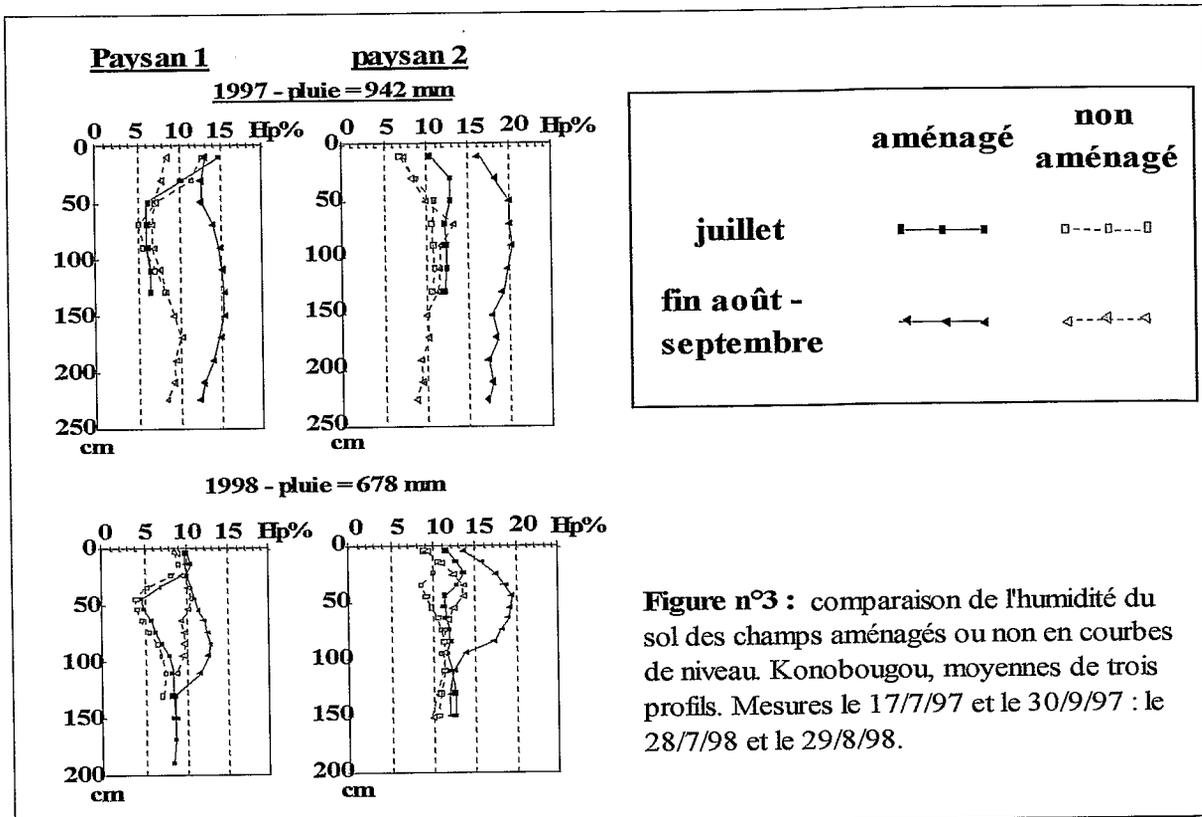
Les arbres associés aux cultures sont sensibles à la quantité d'eau stockée en profondeur, qui permet leur survie pendant la saison sèche. C'est ainsi que deux ans après l'aménagement, nous avons vu croître des *Faidherbia albida* dans un champ de Konobougou où auparavant ils ne poussaient pas. Par la suite, dans ce champ, nous avons vu croître différentes espèces d'arbres : des neems (*Azadirachta indica*) dont les graines sont apportées par les ordures ménagères, *Kigelia africana* et *Lonchocarpus laxiflorus*, deux espèces spontanées peu fréquentes mais très appréciées du bétail, et enfin des baobabs (*Adansonia digitata*) plantés par le paysan. De même, dans de nombreux autres champs, on voit apparaître progressivement davantage de jeunes arbres, soit sur les ados de niveau, soit à l'intérieur des parcelles cultivées.

**Comparaison des profils hydriques des champs aménagés ou non en courbes de niveau :** les résultats obtenus en 1997 et 1998 sont représentés sur la figure 3.

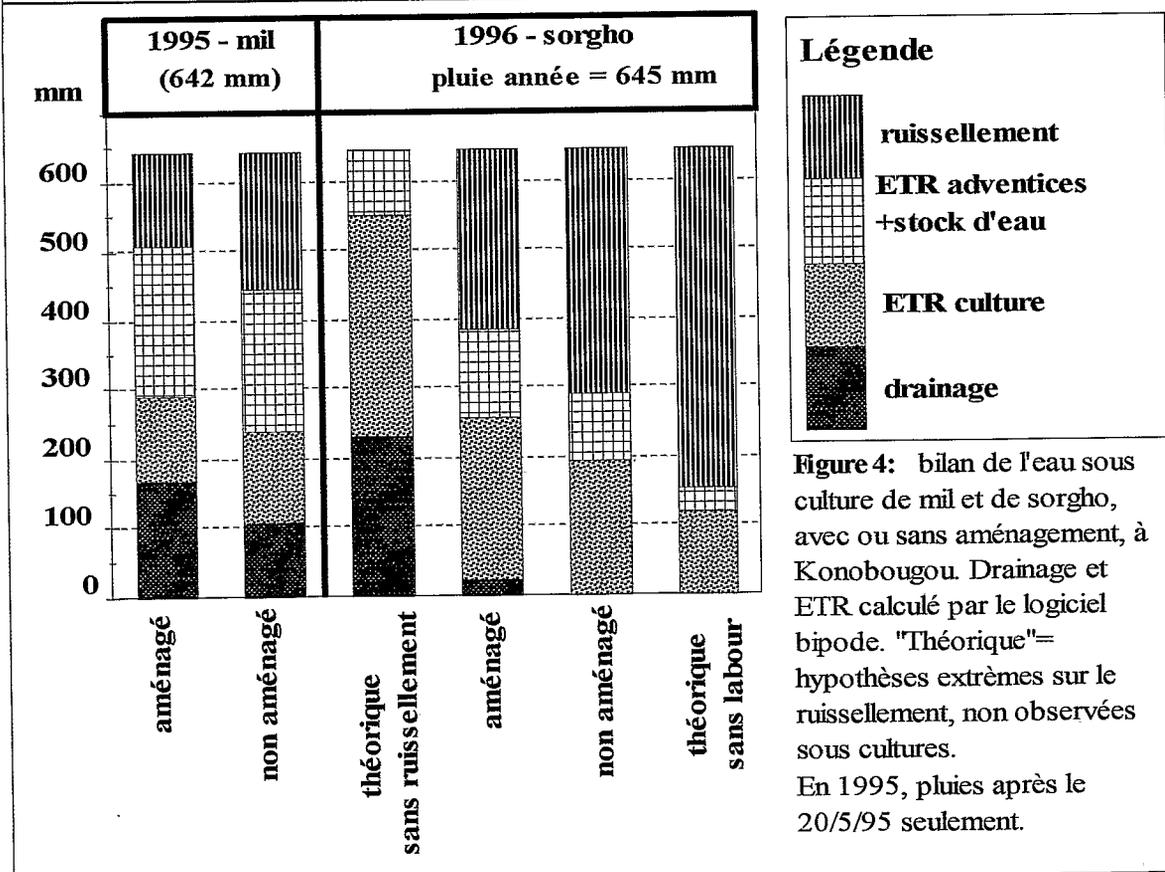
La différence d'humidité entre le sol aménagé et non aménagé apparaît clairement. En 1997, année pluvieuse, le sol a été humecté jusqu'à plus de deux mètres de profondeur avec l'aménagement, ce qui permet donc de constituer une réserve d'eau pour les arbres en saison sèche, alors qu'il n'y a pas eu de drainage à 2 m de profondeur en l'absence d'aménagement. En 1998, année moins pluvieuse, il n'y a pas eu de drainage à 2 m de profondeur, mais à la fin de la saison des pluies, le sol était bien humecté jusqu'à plus de 1 m de profondeur, alors que sans aménagement il ne l'était qu'imparfaitement.

On vérifie donc bien que le sol est plus humide après aménagement en courbes de niveau et que, au moins les années pluvieuses, il peut ainsi se constituer des réserves d'eau en profondeur, permettant aux arbres de survivre en saison sèche.

**bilan de l'eau en petites parcelles :** les résultats sont représentés sur les figure n°4 et 5. Le sol choisi pour cette expérience a une pente très faible, environ 1%, mais il forme une croûte superficielle très imperméable et en l'absence de travail du sol, le ruissellement est considérable : le sol reste nu malgré 800 ou 900 mm de pluie. Le travail du sol permet une certaine infiltration de l'eau, bonne en 1995, moins bonne en 1996, pour des raisons qui tiennent probablement à la répartition des pluies au cours de l'année et au travail du sol en cours de culture. L'aménagement en courbe de niveau permet une augmentation de l'infiltration : 63 mm en 1995 et 97 mm en 1996.



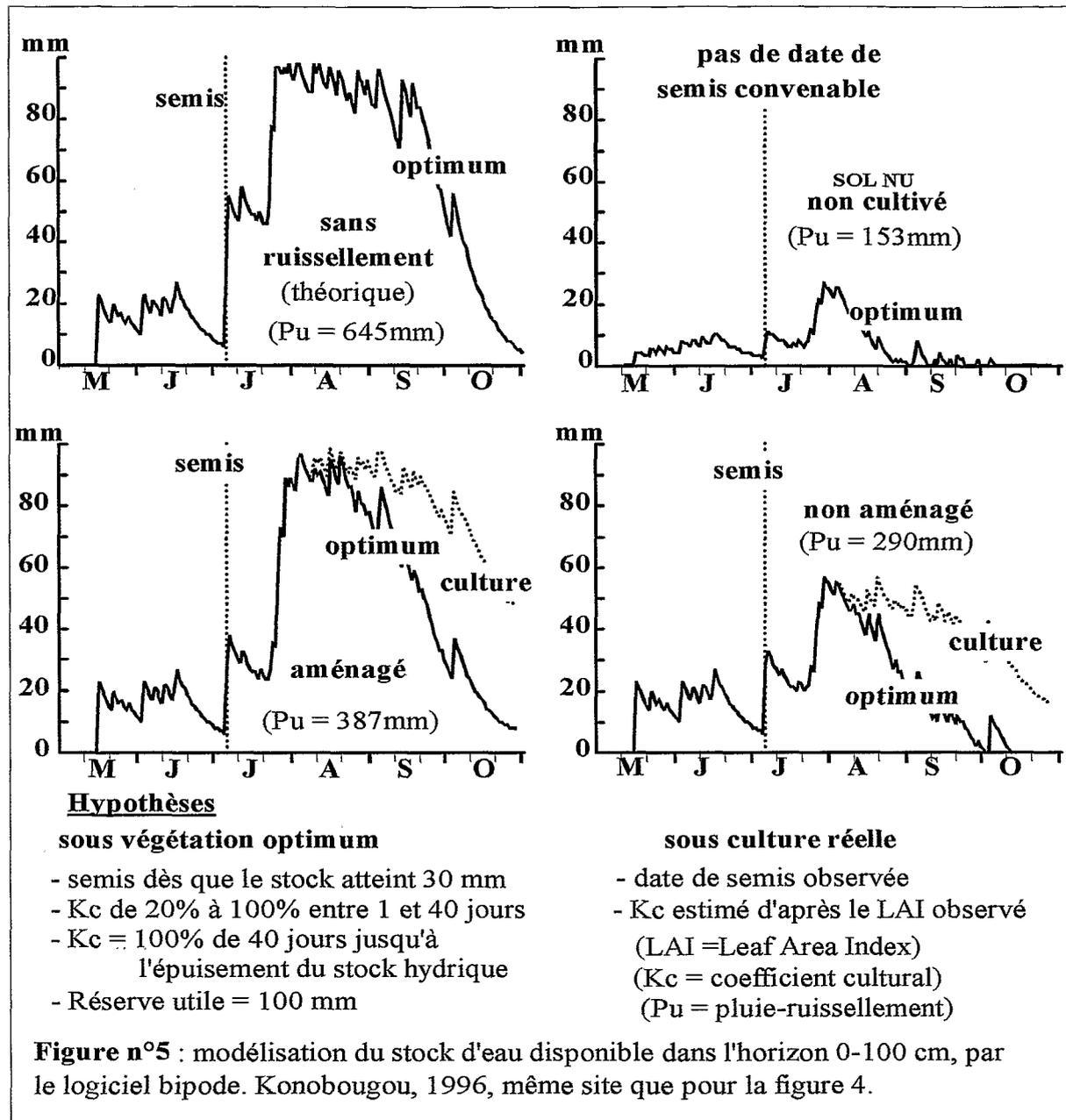
**Figure n°3 :** comparaison de l'humidité du sol des champs aménagés ou non en courbes de niveau. Konobougou, moyennes de trois profils. Mesures le 17/7/97 et le 30/9/97 : le 28/7/98 et le 29/8/98.



**Figure 4:** bilan de l'eau sous culture de mil et de sorgho, avec ou sans aménagement, à Konobougou. Drainage et ETR calculé par le logiciel bipode. "Théorique" = hypothèses extrêmes sur le ruissellement, non observées sous cultures. En 1995, pluies après le 20/5/95 seulement.

L'eau infiltrée a été bien utilisée par la culture en 1996, alors qu'au contraire en 1995, elle n'avait été que partiellement utilisée par la culture de mil installée tardivement, qui avait mal poussé. La partie infiltrée mais pas utilisée par la culture peut être utilisée par les adventices

avant le semis ou après la récolte. Très peu d'eau reste stockée dans les horizons superficiels du sol jusqu'à l'année suivante. L'excès par rapport aux besoins des plantes et à la réserve utile, draine au-delà de 1 m de profondeur. Le drainage ne se produit que dans les cas où la quantité d'eau infiltrée est forte. En l'absence totale de ruissellement, le drainage serait fortement augmenté.



La modélisation du stock d'eau dans le sol (figure 5) permet de visualiser l'effet du travail du sol et de l'aménagement, au cours de la saison des pluies. En l'absence de travail du sol, le sol reste nu et il ne se constitue jamais un stock d'eau suffisant pour installer une culture. Dans la partie cultivée non aménagée, le travail du sol permet une infiltration tout juste suffisante pour que la culture puisse pousser, sans constituer un stock d'eau important. Avec aménagement, le stock d'eau atteint le maximum possible sur un mètre de profondeur, ce qui permet la continuation de la croissance des plantes pendant plus longtemps en fin de cycle. Avec aménagement, l'évolution du stock d'eau se rapproche beaucoup de celui que l'on observerait

sans ruissellement. En effet, quand l'horizon de surface est entièrement humecté, l'excès d'eau draine vers la profondeur.

### Effet sur les rendements

Les résultats sont résumés dans les tableaux n°2 et 3 et la figure n°6. Sur le cotonnier fertilisé, l'augmentation du rendement est d'environ 350 kg/ha de coton-graine, soit 30% du rendement. Sur les céréales, elle dépasse 500 kg/ha de grains en moyenne. Les différences dues à l'aménagement apparaissent significatives aussi bien pour le coton que pour les céréales.

Evidemment l'alimentation en eau, qui est améliorée par l'aménagement, n'est pas toujours le seul facteur limitant. Pour le coton, l'apport d'engrais est tout aussi limitant et en l'absence d'engrais, l'aménagement n'apporte qu'une faible augmentation de rendement. Par contre, avec aménagement, l'effet de la fumure vulgarisée est nettement augmenté (figure 6).

**Tableau n°2** : effet de l'aménagement en courbes de niveau sur les rendements et la production totale des parties aériennes, dans les essais de 1997 et 1998. (poids en kg/ha ; NA= non aménagé ; A= aménagé).

	Nombre sites	grains				tiges + grains			
		NA	A	effet	%	NA	A	effet	%
<b>coton</b>									
sans engrais	12	828	886	58	7	1793	2004	211	12
Fv	12	1056	1412	356	34	2671	3514	844	32
autres engrais	12	1280	1623	343	27	2973	4009	1037	35
<b>Céréales</b>									
sans engrais	11	855	1390	535	63	3712	5602	1890	51
Fv	11	1597	1885	288	18	5855	7455	1600	27
autres engrais	11	1564	2135	571	37	5992	9039	3047	51
<b>Céréales (avec et sans engrais)</b>									
maïs	2	2603	3599	996	38	6339	8704	2365	37
sorgho	5	1254	1740	486	39	6082	9467	3384	56
mil	4	1053	1341	288	27	4478	6590	2111	47

**Tableau n°3** : Analyse de variance de la signification sur le regroupement de tous les essais. Traitements pris en compte : T00 (sans engrais) et Fv= fumure vulgarisée)

source de variation	rapport CM	céréales (11 sites)			coton (12 sites)		
		DDL	PROBA	signif	DDL	PROBA	signif
B: aménagement (AM)	B/E	1	0,0153	S	1	0,0162	S
C: site (S)	C/E	10	0,0012	HS	11	0,0000	HS
D: engrais (E)	D+H/F+G	1	0,0223	S	1	0,1878	NS
E: Interaction AM*S	E/I	10	0,0545	NS	11	0,4005	NS
F: Interaction AM*E	F/H	1	0,2862	NS	1	0,0288	S
G: Interaction S*E	G/H	10	0,2539	NS	11	0,2161	NS
H: Interaction S*AM*E	H/I	10	0,3015	NS	11	0,7277	NS
I= résiduelle pondérée		102			140		
Rendement moyen (kg/ha)		1,45			2,50		
Ecart-type résiduel		0,35			0,69		

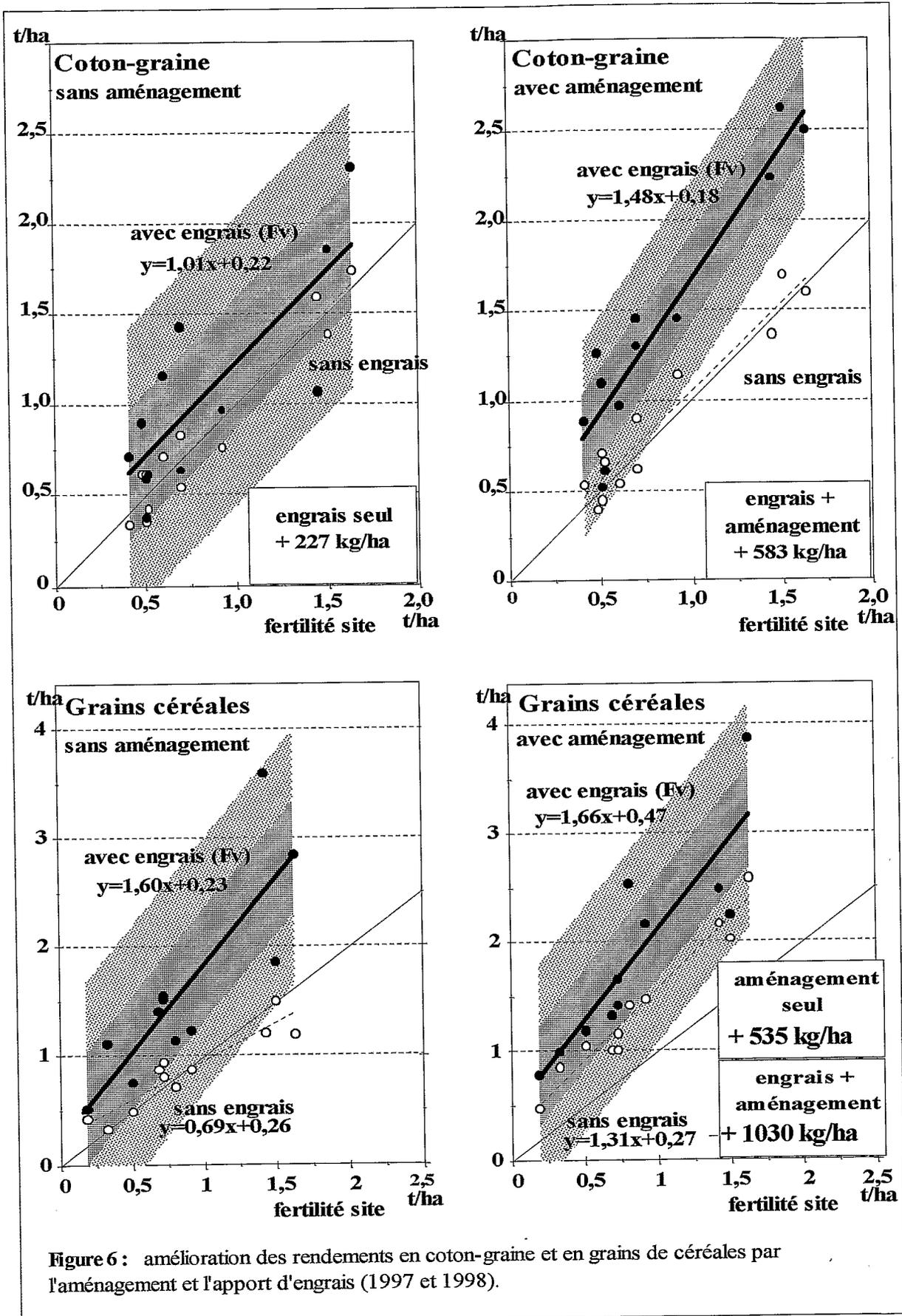


Figure 6 : amélioration des rendements en coton-graine et en grains de céréales par l'aménagement et l'apport d'engrais (1997 et 1998).

Sur les céréales, même sans engrais, l'aménagement augmente les rendements (figure n°6). Cette augmentation semble plus forte avec engrais, surtout pour le maïs qui a des rendements plus élevés. Cependant le nombre des résultats disponibles ne nous permet pas de faire des analyses séparées pour chaque espèce. L'augmentation des rendements dû à l'aménagement est d'environ 30%.

## **Discussion**

### **Aménagements**

L'échelle du champ s'avère ici bien adaptée aux besoins des paysans. Ce n'est probablement pas un cas isolé : Lahmar (1998) signale deux cas, en Tunisie et dans les Andes, où l'aménagement de parcelles de paysans a réussi là où des aménagements de bassins-versants entiers avaient échoué. Cette échelle convient car elle permet de respecter les règles traditionnelles de prise de décision par les chefs d'exploitations. Dans la région Mali-sud, les pentes sont faibles et la circulation globale de l'eau sur le versant ne pose généralement pas des problèmes graves. Quand un tel problème se pose, il y a tout intérêt à combiner un traitement collectif de ce problème avec l'aménagement individuel des champs cultivés.

La méthode a été intégrée par la CMDT dans la liste des méthodes vulgarisées et les agents de la CMDT font des démonstrations chez les paysans.

Mais plus que tout autre critère, la preuve que les paysans sont intéressés est fournie par le fait qu'ils acceptent de payer pour le diagnostic de situation et le piquetage des courbes de niveau. Une ONG créée à Koutiala offre ce service pour le prix de 5000 FCFA/ha, qui est facilement rentabilisé dès la première année. Le fait que ce service soit payant offre un avantage pour la vulgarisation : ce sont uniquement les paysans intéressés qui demandent l'aménagement et, quand le piquetage est fait, ils ont à cœur de réaliser l'aménagement, pour ne pas avoir dépensé leur argent en vain.

### **Bilan hydrique :**

La culture en courbes de niveau conserve beaucoup d'eau. Cela est confirmé par les mesures de ruissellement que nous avons faites. Dans les champs entiers aménagés, la conservation de l'eau est certainement plus complète encore que sur les petites parcelles qui nous ont servi dans ces mesures. Nous avons vérifié aussi que les profils sont humectés jusqu'à une plus grande profondeur dans les champs aménagés.

Les paysans sont très sensibles à cet aspect, car cela augmente leurs possibilités de production par l'augmentation du temps disponible pour les travaux et l'augmentation de la réponse des cultures aux intrants. Cependant cela risque d'augmenter le drainage, ce qui peut faire craindre des risques d'acidification. Dans les champs des paysans, l'eau qui draine constitue la réserve de saison sèche pour les arbres associés aux cultures. En même temps, les arbres remontent des bases de la profondeur, ce qui limite fortement les risques d'acidification.

Dans les champs où le ruissellement est fort, il ne se constitue pas de réserve d'eau en profondeur, si bien que les arbres sont très clairsemés, en équilibre avec les faibles réserves du sol. Dans ces champs, l'aménagement est très efficace et conserve beaucoup d'eau. On peut craindre que la réserve d'eau soit supérieure à ce que peuvent utiliser les rares arbres présents : Le parc arboré n'est plus en équilibre avec les réserves d'eau. Il est donc souhaitable que le parc arboré soit augmenté, soit par la conservation des arbres spontanés, soit par plantation. Nous avons vu qu'à Konobougou, le parc arboré s'ajuste progressivement, mais assez rapidement, à la disponibilité en eau supplémentaire apportée par l'aménagement. En général, les paysans qui ont une solide tradition d'agroforesterie, favorisent cette évolution

en conservant les espèces spontanées considérées comme utiles et en plantant certaines espèces (baobabs, manguiers, etc.).

### **Rendements**

Ces résultats apportent une bonne surprise : les augmentations des rendements sont fortes. 30% d'augmentation constitue une augmentation très significative et l'aménagement apparaît très rentable.

Avec aménagement, l'effet de la fumure vulgarisée est nettement augmenté (figure 6) : il est donc logique d'apporter une fumure plus abondante dans les champs aménagés. Nous avons effectivement observé que les paysans apportent souvent une fumure plus abondante (fumier et engrais minéral) dans les champs aménagés.

Pour le coton fertilisé comme pour les céréales, l'accroissement des rendements avec l'aménagement et la fertilisation est d'autant plus fort que le sol est plus fertile. Il est donc plus rentable d'aménager les terres fertiles que les terres pauvres. Dans le choix des priorités d'aménagement, toutes choses égales par ailleurs, ce sont donc les parcelles fertiles qu'il faut aménager en premier. On aménagera ensuite les parcelles plus délicates, qui exigeront davantage de travail et d'investissement pour donner les mêmes résultats. Cette priorité dans les aménagements n'est pas toujours évidente pour le paysan qui propose souvent de lutter d'abord contre l'érosion dans les zones où elle est le plus visible.

### **Conclusion**

La réaction des paysans envers cette méthode d'aménagement est assurément très favorable : plusieurs centaines d'hectares ont pu être aménagés. Ce n'est pas encore une vulgarisation à grande échelle, mais c'est suffisant pour que l'on puisse appréhender les problèmes pratiques.

Quand on fait une démonstration chez un paysan, il observe généralement, pendant deux ou trois années, pour s'assurer que les résultats sont régulièrement bons et qu'il n'y a pas d'effets secondaires indésirables, avant de demander un accroissement de la surface aménagée. Inversement, quand il utilise depuis plusieurs années des aménagements, il acquiert une expérience qui lui permet de corriger rapidement tous les points faibles de son dispositif, par exemple les barrages en pierre dans les cassures des ados. Il est probable aussi qu'il s'adapte pour utiliser plus complètement les possibilités nouvelles offertes par l'aménagement. Par exemple le temps disponible pour le travail du sol est augmenté, si bien qu'il peut, soit semer plus tôt, dans le but d'obtenir des rendements plus élevés, soit augmenter la surface cultivée, pour obtenir une production plus abondante avec les mêmes rendements à l'hectare. Nous observons ces réactions diverses suivant les situations foncières des paysans.

Tel que nous le pratiquons, l'aménagement en courbes de niveau est une technique efficace pour augmenter l'humidité du sol et les rendements. L'augmentation de l'humidité du sol, visible au champ, a pu être vérifiée par des mesures. L'augmentation des rendements qui en résulte est importante. De plus, l'amélioration de l'alimentation en eau des cultures permet d'augmenter l'efficacité des autres techniques culturales, en particulier la fertilisation.

Cette méthode apparaît ainsi comme une technique de culture adaptée à de nombreuses situations de la région Mali-sud quand les pertes d'eau par ruissellement sont importantes. Elle donne de bons résultats même dans des champs en pente très faible, inférieure à 1%, où l'érosion est limitée en raison de la faiblesse de la pente, mais où les pertes en eau par ruissellement sont importantes.

## Bibliographie

- CTFT 1979 - La conservation des sols au sud du Sahara. Paris, Ministère de la coopération. Collection Techniques rurales en Afrique. 2<sup>e</sup> édition, 296p.
- DELISLE Y., JACOB J.P., 1995 - Opération de développement et droits fonciers en Afrique. La lutte anti-érosive au centre-ouest du Burkina Faso. *Sécheresse* 6 (3), 295-302.
- FANE N.I., WENNINK B., 1998 - Evolution de l'approche défense et restauration des sols de la Cndt dans la zone Mali-Sud. De la lutte antiérosive au maintien du potentiel productif. In : Ratnadass A., Chantereau J., Gigou J. (Eds) : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad. 1997/3/17-20. Bamako, Mali. Collection colloques, Montpellier, Cirad-ca : 231-237.
- GIGOU J., COULIBALY L., WENNINCK B., TRAORE K.B., 1997 - Aménagements des champs pour la culture en courbes de niveau au sud du Mali. *Agric Dévelop* 14 : 47-57.
- GIGOU J., 1998 - Méthode d'aménagement en courbes de niveau à l'échelle du champ. In : Ratnadass A., Chantereau J., Gigou J. (Eds) : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad. 1997/3/17-20. Bamako, Mali. Collection colloques, Montpellier, Cirad-ca : 249-262.
- GIRAUDY F., SCHRADER T., MAIGA A., NIANG M., 1998 - Enquête sur les techniques de maintien du potentiel productif. In : Ratnadass A., Chantereau J., Gigou J. (Eds) : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad. 1997/3/17-20. Bamako, Mali. Collection colloques, Montpellier, Cirad-ca : 265-274.
- HIJKOOP J., Van der POEL P., 1989 - Mali-sud. D'un aménagement anti-érosif des champs à la gestion de l'espace rural. Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands, Bulletin KIT 317, 52p.
- HIJKOOP J., Van der POEL P., KAYA B., 1991 - Une lutte de longue haleine... Aménagements anti-érosifs et gestion de terroir. Coll. Systèmes de production rurale au Mali. Vol 2. IER Bamako/KIT Amsterdam, 154p.
- LAHMAR R., 1998 - Des sols et des hommes. Récits authentiques de gestion de la ressource sol. Paris, Editions Charles Léopold Mayer, 118p.
- MARCHAL J.Y., 1986 - Vingt ans de lutte anti-érosive au Nord du Burkina Faso. Cahiers ORSTOM, Ser. Pédologie, 22 (2), 173-180.
- PEREZ P., 1994 - Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. Thèse. ENSA, Montpellier, 250p.
- Van CAMPEN W. 1991 - The long road to sound land management in southern Mali. In : Savenije H., Huijsman A. (Eds) : Making haste slowly. Strengthening local environmental management in Agricultural development. Amsterdam NL, KIT, Development-Oriented Research in Agriculture, vol 2 : 131-148.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Gigou, J.; Traoré, K. B.; Coulibaly, H.; Waksman, M.; Kouressy, M. - Aménagement en courbes de niveau et rendements des cultures en région Mali sud, pp. 391-404, Bulletin du RESEAU EROSION n° 19, 1999.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)