

# Effet d'un ancien aménagement antiérosif de banquette sur la production d'orge dans la région de Siliana (Tunisie centrale)

\*S. KHLIFI<sup>1</sup>

**RÉSUMÉ - S. Khlifi. Effet d'un ancien aménagement antiérosif de banquette sur la production d'orge dans la région de Siliana (Tunisie centrale).** *Agrosolutions* 19 (2) : 34-44. Depuis plusieurs décennies, de vastes programmes de conservation du sol et des eaux ont été implantés afin de contrecarrer la dynamique érosive, d'augmenter la production agricole et d'améliorer et/ou de maintenir la fertilité des sols dans la région de Siliana (Tunisie centrale). Le présent travail vise l'évaluation de l'impact des banquettes antiérosives sur le rendement de la culture d'orge relativement au développement végétatif et à la production de la matière sèche. Ainsi, au cours de la campagne agricole 2002-2003, exceptionnellement pluvieuse en hiver, un essai a été réalisé au site d'El Mansourah au sud du gouvernorat de Siliana en Tunisie centrale, milieu semi-aride avec environ 320 mm/an et où les banquettes sont largement répandues. Les ouvrages de la zone d'observation, sont totalement emblavés de sorte qu'aucune perte de superficie n'est associée à l'emprise des ouvrages. L'orge implanté au niveau du site correspond à un mélange de variétés communes à paille haute et peu feuillée. Les résultats montrent que la croissance et le développement végétatif des cultures céréalières au niveau de la zone aménagée sont supérieurs à ceux correspondant à la zone de contrôle. La production de matière sèche au niveau de la parcelle aménagée en banquettes est également supérieure à celle de la zone témoin et les rendements les plus élevés sont obtenus au niveau du canal des ouvrages et à l'aval du bourrelet. Après plus de trois décennies de l'aménagement, l'accroissement du rendement attribué à la mise en œuvre des banquettes a été évalué à 33 % à proximité du bourrelet et à près de 10 % en intégrant la superficie de l'ensemble de l'inter-banquette.

**Mots clés :** banquettes, évaluation, impact, production, Tunisie

**ABSTRACT - S. Khlifi. Effect of an old contour ridge bench, erosion control measure, on barley yield at Siliana region (Central Tunisia).** *Agrosolutions* 19 (2): 34-44. For several decades, large programs of soil and water conservation have been established in order to control erosion, to increase agriculture production and to improve and/or maintain soil fertility. This work aims to evaluate the effects of the contour ridge benches on barley yield through its vegetative development and its dry matter production. During the 2002-2003 season, with an exceptionally rainy winter, a trial was carried out at the site of El Mansourah in the south of Siliana governorate located in Central Tunisia. This site is located in lower semi-arid mediterranean climate with 320 mm/year as mean precipitation and where contour ridge benches are largely widespread. These erosion control structures were entirely under cereal production and no loss of area resulted from their implementation. The barley crop grown on the study site, corresponded to a combination of common varieties with long straw and small leaf. Results show that growth and development of barley observed in the plot with contour ridge benches, are improved compared to those observed on the managed-plot. Data also showed that dry matter yield in the bench plot was higher than that measured on the control plot. Highest production was observed in the contour ridge benches channel and on the downstream ridge side. After more than three decades of erosion control, increase in yield as a result of their implementation is estimated at 33 % near the contour ridge benches and nearly 10 % over the entire benched area.

**Keywords:** Contour ridge bench, assessment, impact, yield, Tunisia

1. Département aménagement et équipement, École supérieure des ingénieurs de l'équipement rural, Route du Kef, Km 5, Medjez el Bâb, Tunisie 9070

\*Auteur pour la correspondance : téléphone : +216 97 674 580, télécopie : +216 78 561 700, courriel : slaheddinekhelifi@yahoo.fr

## Introduction

Les aménagements antiérosifs ont concerné essentiellement les zones hautement dégradées présentant de faibles potentialités de production. Le plus souvent, les terres en pente sont aménagées par les travaux de terrassement. Les banquettes sont des levées, ou des ados, en terres disposées selon les courbes de niveau auxquelles sont assignés divers objectifs de lutte antiérosive, de maintien de la fertilité des sols, de mise en valeur agricole, d'accroissement des rendements, etc. (Achouri et Viertman 1984, D/CES 1993, Hizem 1994). Ces ouvrages en courbes de niveau, techniques antiérosives correspondant à un bourrelet en remblai d'un mètre de hauteur, se présentent comme une cascade de rupture de la longueur de la pente accompagnée d'un canal évacuant l'excès de ruissellement. Les banquettes sont parmi les aménagements les plus utilisés au niveau des terres de cultures en conditions semi-arides, surtout des terrains en pente, pour préserver le sol contre l'érosion et dans certains cas pour faire face au déficit pluviométrique chronique. Il s'agit ainsi de réaliser des ouvrages mécaniques de petites hydrauliques au niveau des terres de cultures dans l'objectif de lutter contre l'érosion hydrique et d'améliorer la production des cultures (Hamza 1989). Elles constituent l'aménagement de conservation des eaux et du sol le plus utilisé durant les dernières décennies. Ce type de traitement antiérosif, largement répandu en Tunisie centrale, couvre une superficie de plus de 600 000 ha remontant à différentes dates

de mise en œuvre (Dridi 2000). Ce type de traitement permet la protection des sols contre l'érosion (Aubert 1986, Roose 1991, Herweg et Ludi 1999, Nyssen 1998, Troeh *et al.* 1999). Par le biais de la rétention des eaux de ruissellement, les aménagements de conservation des eaux et du sol sont efficaces dans la protection contre les inondations (Poncet 1970). Sur un autre plan, le traitement en banquettes réduit le taux de ruissellement selon la hauteur et la nature des précipitations (Nasri et coll. 2006). La réalisation des terrasses de cultures améliore l'infiltration en réduisant les vitesses de ruissellement au niveau des canaux d'écoulement des ouvrages (Unger et Jones 1998).

Dans des conditions où les faibles pluviométries ne permettent pas une production agricole conventionnelle, le recours à des systèmes de collecte des eaux de ruissellement est indispensable. En effet, la réalisation de cuvettes individuelles, au niveau de chaque plant « *minicatchment* » d'un volume d'au moins 1 500 l en permet l'installation, la croissance et la production de biomasse dans le cas des plantations de *Callitris*, de *Prosopis*, de *Pinus*, de *Ceratonia* et de *Pistacia* en milieu aride dont la pluviométrie moyenne est de 94 mm (Tenbergen et coll. 1995). En Tunisie, depuis l'adoption de la stratégie nationale de conservation des eaux et du sol par le ministère de l'Agriculture tunisien (D/CES 1993 et DG/ACTA 2 2002), l'amélioration des rendements a été retenue parmi les objectifs des aménagements antiérosifs (Hizem 1994). Il s'agit de l'avantage le

plus important pour les paysans bénéficiaires des interventions des pouvoirs publics. À notre connaissance, l'étude et l'expérimentation de l'effet des ouvrages de conservation des eaux et du sol en Tunisie sont insuffisantes comparativement aux divers programmes de mise en œuvre à grande échelle de ces aménagements.

Des travaux de recherche antérieurs montrent que les actions de conservation des eaux et du sol permettent l'amélioration de la production agricole même dans les conditions de pluviométrie élevée. En effet, l'aménagement par des cordons en pierres sèches permet d'accroître la production des céréales aussi bien à l'amont des ouvrages que sur l'ensemble du versant dans la région de Tigray, au nord de l'Éthiopie (Gebremedhim et coll. 1999). Ces auteurs rapportent une augmentation de 100 % de la production à l'amont des cordons en pierres sèches par rapport au témoin, et ce, en tenant compte des pertes des superficies labourables correspondant à l'emprise de l'aménagement. Selon ces mêmes auteurs, la différence entre les avantages en termes de rendement dépasse ceux de notre expérimentation et pourrait être attribuée à l'aménagement technique lui-même (des cordons pierreux par rapport des banquettes) en plus des conditions de milieu (pluviométrie, conduite culturale, sols...). Par ailleurs, en conditions de sols dégradés, d'érosion intense, du faible niveau technique des paysans manquant de moyens financiers et du surpâturage des résidus des cultures dans la même région d'Éthiopie, l'évaluation de l'impact des terrasses de cultures sur l'accroissement du rendement varie de 8 à 16 % selon les cultures (Vancampenhout et coll. 2006). Hussein et coll. (1999) ont également montré que les productions de maïs et de soja sont améliorées en ayant recours à la culture sans labour (*no Till*) comparativement au système de labour conventionnel pour des densités de cultures moins importantes.

L'évaluation de l'impact de ces ouvrages sur les composantes du rendement des céréales nous semble peu étudiée en milieu semi-aride tunisien. Le présent travail se propose de répondre aux deux interrogations suivantes : la croissance et le rendement des céréales sont-ils améliorés par l'aménagement en banquettes? Cette amélioration

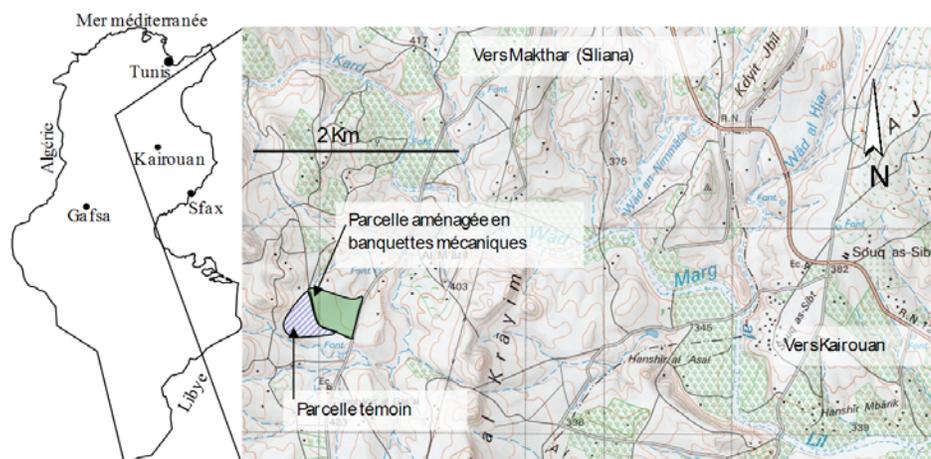


Figure 1. Localisation du périmètre d'El Mansourah du gouvernorat de Siliana (extrait à partir de la carte d'État major de Haffouz à l'échelle 1 : 50 000, nouvelle édition).

**Tableau 1. Caractérisation des deux banquettes du site d'El Mansourah (région de Siliana).**

Identification	Pente du terrain naturel (%)	Écartement (m)		Pente longitudinale (%)	Hauteur moyenne du bourrelet (m)
		Calculé selon Bugeat	Mesuré		
Banquette 1	2,8	86	90	0,05	0,08
Banquette 2	2,2	108	120	0,08	0,09

varie-t-elle selon l'emplacement par rapport à l'ouvrage? Ainsi, notre objectif est de contribuer à quantifier l'impact des banquettes, largement répandues en Tunisie centrale, sur les composantes de rendement de l'orge, culture céréalière souvent pratiquée par les exploitants de la région en milieu semi-aride.

## Matériel et méthodes

### Site de l'étude

La présente expérimentation a concerné une exploitation agricole localisée dans la zone d'El Mansourah au sud du gouvernorat de Siliana en milieu semi-aride inférieur (figure 1). Les observations présentées concernent la campagne agricole 2002-2003 avec des précipitations relativement abondantes. Il s'agit d'une saison agricole exceptionnellement humide durant la période hivernale bien que les précipitations aient été tardives. Pour atteindre l'objectif de quantification de l'impact des aménagements en banquettes sur le rendement, un dispositif expérimental sur l'évaluation des indicateurs de croissance et de production a été mis en œuvre à travers l'interbanquette au niveau d'un site ayant

bénéficié de l'implantation de banquettes depuis près de 35 ans. Le site d'El Mansourah a été aménagé en banquettes mécaniques en 1967, dans le cadre de l'aménagement du bassin versant de l'oued Marguellil afin de protéger contre les inondations la ville de Kairouan, en Tunisie centrale, située à environ 60 km à l'aval et pour résorber le chômage dans la région. Comme pour l'ensemble de cette région naturelle, le site est couvert de cultures céréalières de subsistance, le blé et surtout l'orge implantés sur des sols sablo-limoneux.

Les banquettes sont du type à rétention partielle, et ce, malgré l'absence d'exutoire le long des ouvrages. Toutefois, la pente longitudinale permet d'évacuer l'excès de ruissellement vers les voies d'eau limitrophes. L'écartement varie de 90 à 120 m pour une pente moyenne de 2,5 % (tableau 1). Les ouvrages paraissent complètement amortis et sont régulièrement labourés par les propriétaires, pour l'ensemble de la région. En effet, les banquettes se présentent actuellement comme des ados dont la hauteur ne dépasse pas 10 cm, pour une élévation initiale la plus souvent supérieure au mètre. Par endroits, des ruptures sont visibles et aucun travail d'entretien ou de sauvegarde n'a été apporté à ces ouvrages.

À proximité du périmètre aménagé, une parcelle témoin ne présentant aucun traitement antiérosif a été identifiée afin de valider les mesures. Lors de l'identification de la zone témoin, on a veillé à respecter la valeur de la pente du terrain naturel et la nature du sol. Il s'agit du même type de culture installée à la même période et appartenant au même propriétaire.

La pluviométrie moyenne à la station du barrage Lakhmes, localisée à près de 30 km au nord du périmètre d'El Mansourah, est de 380 mm/an (tableau 2). Celle de l'année 2002-2003, au niveau de la station El Gueria, localisée à moins de 5 km du site de mesure, est de 505 mm, dépassant de près du tiers la moyenne annuelle. En plus, les enregistrements mensuels montrent une forte variabilité. En effet, durant le mois d'octobre 2002, aucune précipitation n'a été enregistrée. Également, les enregistrements montrent des précipitations mensuelles plus faibles que les moyennes pour les mois de décembre (2002), de mars et de mai (2003). Le bilan hydrique est déficitaire durant tous les mois, à l'exception des mois de novembre (2002) et de janvier (2003), se traduisant par un déficit de plus de 1 000 mm/an. Ces précipitations déficitaires ont été compensées par des précipitations diluviennes au mois de janvier 2003, dépassant quatre fois la pluviométrie de ce mois, avec près de 176 mm et dans une moindre mesure par celle du mois de février 2003, avec 55 mm. Cette répartition de la pluviométrie, durant la campagne de mesure, n'est pas sans conséquence sur le développement de la végétation.

**Tableau 2. Pluviométrie moyenne mensuelle au niveau de la station de barrage Lakhmas et précipitation exceptionnelle de l'hiver 2002-2003 au niveau de la station de Gueria.**

Mois	Unité	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
<sup>1</sup> P moyenne	mm	32	41	47	34	38	33	61	38	30	12	2	13	380
	% <sup>3</sup>	8,4	10,8	12,4	8,9	10,0	8,7	16,1	10,0	7,9	3,2	0,5	3,4	100,0
<sup>2</sup> P 2002-2003	mm	36	0	65	12	176	55	18	82	9	26	27	0	505
	% <sup>4</sup>	112,5	0,0	138,3	35,3	463,2	166,7	29,5	215,8	30,0	216,7	1350,0	0,0	132,9
<sup>5</sup> E 2002-2003	mm	152,5	96,0	54,5	38,0	31,5	65,5	76,5	112,0	185,5	211,0	257,5	2	505
<b>Bilan 2002-2003</b>	mm	-116,5	-96	10,5	-26	144,5	-10,5	-58,5	-30	-176,5	-185	-230,5	-247,5	-1023,0

Source :

1. Annales pluviométriques de la Tunisie (1985-1995), DG/RE (MARH)
3. Calculé par rapport à la pluviométrie moyenne annuelle
5. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 2002-2003

2. Annuaire pluviométrique de la Tunisie, année 2002-2003-DG/RE (MARH), page 31
4. Calculé par rapport à la pluviométrie moyenne mensuelle

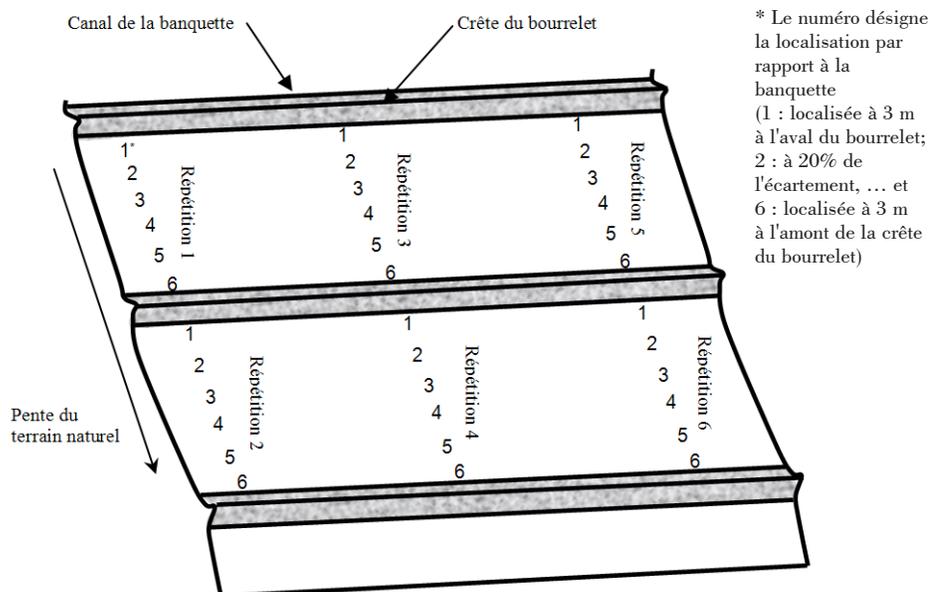


Figure 2. Localisation des placettes d'observation, en trois séries, par rapport aux banquettes dans le site d'El Mansourah à Siliana.

### Dispositif d'observation et indicateurs utilisés

Pour la culture de l'orge, la préparation du sol, du ressort du paysan comme pour l'ensemble du système cultural, consiste en un labour profond suivi de deux passages croisés. Le semis à la volée et dont la période dépend des précipitations, a eu lieu au mois de novembre 2002 pour la saison concernée par la présente étude. Aucun apport de fumier, ni d'engrais n'a pas été pratiqué (selon les propos du propriétaire). Le propriétaire n'adopte aucun assolement et les cultures se présentent comme une succession de céréales; blé/orge lors des saisons à précipitations excédentaires ou orge/orge lors des années à pluviométries déficitaires. Le dispositif de mesure est

formé par deux interbanquettes consécutives correspondant à la partie médiane du périmètre aménagé (Khlifi 2007). Des placettes de 1 m<sup>2</sup> (Dercon et coll. 2003a, Vancampenhout et coll. 2006), en trois séries parallèles le long de la plus grande pente du terrain naturel, ont été utilisées pour la quantification des composantes du rendement (figure 2). Le dispositif d'observation correspond à 12 placettes par série d'observations (ou transect), soit au total 36 unités d'observation. Malgré que la partie centrale de l'interbanquette représente la situation de référence avant l'implantation des ouvrages (Dercon et coll. 2003a, Dercon et coll. 2006, Vancampenhout et coll. 2006), le dispositif d'observation a été complété par six placettes, également échantillonnées de façon aléatoire, au niveau de la zone témoin qui est localisée à

proximité de la zone aménagée et appartenant au même paysan. Au niveau de l'interbanquette de la zone aménagée, les placettes ont été disposées au niveau du canal de la banquette (à 3 m en amont de la crête du bourrelet), à l'aval de la banquette (à 3 m à l'aval de la crête du bourrelet), à une distance égale à 20, 40, 60 et 80 % de l'écartement interbanquette, soit six placettes par interbanquette (tableau 3). Les séries de placettes ont été disposées de façon aléatoire, tout en évitant les dépressions et les crêtes à l'intérieur de la parcelle.

Le faible nombre de répétitions trouve sa justification dans la variation de la topographie, la nature du sol et les pratiques culturales des propriétaires. En effet, on a veillé à ce que tous les échantillons soient rapprochés (les deux parcelles sont disposées de part et d'autre d'une piste) et relèvent du même propriétaire pour la même culture. On a opté au recours à un seul exploitant malgré les difficultés que l'expérimentation soit peu représentative du fonctionnement du système. Ce dispositif permettrait toutefois d'éviter des biais relatifs aux pratiques paysannes qui risquent d'interférer avec l'effet des banquettes, et par conséquent de masquer l'impact des ouvrages antiérosifs. Pour quantifier l'impact des banquettes mécaniques sur le rendement de la culture d'orge, on a eu recours à l'utilisation des indicateurs de croissance et de développement végétatif d'une part, et à ceux relatifs à la production de la matière sèche et de grains d'autre part. Le nombre de talles par plant, le nombre d'épis par pied et la hauteur des talles à l'épiaison constituent les paramètres permettant d'apprécier le développement végétatif des céréales. Ces mesures ont été effectuées à la fin du mois d'avril, à la fin de la période de croissance et au début de la maturité des graines. À ce stade, la densité de la culture a été déterminée. La production totale de matière sèche, le rendement en paille, le rendement en grains, le poids par épi, le poids de mille grains et le nombre de grains par épi ont été utilisés pour quantifier la production. L'évaluation de ces paramètres a eu lieu au cours de la troisième semaine du mois de juin, correspondant à la période de moisson de l'orge dans la région.

Tableau 3. Description des traitements d'évaluation de l'impact d'un ancien aménagement en banquettes du site d'El Mansourah sur le rendement de la culture de l'orge.

Désignation	Localisation
Canal	3 m en amont du bourrelet dans la parcelle aménagée en banquettes
Aval bourrelet	3 m en aval du bourrelet dans la parcelle aménagée en banquettes
20 % E	20 % de la distance interbanquette
40 % E	40 % de la distance interbanquette
60 % E	60 % de la distance interbanquette
80 % E	80 % de la distance interbanquette
Témoin	Parcelle non aménagée

**Tableau 4. Analyse de la variance : effet de l'emplacement par rapport au bourrelet sur le développement végétatif de la culture de l'orge d'un ancien aménagement en banquettes au niveau du site d'El Mansourah**

Variable	Source de variation	DL	SC	MC	F	$\alpha$	R <sup>2</sup>	CV
Densité	Modèle	11	6165,236	560,476	1,66	0,1841	0,347	23,4
	Localisation	6	2722,619	453,770	1,35	0,2678		
	Répétition	5	3442,617	488,524	1,45	0,1953		
	Erreur	30	10107,381	336,913				
Nombre de talles	Modèle	11	11,573	1,052	3,98	0,0013	0,593	14,9
	Localisation	6	9,236	1,539	5,82	0,0004		
	Répétition	5	2,337	0,467	1,77	0,1501		
	Erreur	30	7,937	0,265				
Nombre d'épi	Modèle	11	10,813	0,983	4,261	0,0005	0,63	16,7
	Localisation	6	8,679	1,447	6,27	0,0002		
	Répétition	5	2,134	0,427	1,85	0,1038		
	Erreur	30	6,920	0,231				
Hauteur de talle	Modèle	11	2558,218	232,565	1,86	0,0871	0,405	14,7
	Localisation	6	2149,742	358,290	2,87	0,025		
	Répétition	5	408,476	81,695	0,65	0,661		
	Erreur	30	3749,458	124,982				

DL : degrés de liberté  
R<sup>2</sup> : coefficient de détermination  
F : valeur de F calculée

$\alpha$  : seuil de probabilité  
MC : moyenne des carrés des écarts

SC : somme des carrés des écarts  
CV : coefficient de variation

On s'est inspiré du protocole de mesure adopté pour l'évaluation de l'impact des terrasses sur le rendement des céréales (Dercon et coll. 2003b, Vancampenhout et coll. 2006). Ainsi, le relevé des observations concerne 20 plants par échantillon ou placette pour évaluer les données de la croissance végétative. Au moment de la récolte, on a procédé à la coupe de la partie aérienne à 5 cm de la surface du sol de la totalité de la placette pour évaluer les paramètres de la production. Ainsi, le poids total de la matière sèche au niveau de la placette a été déterminé. Cette étape a été suivie par le battage et l'évaluation du poids des grains. Pour évaluer le nombre de grains par épi et leur poids, 20 épis ont été considérés de façon aléatoire à l'intérieur de chaque placette. Ces observations ont par ailleurs été utilisées pour déterminer le poids spécifique de mille grains, le nombre de grains par épi et le poids des grains par épi.

## Analyses statistiques

Étant donné que l'aménagement est antérieur au présent essai, le dispositif d'observation adopté pour l'expérimentation a été considéré en blocs; les répétitions sont assimilées à des blocs. Ainsi, après avoir effectué les diverses mesures, l'analyse de la variance a été réalisée en faisant recours

à la procédure GLM (General Linear Models Procedure) à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary NC USA) pour tous les paramètres. La procédure GLM, pour les variables où le test de F est significatif, a été suivie par une comparaison multiple des moyennes en ayant recours au test de Student-Newman-Keuls, afin de déceler des différences significatives au seuil de 5 %.

## Résultats

### Croissance et développement végétatif

#### Densité de la culture

Les analyses statistiques montrent que la variation de la densité de la culture d'orge ne dépend pas de l'emplacement par rapport à la banquette (tableau 4). Ce paramètre varie de 86 plants/m<sup>2</sup> à plus de 110 plants/m<sup>2</sup> respectivement, à près de 20 m et de 60 m en amont du bourrelet. En outre, aucune différence significative n'a été observée entre la densité de la culture dans l'interbanquette et celle de la zone témoin (figure 3A). Étant donné que le semis est à la volée, le coefficient de variation apparaît relativement élevé. Par conséquent, l'emplacement par rapport aux ouvrages semble

ne pas avoir d'incidence sur ce paramètre et semble justifier que l'exploitant agricole ne prenne pas en considération la présence des banquettes dans les activités culturales.

#### Nombre de talles

À long terme, l'aménagement en banquettes affecte de façon significative la croissance et le développement végétatif de la culture de l'orge. Le nombre de talles varie selon l'emplacement par rapport aux ouvrages (figure 3B). Le nombre de talles, par pied de la culture d'orge, observé au niveau du canal de la banquette est le plus élevé avec près de 4,2 talles/plant alors que celui observé au niveau de la zone témoin est de 2,8 talles/plant. En effet, l'évaluation du nombre de talles montre que les plants localisés au niveau du canal dépassent ceux de la zone témoin de près de 30 %. Les données montrent aussi que le nombre de talles par plant diminue en s'éloignant du canal des banquettes. Sur l'ensemble de l'interbanquette, l'accroissement du nombre de talles par plant de la culture d'orge est supérieur de 5 % en comparaison avec celui de la zone non aménagée. Cette augmentation est néanmoins non significative.

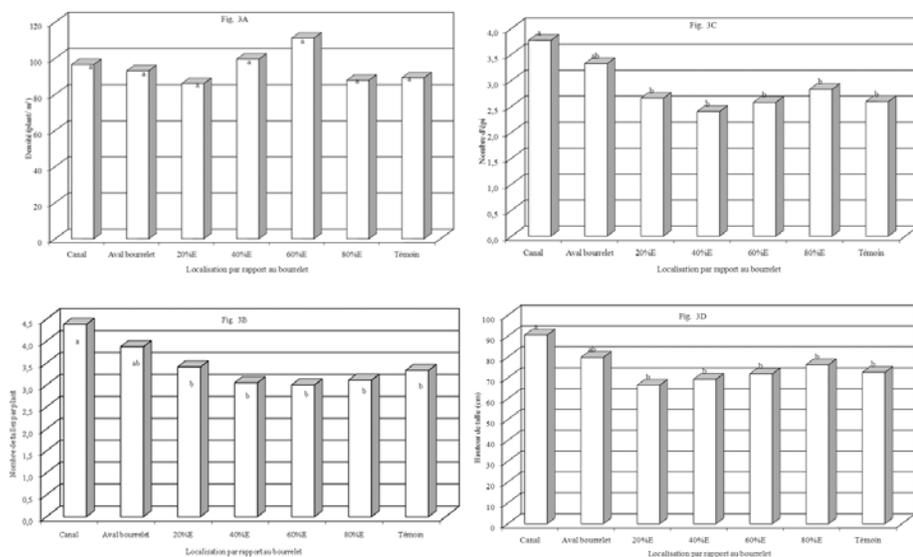


Figure 3. Variation de la densité de la culture en plants/m<sup>2</sup> (Fig. 3A), du nombre de talles par plant (Fig. 3B), du nombre d'épis par plant (Fig. 3C) et hauteur des talles à l'épiaison en cm (Fig. 3D) selon l'emplacement par rapport aux banquettes.

N.B. Chaque valeur représente la moyenne de six observations. Les valeurs affectées par la même lettre ne sont pas significativement différentes pour  $\alpha \leq 0,05$  selon le test de Student-Newman-Keuls.

### Nombre d'épis

La proportion du nombre d'épis par rapport au nombre de talles demeure constante indépendamment de la position par rapport aux ouvrages et est évaluée à près de 80 %. Comme pour les talles, le nombre d'épis par plant le plus élevé, soit de l'ordre de 3,8 épis/plant, est observé au niveau des plants situés dans le canal suivi par ceux développés en aval du bourrelet (figure 3C). Le nombre d'épis par plant au niveau du reste de l'interbanquette, avec près de 2,6 épis/plant, n'est pas significativement différent de celui observé au niveau de la zone témoin, soit 2,4 épis/plant. Ainsi, les différences significatives n'ont été décelées qu'à proximité de l'ouvrage. En somme, les données montrent un accroissement du nombre d'épis par plant de l'ordre de 50 % en comparant les plants situés à proximité

du canal par rapport à ceux de la zone témoin. Ce gain n'est que de 13 % à travers l'ensemble de la zone aménagée comparée au témoin.

### Hauteur à l'épiaison

La hauteur des talles à l'épiaison, considérée comme indicateur de la bonne vigueur des cultures céréalières, présente des différences significatives selon la localisation par rapport aux ouvrages (figure 4). La hauteur à l'épiaison la plus élevée est observée chez les plantes situées au niveau du canal de la banquette avec 91 cm (figure 3D). La hauteur des talles au niveau de la parcelle témoin est de l'ordre de 73 cm, soit l'équivalent de ce qui a été mesuré au niveau de la partie médiane de l'interbanquette. Ainsi, l'aménagement se traduit par un gain en développement végétatif de



Figure 4. Vigueur de la culture de l'orge à la récolte au milieu de l'interbanquette (gauche) et dans le canal (droite) au site d'El Mansourah.

l'orge de l'ordre de 25 % au niveau du canal et près de 10 % à l'aval du bourrelet. Toutefois, en examinant la hauteur des talles, on note l'absence de différence significative entre les plantes situées à l'aval du bourrelet et celles qui se localisent à 80 % à l'aval des banquettes.

### Production de la matière sèche

L'analyse de la variance montre des différences significatives au niveau de la localisation par rapport aux ouvrages en termes de production de matière sèche et de poids par épi pour la culture de l'orge (tableau 5). L'examen du reste des indicateurs du rendement de cette culture, soit l'indice de récolte, le nombre de grains par épi et le poids spécifique, ne révèle aucune différence significative. Sur un autre plan, on note des coefficients de variation de plus de 25 %, indiquant une forte variabilité pour les deux derniers paramètres et ne permettant pas d'apprécier l'impact des banquettes. L'augmentation du nombre de répétitions permettrait de mieux dégager de tels effets.

### Rendement en matière sèche

Les quantités totales de matière sèche les plus élevées, avec près de 823 et 808 g/m<sup>2</sup> (8,23 et 8,08 t/ha), sont observées pour les plantes cultivées, respectivement au niveau du canal de la banquette et à l'aval du bourrelet (figure 5A). Elles sont significativement différentes de celles observées au niveau du témoin et de l'interbanquette variant entre 670 et 546 g/m<sup>2</sup> (6,7 et 5,46 t/ha). Ainsi, l'augmentation de la production en matière sèche en aval du bourrelet et au niveau du canal est de l'ordre du tiers comparée à celle de l'interbanquette et celle de la zone témoin. À travers l'ensemble de la zone aménagée, l'accroissement de la production en matière sèche de la culture de l'orge est de 12 % comparé au témoin. On remarque, une légère réduction, non significative, de la production en matière sèche au niveau de la zone localisée à 20 % de l'écartement interbanquette à l'amont du bourrelet comparée à celle située en aval du bourrelet.

Les rendements en grains (figure 5B) et en paille (figure 5C) présentent des différences significatives selon la localisation par rapport aux banquettes. Les données ne montrent pas de différence significative

**Tableau 5. Analyse de la variance : effet de l'emplacement par rapport au bourrelet sur la production de la matière sèche de la culture de l'orge d'un ancien aménagement en banquettes au niveau du site d'El Mansourah**

Variable	Source de variation	DL	SC	MC	F	$\alpha$	R <sup>2</sup>	CV
Poids total	Modèle	11	436467,03	39678,82	3,04	0,0076	0,527	17,1
	Localisation	6	419008,82	69834,80	5,36	0,0007		
	Répétition	5	17458,21	3491,64	0,27	0,9271		
	Erreur	30	391102,16	13036,74				
Poids des grains	Modèle	11	63739,14	5794,47	2,77	0,0132	0,504	19,7
	Localisation	6	53490,33	8915,06	4,26	0,0032		
	Répétition	5	10248,81	2049,76	0,98	0,4462		
	Erreur	30	62767,16	2092,24				
Poids de la paille	Modèle	11	173640,12	15785,47	2,42	0,0269	0,470	20,8
	Localisation	6	166567,29	27761,22	4,26	0,0032		
	Répétition	5	7072,82	1414,57	0,22	0,9525		
	Erreur	30	195490,61	6516,35				
Indice de récolte	Modèle	11	0,01601	0,00146	1,56	0,161	0,164	8,1
	Localisation	6	0,00127	0,00021	0,23	0,9643		
	Répétition	5	0,01473	0,00295	3,17	0,0206		
	Erreur	30	0,02792	0,00093				
Poids de l'épi	Modèle	11	6,076	0,552	11,71	<,0001	0,811	5,4
	Localisation	6	5,775	0,963	20,41	<,0001		
	Répétition	5	0,300	0,060	1,27	0,3015		
	Erreur	30	1,415	0,047				
Nombre de grains/épi	Modèle	11	330,70	30,06	1,72	0,116	0,187	25,9
	Localisation	6	65,80	10,97	0,63	0,7062		
	Répétition	5	264,90	52,98	3,04	0,0247		
	Erreur	30	523,49	17,45				
Poids spécifique	Modèle	11	88989,17	8089,92	2,27	0,0372	0,454	27,4
	Localisation	6	40830,71	6805,12	1,91	0,1123		
	Répétition	5	48158,46	9631,69	2,7	0,0396		
	Erreur	30	107063,52	3568,78				

DL : degrés de liberté

R<sup>2</sup> : coefficient de détermination

F : valeur de F calculée

 $\alpha$  : seuil de probabilité

MC : moyenne des carrés des écarts

SC : somme des carrés des écarts

CV : coefficient de variation

entre les plants cultivés dans le canal de la banquette, ceux à l'aval du bourrelet ainsi que ceux à une distance de l'ordre de 20 % de l'interbanquette à l'aval du bourrelet (80 % de l'écartement) pour ces deux paramètres, avec respectivement 2,85, 2,81 et 2,36 t/ha pour la production en grains, et 4,9, 4,8 et 3,8 t/ha pour la production de la paille. Les rendements les plus faibles sont observés pour les plants situés à une distance de plus de 20 % et de moins de 40 % de l'écartement avec respectivement 1,85 et 2,03 t/ha pour le rendement en grains, et 3,1 et 3,6 t/ha pour le rendement en paille. Au niveau de la parcelle témoin, les rendements de la culture de l'orge sont de 2,1 t/ha pour les grains et 3,6 t/ha pour la paille. Les résultats de la présente expérimentation montrent des gains de production de l'ordre de 33 % à proximité de l'ouvrage comparativement à la parcelle témoin et de l'ordre de 10 % pour l'ensemble de l'interbanquette

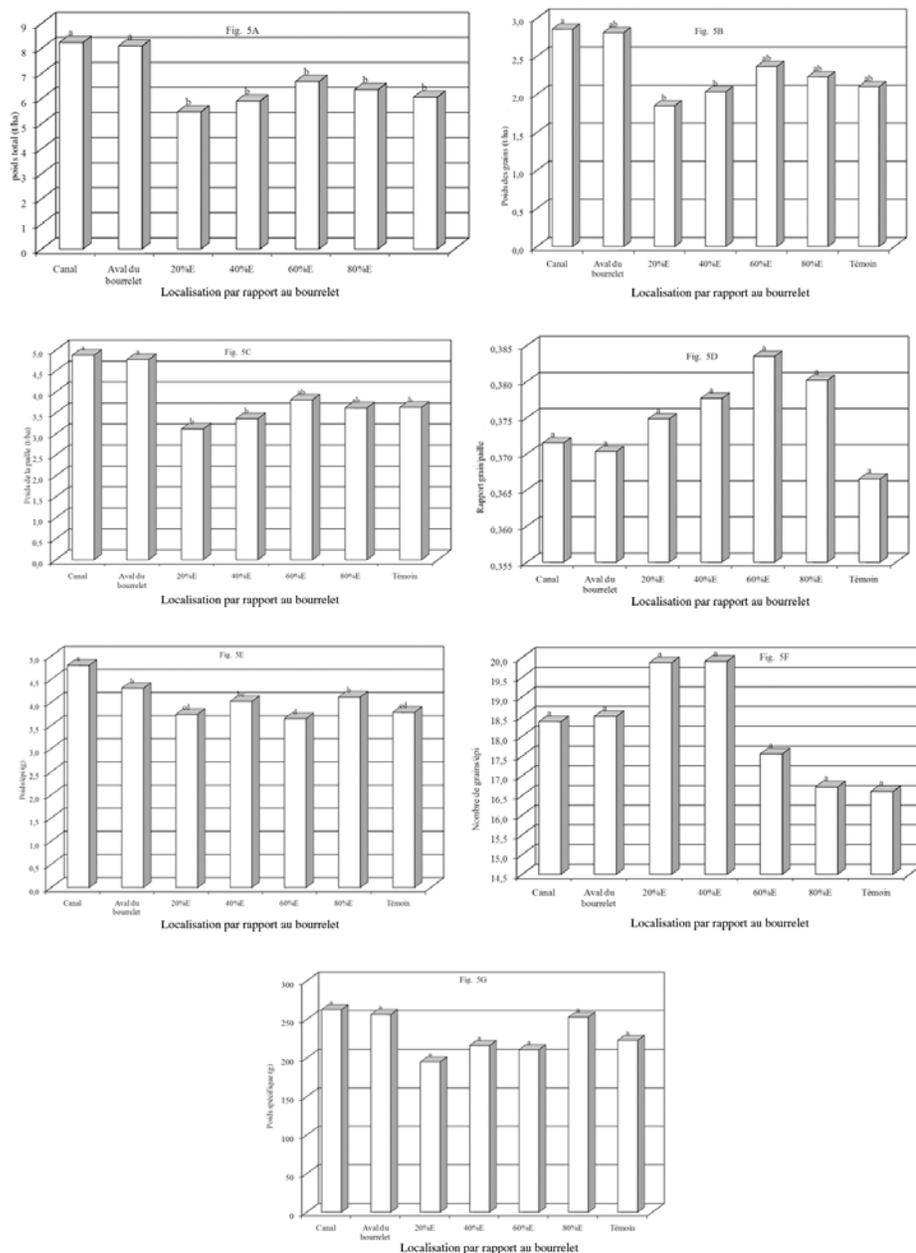
de la zone aménagée par rapport au témoin. L'indice de récolte, exprimé par le pourcentage du rendement en grains par rapport à celui en paille, est homogène au niveau de l'interbanquette et ne présente aucune différence significative avec celui du témoin (figure 5D). La proportion du poids des grains par rapport au total de la matière sèche est de l'ordre de 35 %.

### Taille des épis

Le rendement a également été apprécié à travers l'évaluation de la taille des épis, le nombre de grains par épi et le poids spécifique de mille grains de la culture d'orge. Les analyses statistiques montrent des différences significatives en termes de poids de l'épi et ne révèlent pas de différence significative pour les deux derniers paramètres pour la culture de l'orge au niveau de la zone aménagée et la parcelle témoin (tableau 5). Le poids par épi le plus

élevé de toute la zone d'observation est obtenu au niveau des plants situés à proximité du canal avec 4,8 g/épi, alors que ce paramètre au niveau des plants localisés dans la zone non aménagée est de 3,8 g/épi (figure 5E), soit un accroissement de 27 %. Les analyses statistiques montrent des différences significatives entre les plants situés à l'aval du bourrelet et ceux correspondant au reste de l'interbanquette en termes de taille des épis. Les épis ayant le plus faible poids sont observés au niveau des plants installés au tiers aval de l'écartement (entre 20 et 40 % de l'écartement en amont du bourrelet). À travers l'ensemble de l'interbanquette de la zone aménagée, l'accroissement de la taille des épis est de 8 % comparé au témoin.

Le nombre de grains par épi le plus faible est observé au niveau des plants installés à une distance de 80 % de l'écartement en amont du bourrelet avec 17 grains/épi et



**Figure 5.** Variation des composantes du rendement de la culture de l'orge selon la position par rapport au bourrelet des ouvrages par unité de surface : Matière sèche totale (Fig. 5A), rendement en grains (Fig. 5B), rendement en paille (Fig. 5C), ratio grains/paille (Fig. 5D), rendement par épi (Fig. 5E), nombre de grains par épi (Fig. 5F) et poids spécifique de 1000 grains (Fig. 5G).

N.B. Chaque valeur représente la moyenne de six observations. Les valeurs affectées par la même lettre ne sont pas significativement différentes pour  $\alpha \leq 0,05$  selon le test de Student-Newman-Keuls.

ceux de la zone témoin (figure 5F), alors que le nombre de grains le plus élevé est observé au niveau des plants localisés à une distance de 20 à 40 % de l'écartement en amont du bourrelet avec 22 grains/épi. Il s'agit de différences non significatives et présentant une forte variabilité relative, tel qu'indiqué par un coefficient de variation de 26 %.

### Poids spécifique

Le poids spécifique de mille grains indique la qualité des graines. Les données ne montrent pas de différence significative pour ce paramètre au niveau de la culture de l'orge à travers l'ensemble de l'interbanquette et celle située dans la zone témoin (figure 5G). Le poids spécifique varie de 210 g, poids le plus faible, pour les plants localisés à 20 % de l'écartement à l'amont

du bourrelet, à 260 g, poids spécifique le plus élevé, pour ceux implantés au niveau du canal de la banquette. Il importe de souligner la variabilité importante de ce paramètre.

## Discussion

Les données relatives à l'impact d'un ancien aménagement en banquettes sur la croissance et le rendement de la culture de l'orge dans un environnement semi-aride montrent que la mise en œuvre des ouvrages antiérosifs se traduit par un accroissement du développement végétatif indiqué par un meilleur tallage et une hauteur plus élevée de la culture examinée du côté amont et du côté aval des bourrelets des banquettes. Également, les composantes du rendement révèlent des effets bénéfiques liés à l'emplacement par rapport aux banquettes. Les impacts positifs des banquettes sur la production des céréales pourront être attribués à leur effet sur le bilan hydrique (Mechergui 2000, Nasri 2002) et aux incidences des ouvrages sur le contrôle de l'érosion (Aubert 1986, Troeh et coll. 1999). Aussi, l'accumulation des sédiments au niveau des canaux des banquettes contribue à l'amélioration des rendements se traduisant par des sols de plus en plus profonds; ceci confirme les observations de terrain indiquant que la réponse des cultures est la meilleure dans la zone d'accumulation de sédiments résultant de la confection des cordons pierreux (Vancampenhout et coll. 2006) ou de banquettes en Tunisie centrale (Khlifi 2007).

La création d'une oasis linéaire le long de bourrelets, réalisation menée dans le cadre d'aménagements en banquettes de périmètres dans les gouvernorats de Kairouan, Zaghouan et Siliana en Tunisie centrale, a identifié les secteurs où la sécurité de production est assurée même lors de saisons à pluviométrie déficitaire. De telles pratiques permettent même d'accroître la production sur près de 30 % de la parcelle aménagée (Roose 2002). La réalisation d'un réseau de banquettes dans le bassin versant El Gouazine (Kairouan) a permis la mobilisation des eaux de ruissellement évaluées à 20 mm (Nasri et coll. 2006). Roose (2002) a alloué l'amélioration du rendement de l'olivier et la création d'une oasis linéaire

au ruissellement ayant lieu à partir de l'espace interbanquette, soit 25 % des précipitations annuelles, et qui vont être restitués à l'espace se trouvant à proximité du fossé des ouvrages.

L'évaluation de différentes techniques de conservation du sol réalisées dans les terrains en pente en Tanzanie (bandes enherbées, terrasses de cultures, techniques traditionnelles antiérosives en comparaison de parcelles témoins) montre que les meilleurs rendements sont obtenus en adoptant les terrasses pour la culture de maïs et en utilisant les méthodes traditionnelles pour la culture de haricots (Tenge et coll. 2005). Le recours aux haies vives isohypses, dans la région des Andes en Équateur, se traduit par une amélioration du rendement de la culture du blé variant de 9 à 29 % selon la position par rapport à ces structures antiérosives (Dercon et coll. 2003b, Dercon et coll. 2006). L'ensemble de ces travaux démontre hors de tout doute l'effet positif des aménagements antiérosifs sur le rendement des cultures. Néanmoins, la variabilité spatiale et l'importance des accroissements enregistrés sont fortement influencées par la technique utilisée.

L'utilisation des terrasses de cultures, et d'une façon générale des traitements antiérosifs, se traduit par l'amélioration du revenu des exploitants agricoles même en année à pluviométrie déficitaire (Holmberg 1990, Carrasco et Witter 1993, Hanrahan et MacDowell 1997). En considérant leurs coûts de réalisation, l'utilisation des techniques antiérosives permet un accroissement net de 20 % du revenu agricole des paysans en Tanzanie dans le cas de la construction des terrasses et d'environ 6 % dans le cas d'adoption des bandes enherbées (Tenge et coll. 2005). Par ailleurs, Countryman et Murrow (2000) ont mis en évidence les avantages économiques du revenu agricole en fonction de l'utilisation des techniques antiérosives adoptées par les exploitants agricoles. Ces auteurs ont trouvé que la valorisation préférable des terres marginales devrait se faire à partir de plantations de chênes ou de noyers dont les usages sont multiples. Pour les sols présentant un meilleur potentiel de production, leur mise en valeur pourrait être assurée à partir de bandes enherbées disposées selon les courbes de niveau ou encore en faisant intervenir des rotations et/ou des assolements antiérosifs.

L'absence de différence significative au niveau de l'ensemble des paramètres relatifs au rendement de l'orge, entre la culture installée au milieu de l'interbanquette et celle correspondant à la zone témoin, peut être attribuée à un écartement excessif de plus de 30 % par rapport aux prescriptions de ce type d'aménagement d'une part, et au manque de travaux d'entretien et de sauvegarde nécessaires à la pérennité des banquettes d'autre part. Avec ces valeurs de l'écartement des banquettes, comme dans le cas des terrasses de cultures, en plus du déplacement du sol résultant du labour, l'érosion dans l'interouvrage serait similaire à une parcelle non aménagée (Turklboom et coll. 1999, Dercon et coll. 2003a, Vancampenhout et coll. 2006). Par ailleurs, le rendement des cultures correspondant à la zone médiane de l'interbanquette est considéré similaire à celui de la zone témoin étant donné que l'érosion en nappe reste active à cause de l'écartement élevé et que l'érosion aratoire est non négligeable. Également, la hauteur des précipitations de la campagne agricole 2002-2003, à pluviométrie relativement excédentaire, a contribué à masquer en partie l'impact des ouvrages à travers l'ensemble de l'interbanquette. Par ailleurs, d'autres travaux ont montré que les conditions climatiques affectent l'effet des systèmes de labour sur le rendement des cultures. En effet, l'accroissement de la production de la culture du maïs durant les années à pluviométrie déficitaire est plus important que celui observé au cours des saisons à pluviométrie plus abondante (Eckert 1984).

L'étude menée sur la spatialisation de l'effet des terrasses de cultures (Dercon et coll. 2003b, Vancampenhout et coll. 2006) et des haies vives (Dercon et coll. 2006) montre qu'il n'y a aucune différence significative entre la zone médiane de l'interouvrage et la parcelle non aménagée (témoin) pour les composantes du rendement des céréales. La possibilité que la parcelle témoin de notre travail soit initialement différente de celle traitée a été écartée du fait que le niveau du rendement obtenu en milieu de l'interbanquette est similaire à celui observé pour la parcelle témoin, garantissant ainsi son authenticité (de la parcelle témoin) et indiquant que les sols étaient probablement comparables au moment où l'aménagement a été réalisé.

L'absence de différence significative au niveau du nombre de grains par épi et du poids spécifique des grains selon la localisation par rapport aux ouvrages pourra être attribuée aux précipitations relativement abondantes durant la campagne 2002-2003 et à la variété de culture de l'orge adoptée par le propriétaire, à faible potentialité de production, mais adaptée aux conditions du milieu. Avec l'application d'une fertilisation adéquate, il est possible que l'impact des banquettes sur les composantes du rendement puisse mieux s'exprimer. Finalement, le bourrelet des banquettes occupe des espaces non cultivables avec des pertes de superficies labourables de 5 à 15 % (Roose 2002), qui risquent de compromettre les effets positifs recherchés par l'aménagement. Au niveau du site El Mansourah (Siliana), toute la parcelle est cultivée, y compris le bourrelet ressemblant à des ados peu élevés, et par conséquent la perte de la superficie due à l'aménagement n'est pas considérée.

## Conclusion

Les données montrent la variabilité spatiale de l'impact des banquettes antiérosives sur la culture de l'orge. En effet, l'aménagement en banquettes se traduit par un meilleur développement végétatif de la culture de l'orge en milieu semi-aride au niveau de la zone située à l'amont du canal et celle correspondant à l'aval du bourrelet dans le périmètre ayant bénéficié d'un ancien traitement antiérosif du type banquette. Également, les composantes du rendement à proximité du canal sont améliorées par la mise en place des banquettes 35 ans plus tard, et ce, malgré le manque d'entretien et de sauvegarde des ouvrages et l'absence d'application d'engrais. Ces effets bénéfiques de l'aménagement en banquettes, relativement limités dans l'espace, peuvent être attribués à l'impact des ouvrages antiérosifs sur le bilan hydrique, la fertilité du sol, l'accumulation des sédiments arrachés par l'érosion en nappe ou l'érosion aratoire de l'espace interbanquettes, se traduisant par l'accumulation des sédiments au niveau du canal et le contrôle de l'érosion à l'aval du bourrelet. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces hypothèses. Il importe de souligner que la culture de l'orge située au

milieu de l'interouvrage, représentant environ 80 % de l'espace aménagé, n'a pas été significativement affectée par l'aménagement. Ceci signifie que l'accroissement des composantes du rendement se limite à environ 20 % du versant bénéficiant de la réalisation des banquettes. La production de la culture de l'orge est améliorée de près de 50 % et de 10 % par rapport à la parcelle témoin respectivement aux plants d'orge situés au niveau du canal et ceux de l'ensemble de l'interbanquette. Pour généraliser les effets des banquettes antiérosives, il conviendrait de valider ces résultats dans d'autres sites en faisant varier les conditions du milieu y compris la pluviométrie étant donné que la présente expérimentation s'est limitée à un seul site pour une seule saison agricole.

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la convention de recherche intitulée « *Contribution à l'étude d'impact des aménagements antiérosifs sur la fertilité des sols en Tunisie centrale* » entre l'ESIER Medjez el Bab et la DG/ACTA, financé par l'Union européenne dans le cadre du projet CES II. L'auteur remercie vivement M.I. Anatar de la DG/ACTA et M.K. Dridi de l'A/CES de Siliana pour leur assistance lors de la collecte des données et M.M. Ameur pour les analyses statistiques.

## Références bibliographiques

- Achouri, M. et W. Viertman. 1984. Les aménagements anti-érosifs recommandés par le projet TU81/14 : leurs caractéristiques et les possibilités de leur application. Note de la D/CES. 65 p.
- Aubert, G. 1986. Réflexion sur l'utilisation de certains types de banquettes DRS en Algérie. Cahiers de l'ORSOM, Série Pédol. XXII : 147-151.
- Corrasco, D.A. and S.G. Witter. 1993. Constraints to sustainable soil and water conservation: A Dominican Republic example. *Ambio* 22: 347-350 p.
- Countryman, D.W. and J.C. Murrow. 2000. Economic analysis of contour tree buffer strips using present net value. *J. Soil and Water Cons.* 55: 152-160.
- D/CES. 1993. Stratégie nationale de la Conservation des eaux et du sol (1990-2000). Copie revue et modifiée. Note de la Direction de la CES, Ministère de l'Agriculture. 53 p.
- Dercon, G., J. Deckers, G. Govers, J. Poesen, H. Sánchez, R. Vanegas, M. Ramírez and G. Loaiza. 2003a. Spatial variability in soil properties on slow-forming terraces in the Andes region of Ecuador. *Soil & Tillage Research* 72: 31-41.
- Dercon, G., J. Deckers, J. Poesen, G. Govers, H. Sánchez, M. Ramírez, R. Vanegas, E. Tacura and G. Loaiza. 2003b. Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador. *Soil & Tillage Research* 72: 32-41.
- Dercon, G., J. Deckers, J. Poesen, G. Govers, H. Sánchez, M. Ramírez, R. Vanegas, E. Tacurib, and G. Loaiza. 2006. Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador. *Soil and Tillage Research* 86: 15-26
- DG/ACTA. 2002. Stratégie nationale de la Conservation des eaux et du sol (2002-2011). Copie revue et modifiée. Note de la Direction générale de l'aménagement et de la conservation des terres agricoles. Ministère de l'Agriculture 33 p.
- Dridi, B. 2000. Impact des aménagements sur la disponibilité des eaux de surface dans le bassin versant du Marguellil (Tunisie centrale). Thèse de Doctorat de l'Université de Louis Pasteur (Strasbourg I), France 194 p.
- Eckert, D.J. 1984. Tillage system planting date interactions in corn production. *Agronomy J.* 76: 580-582.
- Gerbremedhin, B., S.M. Swinton and Y. Tilahun. 1999. Effects of stone terraces on crop yields and farm profitability: Results of on-farm research in Tigray, northern Ethiopia. *J. Soil and Water Cons.* 54: 568-573.
- Hamza A. 1989. Contribution de l'approche géomorphologique à la connaissance du phénomène « inondation » en Tunisie. *Revue tunisienne de géographie* 17: (107-117) p.
- Hanrahan, M.S. and W. McDowell. 1997. Policy variables and program choices: Soil and water conservation results from Cochabamba high valleys. *J. Soil and Water Cons.* 52: 252-259.
- Herweg, K. and E. Ludi. 1999. The performance of selected soil and water measures – case studies from Ethiopia and Eritrea. *Catena* 36: 99-114.
- Hizem H. 1994. National strategy of soil and water conservation in Tunisia. *Proc. Water harvesting for improved agricultural production.* p. 96-107.
- Holmberg G. 1990. An economic evaluation of soil conservation in Kitui District, Kenya. In: by Dixon J.A., James D.E. and Sherman P.B. (Eds) *Drayland management: economic case studies.* Earthscan Publications Ltd London. p. 56-71.
- Hussain I., K.R. Olson and S.A. Ebelhar. 1999. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil. *Soil & Tillage Research* 52: 37-49.
- Khlifi S. 2007. Analyse du fonctionnement de quelques aménagements de conservation des eaux et du sol : Cas des banquettes en Tunisie centrale et des lacs collinaires dans la Haute Vallée de Medjerda. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université libre de Bruxelles, Belgique. 237 p.
- Mechergui M. 2000. La petite hydraulique et son impact sur la vie du paysan, les eaux de ruissellement, la conservation en eau et en sol et les ressources en eau vers l'aval dans un bassin versant : cas de deux bassins versants de Siliana et du Kef en Tunisie. Atelier électronique de la FAO intitulé « Relations terre-eau dans les bassins versants ruraux » du 18 septembre au 27 octobre 2000. 5 p.

- Nasri S. 2002. Hydrological effects of water harvesting techniques: A study of tabias, soil contour ridges and hill reservoirs in Tunisia. Doctoral thesis-Lund, Institute of Technology, Lund University, Sweden.
- Nasri S., M. Laaroussi et H. Habaeib. 2006. Impacts hydrologiques des banquettes anti-érosives sur un versant semi-aride en Tunisie centrale. 14<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference, Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006). 4 p.
- Nyssen J. 1998. Soil and water conservation under changing socio-economic conditions in the Tembien Highlands (Tigray, Ethiopia). *Bull. Soc. Géogr. Liège* 35: 5-17.
- Poncet J. 1970. La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie. *Annales de géographie* 25-26: 581-595.
- Roose E. 1991. Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES. *Cahiers de l'ORSTOM, Série Pédol.* XXVI: 145-181.
- Roose E. 2002. Analyse du système des banquettes mécaniques : Propositions d'amélioration, de valorisation et d'évolution pour les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghuan Tunisie. Rapport du projet GCP/TUN/028/ITA – FAO 27 p.
- SAS. 2000. SAS System for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Tenbergen B., A. Günster and K.F. Schreier. 1995. Harvesting runoff: the minicatchment technique – An alternative to irrigated tree plantations in semiarid regions. *Ambio* 24: 72-76.
- Tenge A.J., J. De Graaff and J.P. Hella. 2005. Financial efficiency of major soil and water conservation measures in West Usambara highlands, Tanzania. *Applied Geography* 25: 348-366.
- Troeh F.R., J.A. Hobbs and R.L. Donahue. 1999. Soil and water conservation: productivity and environmental protection. Third Edition Prentice Hall Inc. New Jersey. 610 p.
- Turkelboom F., J. Poesen, I. Ohler and S. Ongpraert. 1999. Reassessment of tillage erosion rates by manual tillage on steep slopes in northern Thailand. *Soil & Tillage Research* 51: 245-259.
- Unger, P.W. and O.R. Jones. 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research* 45: 39-57.
- Vancampenhout, K., J. Nyssen, D. Gebremichael, J. Deckers, J. Poesen, M. Haile and J. Moeyersons. 2006. Stone bunds for soil conservation in the northern highlands: Impacts on soil fertility and crop yield. *Soil & Tillage Research* 90: 1-15.