



**Projet INCO-WADEMED**  
Actes du Séminaire  
Modernisation de l'Agriculture Irriguée  
Rabat, du 19 au 23 avril 2004



## **Diagnostic des pratiques d'irrigation gravitaire dans le Moyen Sebou : perspectives d'améliorations**

J.C. Mailhol<sup>1</sup>, A. Vodicka<sup>1</sup>, P., Ruelle<sup>1</sup>, A. Slatni<sup>2</sup>, M. Ikama<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Cemagref, 361, rue J.F Breton, 34033, Montpellier, France

<sup>2</sup> INRGREF, Ariana-Tunis, Tunisie

<sup>3</sup> DPA de Fes, Maroc

E-mail : [jean-claude.mailhol@montpellier.cemagref.fr](mailto:jean-claude.mailhol@montpellier.cemagref.fr)

**Résumé** - Quatre systèmes d'irrigation gravitaire coexistent dans le périmètre du Moyen-Sebou (Maroc) récemment aménagé en réseaux collectifs : irrigation par submersion, à la planche, à la robta en micro-bassins, à la robta en micro-raies. Ils sont généralement considérés comme peu efficaces (problèmes de nivellement, pertes par infiltration) et consommateurs de main-d'œuvre, mais des études récentes considèrent qu'il est nécessaire d'améliorer l'efficacité agronomique du système de la robta - le plus répandu dans le Maghreb. Un suivi qualitatif a été effectué sur les trois premiers systèmes et un suivi plus précis de l'irrigation à la robta en micro-raies : mesures des pertes dans l'arroiseur et dans les séguias, mesures d'humidité sur des prélèvements de sol en profondeur pour évaluer les doses apportées et leur variabilité, enregistrement des temps de travaux nécessaires aux arrosages. Dans un contexte jugé favorable, - sol de type argilo-limoneux, absence de contre-pentes et bonne localisation de la parcelle par rapport au canal quaternaire -, le système de la robta avec des micro-raies s'est avéré très efficace du point de vue hydraulique ( $E_h = 88\%$ ), mais exigeant en main-d'œuvre, plus d'une personne présente par hectare (deux ouvriers travaillent sur une superficie de 1,5 ha durant 6 à 8 h). En outre, la densité de plantation, dans le cas du maïs (6 pieds/m<sup>2</sup>), est limitée par l'occupation de terrain nécessaire au transfert de l'eau dans les séguias et aux bassins : ces pertes sont estimées à 17 % de la surface de la parcelle dans le cas du système des micro-raies et à environ 11 % dans le système des micro-bassins. Des solutions susceptibles de réduire les pertes par infiltration et l'occupation de terrain sont proposées, mais leur rentabilité et leur durabilité sont toutefois incertaines dans le contexte actuel du prix de l'eau. L'ensemble du système de production lui-même semble souffrir d'un manque de formation des agriculteurs. Ces conseils concerneraient le choix des doses et des fréquences d'irrigation ainsi que les itinéraires techniques comme les dates de semis recommandées, pour éviter par exemple que le maïs soit soumis à de trop fortes températures lors de la fécondation.

*Mots clés* : efficacité de l'eau, infiltration, irrigation à la planche, irrigation à la robta, irrigation à la raie, irrigation en micro-bassins, itinéraire technique, séguia, seuil Parshall, submersion, Moyen-Sebou, Maroc, Maghreb.

## 1 Introduction

L'irrigation gravitaire pratiquée actuellement dans le Maghreb est considérée comme peu efficace. En effet, les efficacités hydrauliques sont estimées à 85 % dans les réseaux de canaux portés, à 85 % dans les arroseurs et, en moyenne dans la parcelle à 60 %, soit une efficacité globale de 40 %. Les pertes en eau sont localisées essentiellement dans la parcelle et résultent surtout d'un problème de nivellement. Dans les périmètres entièrement aménagés, le sol a été plané, le plus souvent, selon la méthode dite " en touche de piano ", en bandes de 20 à 30 m parallèles aux arroseurs. On crée des successions de marches d'escaliers perpendiculaires aux arroseurs, et de fait au ruissellement, de façon à limiter les terrassements par l'accumulation de terre. Ce type de nivellement n'a pas résisté aux dégradations multiples causées par le travail du sol ou par la confection de batardeaux. Cette dégradation conjuguée à l'absence d'infrastructures locales pour entretenir le nivellement explique l'intérêt que les agriculteurs portent encore aux systèmes d'irrigation traditionnels à la parcelle. Cependant, ces systèmes sont souvent considérés comme faiblement efficaces du point de vue hydraulique et très consommateurs en main-d'œuvre. La plupart des avis convergent sur l'exigence en main-d'œuvre, mais ils sont partagés concernant l'efficacité hydraulique dans certains contextes de sols.

Des études menées par le SEEN de Rabat dans le Tadla préconisent d'améliorer l'efficacité agronomique du système de la *robta*. Ce constat résulte de la perte du terrain alloué au transport de l'eau et à son stockage dans les micro-bassins. Les avis qui mettent en cause l'efficacité de ces systèmes sont souvent de nature qualitative. Berthomé (1991[1]) déplore l'absence d'essais comparatifs entre des systèmes dans les mêmes conditions de parcelle, notamment de même type de sol. Nous faisons référence à des essais mis en place dans le Tadla, en 1987-1988, sur des parcelles de la réforme agraire, comparant le système de la *robta* et à celui de la raie par siphons. D'après les résultats obtenus, le système de la raie est plus économe en eau (de 15 %), et permet d'obtenir un meilleur rendement (+ 17 %, soit sensiblement le pourcentage de surface perdue par la mise en place du système de la *robta*).

Compte tenu de la diversité des situations, il existe peu de références précises et objectives sur les systèmes traditionnels. Nous avons donc effectué un diagnostic des pratiques et une analyse des performances hydrauliques de ces systèmes traditionnels dans un même contexte. Pour cela, un périmètre récemment équipé, le Moyen Sebou Inaouen aval, a été choisi comme exemple.

## 2 Les systèmes traditionnels d'irrigation rencontrés

### 2.1 Le système des planches

Le système des planches est composé de planches d'une longueur pouvant dépasser 100 m et de largeur de 4 à 8 m, délimitée par des ados. La pente est supposée être constante et le nivellement doit faire l'objet d'un entretien régulier. Des planches beaucoup plus larges peuvent être irriguées, il s'agit alors du système de calants qui monopolise des mains d'eau beaucoup plus importantes. La planche traditionnelle est alimentée par un débit variant en moyenne de 4 à 15 l/s selon les caractéristiques de dimension et de type de sol. La stratégie d'irrigation consiste à couper l'alimentation avant que le front d'avancement n'atteigne tout à fait l'extrémité aval de la parcelle. Lorsqu'il n'apparaît pas de zones de ruissellement préférentiel, ce système mobilise très peu de main-d'œuvre.

L'irrigation à la planche n'est pas véritablement un système traditionnel. En effet, dans plusieurs pays – Mexique, Etats-Unis, France –, ce système est pratiqué mais avec des niveaux d'efficacité très supérieurs à ceux du Maghreb, principalement en raison de meilleures conditions de nivellement. Dans le Maghreb, ce système est surtout utilisé pour l'irrigation des céréales et de la

luzerne (Zaïri *et al.*, 1998), mais il tend à disparaître au profit de la *robta*.

## 2.2 Le système de la *robta*

Le système de la *robta* est constitué soit de petits bassins à fond plat d'une surface variant de quelques mètres carrés à une dizaine de mètres carrés, soit de micro-bassins avec des billons et des micro-raies. La main d'eau transportée dans le canal quaternaire généralement en terre (ou quelquefois en béton semi-porté) ne dépasse pas 30 l/s. Une part de cette main d'eau est véhiculée depuis le point d'alimentation – constitué par une bêche dans le quaternaire ou par un ou plusieurs siphons –, à la parcelle par des petits canaux en terre, les séguias. Pour irriguer, on répartit l'eau qui transite par les séguias vers les différents bassins, au moyen de petits batardeaux (figure 1).

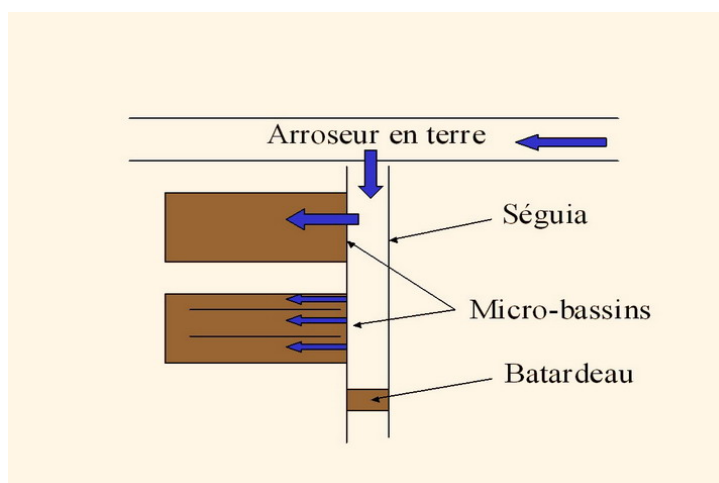


FIG. 1 – Principe du système de la *robta*.

On détermine visuellement la durée d'alimentation en fonction du remplissage et de l'uniformité d'application. Selon la main d'eau et les disponibilités en main-d'œuvre, une ou plusieurs séguias alimentent la parcelle en même temps. Lorsque l'agriculteur n'a pas les moyens de manipuler une main d'eau importante, il demande une diminution de la main d'eau.

Le système offre une grande souplesse pour cultiver. Les cultures généralement semées à la volée doivent être irriguées par micro-bassins. Pour les cultures en ligne, qui ne tolèrent pas les excès d'eau au niveau du collet par exemple, il faut mettre en place des micro-raies. Mais un des avantages majeur du système de la *robta* est qu'il n'est pas exigeant en matière de topographie comme le sont les systèmes de raie longue ou de planche. Il est en effet plus facile de faire circuler une main d'eau d'une dizaine de litres par seconde à l'intérieur d'une parcelle au moyen d'une séguia à topographie très chaotique, que cette même main d'eau sur une planche ou répartie sur plusieurs raies longues, dont le nivellement est fortement dégradé.

C'est la raison majeure de l'adoption du système de la *robta* par les agriculteurs qui ne disposent pas des moyens nécessaires pour maintenir un bon nivellement.

## 2.3 Le système de submersion

Le système de submersion n'est quasiment pas utilisé car les agriculteurs ne possèdent pas de moyens sophistiqués de planage. La technique de submersion ou du bassin à fond plat est

largement utilisée au Etats-Unis et en Espagne, ainsi qu'en France dans le cas de la riziculture. Elle est reconnue comme efficiente dans la mesure où une main d'eau souvent très élevée ( $\approx 50$  l/s) peut être distribuée uniformément si le nivellement est de très bonne qualité, ce que seules les techniques de laser rotatif permettent d'obtenir.

Le seul cas rencontré dans le périmètre du Moyen Sébou est celui d'une parcelle de maïs. Cependant, l'impact du nivellement sur la variabilité de la hauteur des plants de maïs était manifeste (dans un rapport de 1 à 5 pour les plants ayant survécus au stress hydrique) et ce en dépit des efforts déployés par l'agriculteur pour que l'eau atteigne toute la parcelle.

## 2.4 Le système de la raie longue

Le système de la raie longue laisse supposer que l'eau introduite à l'amont circule librement sous l'effet de la gravité jusqu'à l'aval de la parcelle. Il n'en est pas ainsi pour la plupart des parcelles utilisant ce système, l'avancée de l'eau étant temporairement bloquée au moyen de batardeaux, sortes d'obstacles en terre qui contribuent en outre à dégrader la qualité du nivellement. Les agriculteurs adoptent ce système pour des raisons diverses. Certains affirment qu'à l'origine, les offices (ORMVA) leur avait fourni des siphons inadaptés délivrant un débit unitaire trop élevé, et le blocage de l'avancement était un moyen d'éviter de perdre inutilement de l'eau en colature et de favoriser notamment l'installation de la canne à sucre après plantation (exemple du Gharb). Cet argument semble peu crédible, compte tenu des rendements en canne à sucre obtenus sur des raies longues selon le système classique (absence de batardeau) à la station expérimentale de Souk-Tlet (Benali, 1996[?]), très supérieurs à ceux des parcelles irriguées par aspersion. Parmi les arguments souvent avancés en faveur de cette pratique, la mauvaise qualité du nivellement est en cause, la plupart des exploitants ignorent qu'ils en sont eux-mêmes responsables.

## 2.5 Le canal quaternaire alimentant la parcelle

L'eau est distribuée à la parcelle soit par un canal en terre, comme au Maroc, soit parfois par un canal en béton porté, comme en Tunisie. La main d'eau est fournie au moyen d'un module à masque installé à la jonction du canal tertiaire en béton. Les performances hydrauliques du canal en terre se dégradent rapidement faute d'entretien, ce dernier étant à la charge de l'agriculteur. Ces difficultés sont à l'origine de l'abandon des siphons en raison des désamorçages fréquents. L'alimentation des parcelles ne pouvant alors être assurée qu'au moyen de brèches, il est difficile d'imaginer un retour aux conditions initiales de fonctionnement de ce système.

# 3 Analyse du système de la robta dans le Moyen Sébou

A notre connaissance, peu de travaux proposent une étude exhaustive des systèmes traditionnels d'irrigation. On devine en effet que selon les contextes de sols, l'efficience de ces systèmes peut fortement varier. Dans le contexte argilo-limoneux du Moyen Sébou, il sera plus difficile de mettre en évidence l'inefficacité du système que dans un sol de type sablo-limoneux. Nous nous intéressons au système de la *robta* qui est pratiquement l'unique système utilisé dans le périmètre.

## 3.1 Caractérisation de l'efficience du système de la robta

De nombreuses méthodes d'évaluation d'un système d'irrigation se limitent aux performances hydrauliques obtenues lors d'un ou de plusieurs événements. Dans ce cas, l'efficience d'application (EA) est le terme le plus approprié pour évaluer un événement. Selon Burt *et al.*, (1997[2]) :

EA = dose moyenne contribuant à la dose requise x 100 / dose moyenne appliquée

Cette définition sous-entend que la dose requise sera éventuellement bénéfique pour la culture. Il en résulte que EA est réduite dès lors que le coefficient d'uniformité CU est faible.

CU = dose minimale infiltrée / dose moyenne infiltrée x 100 %,

Il s'agit quelquefois de la dose apportée au dernier quart de la parcelle dans le cas de l'irrigation à la raie.

Cela témoigne alors d'une inégalité des apports qui réduit le bénéfice de l'apport requis. Les définitions et les concepts sont proposés par Burt *et al.*, (1997[2]) qui considèrent que l'eau infiltrée et stockée dans le sol durant une irrigation est neutre vis-à-vis de son efficacité éventuelle pour la culture. On sait par exemple que la recharge du sol en humidité sous la zone racinaire par percolation peut favoriser les remontées capillaires en période de déficit hydrique dans cette zone.

La définition de l'efficacité d'irrigation (EI) selon Hansen (1960[6]) est équivalente à celle proposée par Burt pour l'efficacité d'application. Selon Hansen, EI est égale au rapport de la dose totale stockée dans la zone racinaire (utilisable par la plante) à la dose totale appliquée.

EI = dose totale stockée dans la zone racinaire / dose totale appliquée

Le système de la *robta* est étudié dans le cas d'une parcelle de 1,5 ha au sol argileux (tableau 1). Cette parcelle est alimentée depuis l'arroseur en terre par des siphons, qui alimentent 4 séguias dont la pente est assez forte au départ (1 à 2 %) pour devenir relativement faible en aval de parcelle (0,3 %).

La culture est du maïs grain semé le 15 juin, date assez tardive pour cette culture, car les fortes températures de début juillet sont en effet préjudiciables à la fécondation, ce que confirment les faibles rendements en grain obtenus.

TAB. 1 – Composition granulométrique de la parcelle (%).

Argile (%)	Limon (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)	Carb (%)
48,2	47,1	2,8	2,0	1,07

Le système de la *robta* englobe le canal quaternaire. Ainsi, on évalue d'abord les pertes par infiltration linéaire dans ce canal entre deux points suffisamment distants afin que la différence de débit entre ces deux points ne soit pas de l'ordre de grandeur d'une erreur de mesure. Puis, les pertes par infiltration sont évaluées aux séguias. Un seuil Parshall 6 pouces, pouvant mesurer jusqu'à 100 l/s, a été employé dans le cas de l'arroseur, et un seuil de type Flume, d'une capacité maximale de 15 l/s, pour les séguias.

### 3.2 Pertes dans l'arroseur

Deux mesures distantes de 130 m ont été effectuées sur le canal quaternaire en terre (tableau 2).

L'infiltration linéaire moyenne obtenue est de 1 l/m/minute, pour un périmètre mouillé de 170 cm. Cette valeur ne semble pas anormalement élevée si on la compare aux valeurs d'infiltration stabilisée obtenues en irrigation à la raie sur ce type de sol (de l'ordre de 0,1 l/m/minute) pour des périmètres mouillés à peine supérieurs au 1/10<sup>e</sup> de celui du tertiaire étudié (Mailhol et Gonzalez, 1993[7]). Elle est cependant très élevée au regard de certaines valeurs publiées dans la littérature concernant des canaux non revêtus. Selon Goossens (2000[5]) qui ne cite pas ses sources, dans le cas d'un matériau de type argileux, on trouve comme borne supérieure : 0,1

TAB. 2 – Caractérisation des pertes par infiltration linéaire dans un canal quaternaire en terre.

Arroseur	Ha amont (cm)	Ha aval (cm)	Débit amont l/s	Débit aval l/s	Infiltration l/m/minute
Mesure 1	19	18	29,32	26,88	1,12
Mesure 2	18	17,2	26,88	25	0,88

$m^3/m^2$  de surface mouillée/jour, soit 0,013 l/m/minute, et pour un sol de type argilo-limoneux  $0,25 m^3/m^2$  de surface mouillée/jour, soit 0,032 l/m/minute. On constate donc que la valeur trouvée dans notre étude à partir de la mesure effectuée au moyen du seuil Parshall est très supérieure aux valeurs proposées par la littérature. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que les valeurs de la littérature font référence à des canaux mis en eau en permanence, contrairement aux canaux quaternaires du contexte de l'irrigation gravitaire étudié.

### 3.3 Pertes par infiltration dans les séguías

Comme pour l'arroseur en terre, le seuil jaugeur (Flume) adapté aux dimensions de la séguía a été installé en deux points distants de 90 m. Deux mesures ont été effectuées au cours d'un arrosage (tableau 3).

TAB. 3 – Caractérisation des pertes par infiltration dans une séguía.

Séguía	Ha amont (cm)	Ha aval (cm)	Débit amont l/s	Débit aval l/s	Infiltration l/m/minute
Mesure 1	18	15,5	7,33	5,04	1,52
Mesure 2	17,5	15,0	6,83	4,64	1,46

On obtient ainsi une infiltration linéaire moyenne de 1,49 l/m/minute pour un périmètre mouillé amont de l'ordre de 45 cm. En considérant une pente moyenne estimée à 0,3 % et une section quasi trapézoïdale (fruit  $f = 1/1$ ) de section de base 20 cm, ce périmètre mouillé correspond à un tirant d'eau de 9 cm. Par la formule de Maning-Strikler, le coefficient de rugosité calculé est  $n = 0,033$ .

Si quatre séguías fonctionnent simultanément, et chacune reçoit un débit équivalent ( $\cong 30/4$  l/s), l'erreur commise sur la mesure amont au moyen du seuil jaugeur Flume est de l'ordre de 6 %. Ce régime d'infiltration auprès d'une séguía paraît cependant très élevé pour ce type de sol et compte tenu des résultats obtenus au niveau de l'infiltration proportionnelle au périmètre mouillé (on est dans un contexte d'infiltration 2D), la valeur obtenue ne semble pas juste. En effet, le périmètre mouillé de l'arroseur est de 170 cm et celui des séguías n'est que de l'ordre de 45 cm, soit presque quatre fois plus faible pour un régime d'infiltration 50 % plus élevé. Il est fort probable que le régime d'infiltration stabilisé n'ait pas été atteint, ou bien que les conditions hydrauliques de fonctionnement du seuil ne soient pas valables (cas du régime noyé).

Afin de vérifier la pertinence des valeurs précédentes, une infiltration a été simulée au moyen du code numérique Hydrus-2D (Simunek *et al.*, 1996[10]) dans une séguía de même caractéristiques géométriques, sous deux hypothèses de débit. Il s'agit plus exactement de simuler, dans des conditions initiales d'humidité voisines de celles mesurées sur la parcelle, une infiltration sous tirant d'eau "h" que l'on déduit de l'application de la formule de Maning-Strikler pour un débit choisi. La composition granulométrique du sol de la parcelle permet d'estimer les caractéristiques

hydrodynamiques ( $\alpha$  et  $n$  de la courbe de rétention et  $K_s$ ) à partir des formules pédo-transfert d'Hydrus-2D, avec une densité sèche de  $1,3 \text{ g/cm}^3$ .

La simulation effectuée pour un débit correspondant aux ordres de grandeur de ceux utilisés ici ( $8 \text{ l/s}$ ) fournit une estimation de  $0,07 \text{ l/m/minute}$  du régime d'infiltration stabilisé (figure 2). Cette valeur paraît davantage en accord avec le régime d'infiltration obtenu pour l'arroseur. On constate qu'elle n'est que sensiblement plus élevée lorsque la même séguia transporte un débit proche du double ( $15 \text{ l/s}$ ) puisque l'on obtient dans ce cas  $0,09 \text{ l/m/minute}$ .

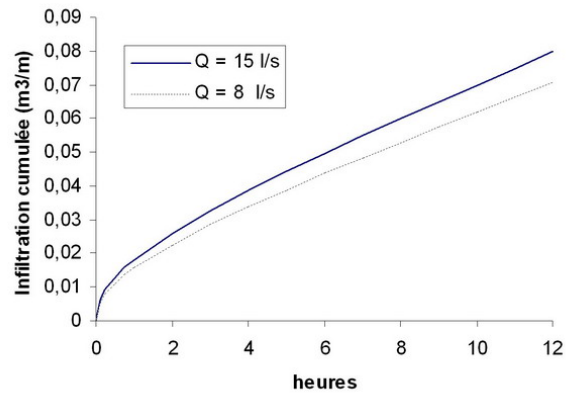


FIG. 2 – Simulation de l'infiltration cumulée dans une section de séguia en sol argileux au moyen du code Hydrus-2D.

A titre de comparaison, nous avons simulé un cas extrême, celui d'une séguia dont le sol est de type sablo-limoneux avec un  $K_s$  de  $6 \text{ cm/h}$ , soit quasiment 10 fois supérieur au cas précédent. Dans ce cas extrême, on obtient des régimes d'infiltration de  $0,8 \text{ l/m/minute}$  pour un débit de  $8 \text{ l/s}$  et de  $0,9 \text{ l/m/minute}$  pour un débit de  $15 \text{ l/s}$  (figure 3). Ces résultats de simulation confortent donc nos suspicions quant aux mesures effectuées en aval des séguias.

Les pertes possibles de débit sur une séguia de  $100 \text{ m}$  seraient donc de l'ordre de  $7 \text{ l/minute}$ , ou de  $0,12 \text{ l/s}$  en régime stabilisé, sur le sol argileux de la parcelle étudiée. Des pertes aussi faibles ne peuvent être détectées au moyen d'un seuil jaugeur compte tenu de l'imprécision des conditions d'installation en certains points de la parcelle.

L'irrigation de la parcelle de  $1,5 \text{ ha}$  mobilise deux personnes, pendant près de 7 heures. Sous l'hypothèse d'un régime d'infiltration de  $0,07 \text{ l/m/minute}$ , les pertes dues au transport de l'eau sur une parcelle de ce type n'excèdent guère 2 % de la dose apportée, voisine de  $50 \text{ mm}$ . On peut donc considérer ces pertes comme négligeables dans le contexte étudié. Il peut paraître abusif de considérer l'eau infiltrée dans les séguias comme définitivement perdue ; en effet l'infiltration se produisant dans deux dimensions, il est probable qu'une partie de l'eau transportée par les séguias profite aux plantes avoisinantes. D'ailleurs, certains agriculteurs, conscients de cette valorisation de l'eau, n'hésitent pas à planter le long des séguias.

Dans une parcelle de sol sablo-limoneux, dont les conditions d'alimentation sont identiques à celles de notre étude, il faudrait s'attendre, toute chose égale par ailleurs, à des pertes par transport d'eau au sein de la parcelle de l'ordre de 20 % de la dose délivrée. Dans ce contexte, le comportement des agriculteurs est totalement différent. Certains n'hésitent pas à mettre en place des systèmes particuliers tels que des gaines souples ou des tuyaux en PVC ( $\phi = 90 \text{ mm}$ ), emboîtés pour transporter l'eau depuis le point d'alimentation (puits ou canal quaternaire, en béton semi-porté dans ce cas) jusqu'à la parcelle et à l'intérieur de celle-ci, comme on l'a constaté dans des périmètres irrigués tunisiens.

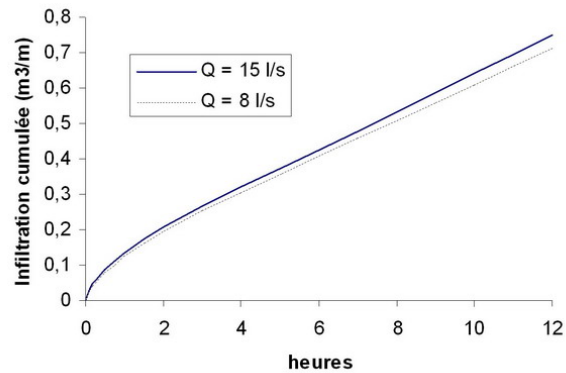


FIG. 3 – Simulation de l'infiltration cumulée dans une section de séguia en sol sablo-limoneux au moyen du code Hydrus-2D.

### 3.4 Estimation de l'efficacité d'application

La variabilité de la dose à l'échelle de la parcelle est un des obstacles majeurs à l'estimation de l'efficacité d'application, EA. En aspersion, on admet qu'au cours d'une irrigation, la dose apportée est stockée dans la zone racinaire en tout point dans une parcelle ayant une bonne réserve utile. Dans ce cas, la variabilité spatiale de la dose efficace (susceptible de profiter à la plante) ne dépend que des performances du système d'apport dans les conditions locales d'utilisation.

En mode d'irrigation gravitaire, le sol étant le vecteur de l'eau, les conditions initiales et l'état de surface du sol ont un impact évident sur la variabilité spatiale de la dose infiltrée. Selon le ruissellement, la quantité d'eau infiltrée (volume entrant - volume sortant/surface irriguée) s'écarte plus ou moins fortement de la dose minimale localement infiltrée. Ce ratio (volume entrant - volume sortant/surface irriguée), qui correspond au coefficient d'uniformité (CU) précédemment défini lorsqu'on supprime toute possibilité de pertes par ruissellement en aval de parcelle, est, de même que l'efficacité d'application (EA), difficilement accessible à la mesure (Burt *et al.*, 1997[2]). Dans bien des cas selon Clemmens (2002[4]), la modélisation est l'unique moyen d'estimation. Cependant, certains systèmes, comme celui de la *robta*, sont délicats à modéliser.

Nous avons donc procédé à l'estimation de l'efficacité hydraulique par le biais de la mesure. Pour apprécier l'uniformité de la dose infiltrée, 3 sites de mesure ont été retenus, amont, médian, et aval. Sur chacun de ces sites, 2 profils de teneur en eau du sol ont été effectués au moyen de la méthode gravimétrique, jusqu'à un mètre selon un pas de 20 cm, avant et 24 h après irrigation. On dispose donc de 4 profils par site. Sur un site, le même jour, un profil est effectué sur le premier tiers de la micro-raie, le second profil est placé sur le dernier tiers de la micro-raie. Les micro-raies étant de faible longueur (6 m), elles sont rapidement remplies. Il faut 2 minutes environ par bassin constitués ici de micro-raies (figure 1). On pourrait en conséquence considérer qu'il s'agit là d'une répétition.

La dose infiltrée au cours de l'arrosage étudié, obtenue par différence de stock sur 1 m est de 52 mm sur le site amont, de 46 mm sur le site aval et plus faible sur le site central (39 mm). Les profils d'humidité sur site amont témoignent de l'absence de pertes par drainage durant l'intervalle de temps séparant deux mesures successives (figure 4). Dans ces conditions, à partir de ce nombre limité de sites de mesure, le coefficient d'uniformité CU est égal à 78 %. Cette valeur est obtenue en admettant que les 30 l/s transitant dans le quaternaire ont alimenté la

parcelle de 1,5 ha durant 7 heures apportant ainsi une dose brute de 50 mm. Puisque toute l'eau apportée sur la parcelle s'infiltré, la valeur de CU obtenue représente aussi l'efficacité de l'irrigation (EI) dans la mesure où la dose infiltrée demeure stockée dans la zone racinaire. La réserve disponible avant irrigation est largement supérieure à la dose apportée, le sol considéré ayant une réserve utile élevée ( $R_u \cong 160 \text{ mm/m}$ ). La dose infiltrée demeure donc stockée dans la zone racinaire et contribue dans sa totalité à la satisfaction des besoins de la plante.

Efficacité moyenne d'application  $EA = \frac{D_m}{D_a}$

Où :

- $D_a$  : dose totale appliquée
- $D_m$  : dose maximale

Efficacité moyenne de l'irrigation  $EI \cong 90\%$ , (avec  $D_m = \frac{52+39+46}{3}$  et  $D_a = 50 \text{ mm}$ ).

En conclusion en ce qui concerne l'efficacité de l'irrigation du système, les pertes dans l'arrosoir sur une largeur équivalente à celle de la parcelle étudiée (de l'ordre de 150 m) représentent environ 0,8 % du volume délivré à la parcelle et les pertes relatives aux 4 séguias représentent 1,5 % du volume délivré. L'efficacité globale, égale au produit des efficacités ( $EA \times EI$ ), du système étudié est donc 88 %. Le système peut donc être considéré comme très efficace du point de vue hydraulique.

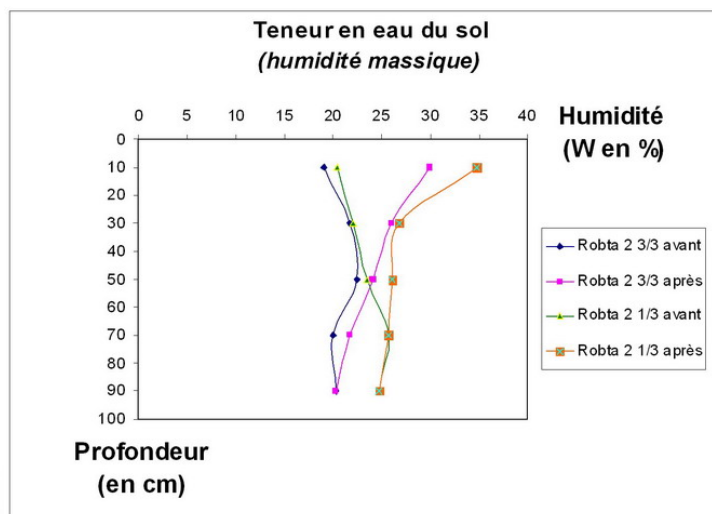


FIG. 4 – Profils d'humidité massique effectués sur le système *robta*.

### 3.5 Aspects agronomiques du système étudié

Contrairement aux bassins à fond plat, le système avec des micro-raies, favorise des pratiques culturales raisonnées. Le semis en ligne, au lieu du semis à la volée, permet de respecter une densité de semis en accord avec l'espèce cultivée. Dans le cas de la parcelle étudiée, la densité de peuplement du maïs est de 6 pieds/m<sup>2</sup>, les densités moyennes étant de 8 pieds pour des maïs sous aspersion en France. La fertilisation est également mieux contrôlée dans la mesure où l'agriculteur applique l'engrais manuellement à la base des pieds, technique plus économe en engrais, mais plus exigeante en main-d'œuvre. Ce surcroît de main-d'œuvre s'ajoute à celui exigé pour la confection des micro-raies et des billons.

Selon les informations recueillies, l'agriculteur ne modifie pas sa stratégie au cours du cycle. Il apporte toujours à peu près la même dose (50 à 55 mm) selon une fréquence hebdomadaire.

Bien que le sol ait une bonne réserve utile, la culture risque de subir de légers stress hydrique lorsque la demande climatique devient trop forte (Etp  $\geq 8$  mm/j). Mais ce sont plutôt les fortes températures lors de la fécondation qui sont préjudiciables au rendement en grain en raison du semis trop tardif. Les conséquences de l'absence de conseil aux agriculteurs sont graves.

Le défaut bien connu du système de la *robta* est qu'il nécessite une main-d'œuvre importante et engendre une perte de terrain non négligeable. L'irrigation mobilise plus d'une personne par hectare. Sur la parcelle étudiée de 1,5 ha, deux ouvriers étaient mobilisés, pour une durée comprise entre 6 et 8 heures. En revanche, localement, il y a une disponibilité de main-d'œuvre et le degré de technicité requis est faible.

La perte de terrain résulte de la présence des séguias et de la construction des petits bassins. Afin d'apprécier l'importance de cette emprise, deux parcelles ont été mesurées : une parcelle de menthe irriguée selon la technique des bassins à fond plat et une parcelle de maïs selon le dispositif de micro-raies, étudié précédemment (tableaux 4 et 5).

TAB. 4 – Estimation de la perte de terrain engendrée par les séguias. (SAU : surface agricole utile)

	Nombre de séguias	Longueur moyenne d'une séguia (m)	Largeur requise par une séguia (m)	surface moyenne par une séguia/SAU (%)
Parcelle de menthe (1,8 ha)	17	90	0,7	6
Parcelle de maïs (1,5 ha)	12	118	0,7	7

Sur l'exemple de ces deux parcelles on peut estimer que la perte de superficie cultivable liée aux séguias est de l'ordre 6,5 %.

TAB. 5 – Estimation de la perte de terrain engendrée par les petits bassins.

	Nombre de petits bassins	Dimensions moyennes (m)	% surface (petits bassins/SAU)
Parcelle de menthe (1,8 ha)	560	3x9	84
Parcelle de maïs (1,5 ha)	456	3x9	82

La superficie cultivable perdue par la structure des petits bassins est donc en moyenne de 10,5 % ( $100 - (84 + 82) / 2 = 6,5 = 10,5$ ). Le système de la *robta* engendre donc une perte totale de superficie cultivable de l'ordre de 17 % de la parcelle. Cette valeur peut être considérée comme une borne supérieure, en référence aux estimations de la DPA de Fez et du SEEN (à Rabat), n'excédant pas 15 %.

## 4 Propositions d'amélioration du système

L'exemple étudié n'est évidemment pas représentatif des systèmes traditionnels que l'on peut rencontrer au Maghreb. Une efficacité hydraulique avoisinant les 90 % est généralement considérée comme excellente. Elle n'est atteinte qu'avec certains systèmes, pivot (type LPA), canon enrouleur (très bien réglé et sans vent), ou encore micro-irrigation utilisée de façon optimale ce qui est très rarement le cas (Mailhol, 2003[8]). L'absence de contre-pentes sur les séguias de notre étude est également remarquable, ce qui montre encore le caractère exceptionnel des conditions rencontrées. Généralement, la présence de contre-pentes sur des sols à plus forte perméabilité fait chuter considérablement l'efficacité du système.

## 4.1 Les solutions envisagées

Dans un contexte où les pertes par infiltration sont loin d'être négligeables, des solutions peuvent être envisagées pour les réduire :

- diminuer les pertes dans l'arroiseur en le recouvrant d'un film plastique à condition que cela soit économiquement supportable ;
- réduire la superficie occupée par les séguias et augmenter la superficie cultivable en optimisant la taille des bassins (en respectant une bonne homogénéité de la dose au sein même du bassin) ;
- remplacement de la séguia par une gaine souple ou par un système de tuyaux en PVC emboîtés. Afin de les rendre plus maniables, il faudrait établir un branchement sur des canes PVC sortant de terre sous l'effet de la pression exercée par l'eau circulant dans un système de conduites en PVC enterrées. Des équipements comparables ont été développés avec succès en Bulgarie où le système d'irrigation gravitaire à la raie longue a longtemps constitué le système d'irrigation le plus pratiqué (Varlev, 1973[9]).
- un système de rampes en polyéthylène, munies d'ajutages alimentant à raison de 30 à 150 l/h des micro-raies de 5 à 7 m, et perpendiculaires aux lignes de culture. Mais là encore une étude économique s'impose. En outre, l'usage de ces gaines ou tuyaux devient vite limité lorsque la taille des parcelles devient importante. Des solutions astucieuses visant à limiter leur nombre doivent être proposées de même que le nombre de postes d'arrosage en service en fonction des conditions locales.

## 4.2 Recouvrement de l'arroiseur par un film plastique

Une technique a été récemment testée à la station expérimentale de Souk-Tlet au Maroc (au niveau de la parcelle P6 arrosée selon la technique du siphon), qui consiste à disposer un film plastique dans l'arroiseur. Nous envisageons une étude économique de cette technique dans le contexte local. La présence d'un film plastique, outre qu'il supprime les pertes par infiltration, évite la pousse des herbes. Il permet donc de supprimer une partie importante des travaux d'entretien liés au désherbage manuel. Etant donné le taux très élevé de matières en suspension dans l'eau d'irrigation du Moyen Sébou, un curage du canal doit être prévu, en évitant d'endommager le film plastique. Le remplacement du film avant chaque saison d'irrigation serait trop coûteux. D'un point de vue technique l'opération de recouvrement de l'arroiseur par un film plastique est donc réalisable. Son intérêt, d'après quelques utilisateurs, peut être fortement limité en présence d'eaux très chargées. Rappelons que de bonnes conditions hydrauliques dans l'arroiseur garantissent l'efficacité des siphons.

Un film plastique noir de 400 microns d'épaisseur coûte en moyenne 9 Dh/m<sup>2</sup> TTC, pose incluse. Pour un arroiseur desservant une sole de 4 ha, la surface moyenne est de 680 m<sup>2</sup> soit un coût de 6 120 Dh. La politique actuelle des gestionnaires de l'eau incite les agriculteurs à irriguer et à utiliser l'eau du projet. En effet, la part fixe du prix de l'eau va passer de 500 Dh par an et par agriculteur en 2000, à 1 600 Dh dans les trois ans à venir. Cette part fixe doit être payée par tout agriculteur irrigant ou non. Elle aura pour conséquence de faire passer le prix de l'eau de 0,25 Dh le m<sup>3</sup>, – prix de l'eau pour l'agriculteur du secteur II en 2000 –, à 0,55 Dh le m<sup>3</sup> en 2003. En se basant sur le coût actuel, et pour une consommation moyenne estimée à 7 000 m<sup>3</sup>/ha, la rentabilité de l'investissement requis pour l'achat du film plastique est de 4 à 5 ans, durée de vie que l'on peut lui accorder. Cependant, le concept d'un investissement sur 5 ans est difficile à faire accepter par l'agriculteur et ce, d'autant plus qu'il s'agit d'un investissement commun – la sole regroupant souvent plusieurs agriculteurs. En outre, les conditions locales de fortes températures estivales, la présence de rongeurs, des eaux très chargées en sédiments, font craindre que la durée de vie du film sera inférieure à 5 ans.

La solution consistant à remplacer l'arroseur en terre par une conduite en PVC anti-UV peut être envisageable, un diamètre de 250 mm permettant de transiter un débit de 30 l/s sur plusieurs centaines de mètres. Le problème réside dans le financement d'un tel système et dans la répartition équitable parmi les agriculteurs susceptibles de l'utiliser. On peut parier sur la mise en place d'AUEA pour favoriser la mise en place et assurer le bon partage du fonctionnement d'un tel dispositif.

## 5 Conclusion

La particularité du contexte étudié, liée au caractère argileux du sol, met clairement en évidence que les pertes de terrain constituent le principal handicap du système de la *robta*, sans compter le temps de main-d'œuvre exigé. Ce potentiel de main-d'œuvre nécessaire n'est pas considéré aujourd'hui comme un problème majeur, mais on ne sait pas quel sera le comportement des générations futures vis-à-vis de ces systèmes traditionnels, notamment en raison de la pénibilité du travail exigé. Il est évident que le progrès social passe par un meilleur confort de vie, et le concept de durabilité ne doit pas uniquement se référer aux ressources en eau mais également aux ressources humaines. Il faut donc promouvoir des systèmes susceptibles de maintenir les jeunes dans le secteur de l'agriculture, efficaces – car la part de la ressource en eau allouée à l'agriculture va décroître –, mais également économiquement supportables par l'agriculteur.

Il faut enfin faciliter la promotion de ces solutions améliorant les performances du système d'irrigation gravitaire si l'on veut qu'elles soient adoptées par les agriculteurs. Les essais en stations expérimentales sont utiles pour juger de l'adéquation ou de la faisabilité d'une opération de modernisation, et la station expérimentale du Gharb est une référence dans ce domaine. Elle a en effet permis de montrer, sur l'exemple de la canne à sucre, qu'il était possible d'obtenir de bons rendements avec de bonnes efficacités ( $\cong 80\%$ ) avec le système d'irrigation de la raie longue (200 m). Cependant, ces essais en station expérimentale ne sont pas suffisants, pour promouvoir efficacement de nouvelles techniques. Il nous paraît nécessaire de réaliser des essais de démonstration chez quelques agriculteurs où, sur une même parcelle, co-existeraient les deux systèmes : un système traditionnel (ou la méthode adoptée par l'agriculteur) et une solution modernisée testée en parcelle expérimentale. Dans la mesure où les gains espérés en matière de rendement, d'économie d'eau et de temps de travail sont clairement démontrés, le message pourra être diffusé de façon efficace et portera ses fruits.

## Références

- [1] Berthomé, 1991. Second projet d'amélioration de la grande irrigation au Maroc. Mission de préévaluation de la banque mondiale (mai-juin 1991). Rapport confidentiel, 60 p.
- [2] Burt C.M., Clemens A.J., Strelkoff T.S., Solomon K.H., Howell L.T., Eisenhauer D., Bleisner R., 1997. Irrigation performance measures. Efficiency and uniformity. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 123 (6) : 423-442.
- [3] Benali M., 1996. Compte rendu de la réunion du comité de pilotage relatif aux expérimentations conduites sur la parcelle expérimentale de Souk-Tlet. Document ORM-VAG Kenitra, Maroc, 9 p.
- [4] Clemens A.J., 2002. Measuring and improving irrigation performance at the field level. *Transaction of ASAE* 22 (8) : 89-96.
- [5] Goossens X., 2000. Impact des projets d'irrigation en termes de consommation énergétique et d'émission de gaz à effet de serre. Rapport de stage, Univ. Bordeaux 1, France.
- [6] Hansen, 1960. New concepts in irrigation efficiency. *Transaction of ASAE*, 3 : 55.

- [7] Mailhol J.C., Gonzalez G., 1993. Furrow irrigation model for real-time applications on cracking soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 119 (5) : 768-783.
- [8] Mailhol J.C., 2003. Analyse de la consommation ene eau dans les différents contextes irrigués. Rapport d'étude pour le compte du MEDD, 35 p.
- [9] Varlev I., 1973. Surface irrigation underground pipelines with movable risers. *Transaction of ASAE*, 16 (4) : 787-789.
- [10] Simunek J., Sejna M., Genuchten van M.Th., 1996. HYDRUS-2D, IGWMC, USDA/ARS Riverside, California.
- [11] Zairi A., Slatni A., Mailhol J.C., Achour H., 1998. Surface irrigation efficiency in cracking soils as influenced by water restriction. In *Water and the Environment-innovation issues in Irrigation and Drainage*. Edited by L.S. Pereira and J.W. Gowing, pp 120-130.