



## Performances hydrauliques et agronomiques des systèmes d'irrigation gravitaires sur l'élimination de l'excès d'eau hivernal dans la plaine du Gharb au Maroc

A. Taky, J.C. Mailhol, A. Debbarh, S. Bouarfa, A. Hammani, P. Ruelle, K. Belabbes, A. Bouaziz

### ► To cite this version:

A. Taky, J.C. Mailhol, A. Debbarh, S. Bouarfa, A. Hammani, et al.. Performances hydrauliques et agronomiques des systèmes d'irrigation gravitaires sur l'élimination de l'excès d'eau hivernal dans la plaine du Gharb au Maroc. Marcel. Kuper, Abdel Aziz Zaïri. Troisième atelier régional du projet Sirma, Jun 2007, NabeulTunisie,, Tunisie. Cirad, 11 p., 2008. <cirad-00259790>

**HAL Id: cirad-00259790**

**<http://hal.cirad.fr/cirad-00259790>**

Submitted on 29 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Performances hydrauliques et agronomiques des systèmes d'irrigation gravitaires sur l'élimination de l'excès d'eau hivernal dans la plaine du Gharb au Maroc

TAKY A.<sup>1</sup>, MAILHOL J.C.<sup>2</sup>, DEBBARH A.<sup>3</sup>, BOUARFA S.<sup>2</sup>, HAMMANI A.<sup>4</sup>, RUELLE P.<sup>2</sup>, BELABBES K.<sup>4</sup>, BOUAZIZ A.<sup>4</sup>

1. ORMVAG, Office régional de mise en valeur agricole du Gharb) Rue Mohammed Belarbi Alaoui, BP 6598-Instituts, Rabat, Maroc ...
2. Cemagref, BP 5095, 34196 Montpellier Cedex 5, France
3. Direction de la formation des cadres, Maroc
4. IAV, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, BP 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc

**Résumé** — La plaine du Gharb présente une double problématique, celle des excès d'eau en hiver qui mettent en péril les levées et les premières phases des cycles culturaux et, à partir du printemps, celle du déficit en eau qui nécessite le recours à l'irrigation pour garantir un niveau de rendement acceptable. La valorisation de l'eau d'irrigation est en conséquence étroitement dépendante des conditions de drainage hivernales, déterminantes vis-à-vis des potentialités des cultures d'hiver. Toute action à entreprendre pour améliorer l'usage et l'efficacité de l'eau ne doit pas perdre de vue ces deux aspects complémentaires. Le travail conduit dans le cadre de la présente recherche vise à démontrer que les systèmes d'irrigation gravitaire à la raie longue présentent non seulement un intérêt en période estivale mais également vis-à-vis du drainage de surface en période hivernale. L'un des enjeux majeur de ce travail est d'évaluer le gain que génère le système gravitaire modernisé (raie longue). A cet effet, des travaux d'expérimentation sont conduits depuis 2003-2004 à la station de Souk Tl et sur la betterave à sucre qui reste l'une des principales cultures pratiquées au Gharb mais dont les potentialités de production sont affectées par les excès d'eau hivernaux. Le travail de recherche a trait à l'évaluation des performances des systèmes d'irrigation gravitaire (raie longue, et « robta ») et des systèmes en aspersion en conditions nivelées et non nivelées. Cette évaluation se basera sur la prise en compte conjointe des contraintes d'excès d'eau hivernaux et de déficit estival de la betterave à sucre. Une bonne – et nécessaire – intégration de ces processus et le transfert des résultats auprès des agriculteurs constitue un enjeu majeur pour la durabilité environnementale et économique du périmètre irrigué du Gharb. C'est dans ce sens que des essais ont été conduits chez des agriculteurs pour la même culture, après correction du nivellement et ce, pour les deux systèmes d'irrigation. Les premiers résultats de ce travail de recherche montrent que le système d'irrigation gravitaire à la raie longue permet d'irriguer et d'évacuer efficacement les excès d'eau hivernaux. Des valeurs de rendements proches des potentialités attestant de cette efficacité ont été obtenues. Des très bons niveaux de rendement ont été également obtenus pour le système en aspersion nivelé. Il est sans conteste montré que l'absence de nivellement, frein à l'évacuation des excès d'eau par ruissellement et générateur de stagnations locales, est responsable de pertes de rendement importantes.

## Introduction

La plaine du Gharb présente une double problématique, celle des excès d'eau en hiver qui mettent en péril les levées et les premières phases des cycles culturaux et, à partir du printemps, celle du déficit en eau qui nécessite le recours à l'irrigation pour garantir un niveau de rendement acceptable. La valorisation de l'eau d'irrigation est en conséquence étroitement dépendante des conditions de drainage hivernales, déterminantes vis-à-vis des potentialités des cultures d'hiver. Toute action à entreprendre pour améliorer l'usage et l'efficacité de l'eau ne doit pas perdre de vue ces deux aspects complémentaires.

Pour pallier ces problèmes, l'assainissement et le drainage agricole sont considérés comme les piliers de l'aménagement et du développement de la plaine du Gharb. Malgré les efforts consentis par l'Etat en matière d'aménagements, l'analyse des performances des systèmes de drainage révèle des déficiences de fonctionnement des réseaux.

Toutefois, définir le ruissellement en tant que processus hydrologique est une affaire très délicate. Le terme ruissellement se révèle ambigu, difficile à caractériser dans sa généralité, et qui dépend de l'échelle du travail, des phénomènes étudiés et mesurés (Beven, 1991) cité par (Kao, 1994). Le terme ruissellement désigne plutôt les écoulements de surface à l'échelle de la parcelle agricole ou du bassin versant. En effet, le ruissellement est un processus hydrologique majeur, dont la quantification est nécessaire pour évaluer les phénomènes d'érosion et pour prédire les crues. L'eau de pluie arrivant à la surface se trouve répartie en deux fractions : le ruissellement et l'infiltration.

En général, le ruissellement n'apparaît qu'au bout d'un certain laps de temps après le début de la pluie. Lorsque la pente du terrain est faible (tel est le cas pour la plaine du Gharb) on peut considérer que le ruissellement avec une assez bonne approximation comme la fraction de l'eau de pluie que le sol n'arrive pas à absorber mais, dans la nature, différents types de ruissellement sont observés.

Conceptuellement, il est courant de distinguer deux processus pour expliquer l'apparition du ruissellement : le refus de l'infiltration d'un sol non saturé (« excess infiltration overland flow ») dit ruissellement hortonien d'une part, et le refus d'infiltration d'un sol saturé (« saturation overland flow ») d'autre part.

Cependant, il est actuellement acquis que le drainage réduit fortement le ruissellement au niveau de la parcelle agricole. Jusqu'à présent, les mécanismes explicatifs de cette réduction ont été expliqués à travers l'effet de la dynamique de la nappe drainée sur la capacité d'infiltration à l'échelle de la parcelle.

Malgré les efforts consentis, l'analyse des performances des systèmes de drainage révèle des déficiences de fonctionnement des réseaux (Vincent *et al.*, 1999 ; Zimmer *et al.*, 2001 ; Bouarfa *et al.*, 2002). En effet, les années humides, les excès d'eau hivernaux restent préjudiciables aux cultures, tout particulièrement aux céréales d'hiver (plus de 30 000 ha emblavés en moyenne dans le périmètre aménagé du Gharb), mais aussi à la betterave à sucre, ce qui témoigne des faibles performances des systèmes de drainage actuels. Ces déficiences relèvent tant de problèmes d'entretien que de problèmes de conception des réseaux de drainage. Les excès d'eau peuvent aussi empêcher l'installation d'une culture d'hiver (Ruelle *et al.*, 1999).

Les critères de conception de l'ensemble des réseaux du Gharb ont été établis en l'absence de références expérimentales locales. Celles-ci n'ont été acquises que pendant les années 1990 dans le cadre d'un programme scientifique de coopération en hydraulique agricole dont le but était l'acquisition de références locales sur le drainage agricole et sur l'irrigation dans la plaine du Gharb. Ce programme a fait l'objet d'une convention entre l'Office de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG) et le Cemagref à laquelle s'est associée l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV HII). Cette convention était co-financée par l'Agence française de développement et par l'ORMVAG avec le soutien logistique de l'IAV Hassan II.

Le programme a mis en évidence le fait que le drainage souterrain a été privilégié par rapport au drainage de surface, ce qui a engendré des surcoûts importants de réalisation et d'entretien. La démarche utilisée pour concevoir les réseaux a, de plus, reposé sur une approche ambiguë en ce qui concerne la définition des critères de conception, en particulier, la saison critique de drainage qu'il convient de considérer, soit hivernale, soit estivale sous irrigation. Cette approche a conduit à la mise en place de réseaux profonds (1,6 m environ). Sur ce point, les résultats acquis au sein de la station expérimentale réalisée dans le cadre de la convention ont montré que le raisonnement du drainage dans le Gharb était avant tout un problème d'évacuation des eaux hivernales (Bouarfa *et al.*, 2002). Une conséquence essentielle doit être déduite de ce constat : un drainage souterrain minimal doit être prévu pour contrôler le niveau de la nappe et lutter contre la salinité tandis que toute son importance doit être redonnée au drainage de surface pour l'évacuation des excès d'eau (Debbarh *et al.*, 1998). Au sein de la station expérimentale, celui-ci participe en effet à plus de 40 % de l'évacuation des eaux ; cette part est portée à 60 % en parcelles nivelées et pourvues de raies d'irrigation (Hammani, 2002).

Parallèlement, au volet sur le drainage agricole, le volet sur l'irrigation a démontré l'intérêt des systèmes gravitaires modernisés (irrigation à la raie) dans un contexte où les coûts énergétiques de l'irrigation par aspersion représentent une contrainte nationale de plus en plus lourde (Mailhol *et al.*, 1999).

## Objectifs de l'étude

L'objectif premier de ce travail de recherche vise à démontrer que les systèmes d'irrigation gravitaire à la raie longue présentent non seulement un intérêt en période estivale mais également vis-à-vis du drainage de surface en période hivernale. L'un des enjeux majeur serait d'évaluer le gain que génère le système gravitaire modernisé en matière de production de betterave à sucre par rapport aux systèmes traditionnels ou par aspersion.

Le sujet porte sur l'évaluation des performances des systèmes d'irrigation gravitaire à la raie, avec une prise en compte conjointe des contraintes d'excès d'eau hivernal et de déficit estival de la betterave à sucre. L'intégration de ces processus et le transfert des résultats auprès des agriculteurs constituent un enjeu majeur pour la durabilité environnementale et économique du périmètre irrigué du Gharb. L'association d'une problématique conjointe d'irrigation et de drainage constitue l'originalité du travail. Ce sujet s'inscrit dans le contexte de la politique d'économie de l'eau conduite par le Maroc dans la mesure où les engorgements hivernaux réduisent les potentialités des cultures d'hiver qui ne peuvent ensuite bénéficier pleinement des effets de l'irrigation, diminuant la valeur ajoutée du mètre cube d'eau. Ce travail doit également contribuer à la réhabilitation de l'irrigation gravitaire au Maroc en démontrant en particulier l'intérêt du recours au nivellement des sols dans le contexte où les systèmes sous pression génèrent des coûts énergétiques de moins en moins supportables pour les Offices régionaux de mise en valeur agricole. En outre, leur valorisation est fortement compromise par les conditions d'engorgement des sols durant l'hiver.

## Hypothèse adoptée

L'hypothèse avancée consiste dans le fait que les dépressions restent le siège des stagnations ce qui conduit à l'asphyxie des cultures semées durant l'automne ou l'hiver. Ces dépressions résultent soit du manque du nivellement pour le système aspersion (ce qu'on a longtemps mis à l'avantage du système considéré), soit de la dégradation du planage des parcelles gravitaires conjuguée à l'adoption par les agriculteurs des petites robtas pour irriguer leurs parcelles.

## Méthodologie d'approche

La démarche conduite pour ce travail est de deux natures : (i) expérimentale et (ii) modélisation. Cette présentation sera réservée exclusivement à l'aspect expérimental de l'étude.

## Présentation du site expérimental et déroulement des expérimentations

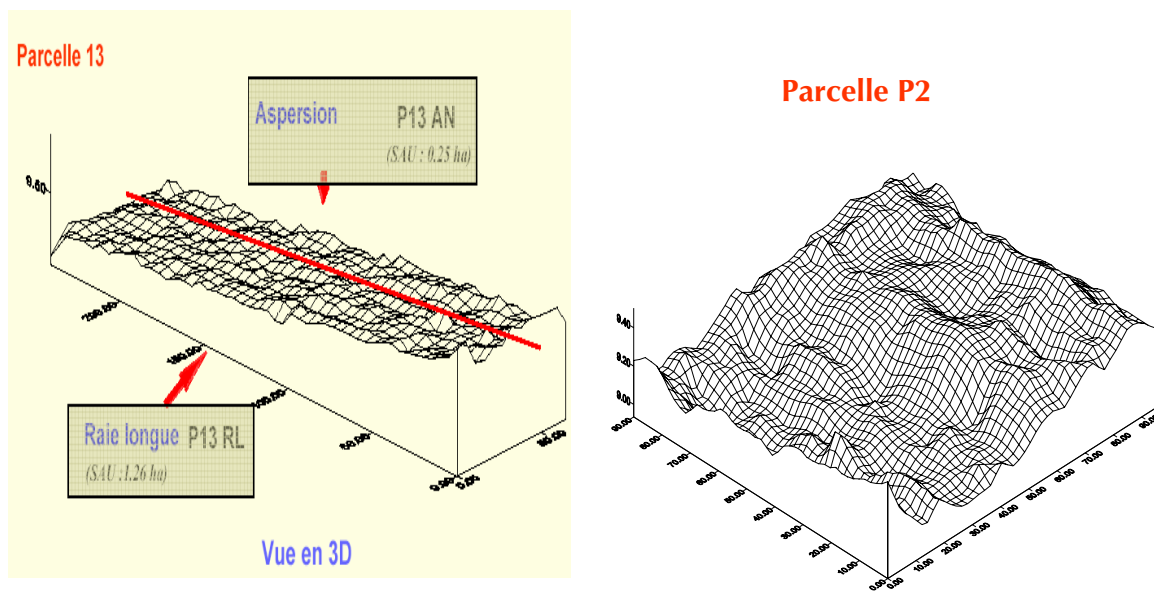
Elles ont été conduites à la station expérimentale de Souk Tlet du Gharb au Maroc. Cette station, d'une superficie totale de 30 ha dont 16 ha instrumentalisés, a été équipée sur financement de l'Agence française de développement dans le cadre de la convention entre l'ORMVAG, le Cemagref et l'IAV Hassan II (Maroc).

Le dispositif expérimental a porté sur la comparaison de trois systèmes d'irrigation à savoir : le gravitaire classique moyennant l'utilisation des raies longues, le système aspersion classique et le système aspersion nivelé.

Dans le cadre de ce travail, il a été procédé au nivellement de la parcelle P13 (parcelle gravitaire et la parcelle aspersion nivelée).

## Choix de la culture et parcelles des essais

La parcelle P2 (aspersion), la parcelle P13 RL (gravitaire avec raies longues) et la parcelle P13 AN (aspersion nivelée) (figure 1) constituent le support de la réalisation des essais en question. Elles ont respectivement des superficies de l'ordre de 0,75 ha, 1,26 ha et 0,25 ha. Ces parcelles sont drainées par des drains enterrés à une profondeur d'environ 1,4 m et écartés de 40 m. Les parcelles nivelées présentent des pentes de 0,2 %. Des levés topographiques ont été effectués au niveau de ces parcelles et leur représentation graphique donne ce qui suit :



**Figure 1.** Parcelles objet des expérimentations.

Le système d'irrigation adopté est le suivant.

- Les parcelles : pour la parcelle aspersion (P2), il s'agit d'une couverture partielle de 18 m x 18 m (carré), à rampes fixes et fonctionnant sous une pluviométrie de 5,6 mm/h. Des pluviomètres sont installés pour déterminer les doses réellement apportées. Pour la parcelle aspersion nivelée (P13 AN) : il s'agit d'une seule rampe fixe, sur laquelle sont montés des asperseurs espacés de 12 m avec une pluviométrie de 5,6 mm/h. Des pluviomètres y sont également installés pour déterminer les doses réellement apportées.
- Le système gravitaire : l'écartement des raies est de 1,5 m. Les sillons assurent le transit, sans débordement, de débits d'environ 2 l/s. Le fractionnement de la main d'eau s'opère au moyen de la rampe à vannettes.

Toutefois, et compte tenu des excès d'eau que connaissait la parcelle aspersion P2, une bande d'environ 6 m sur toute la longueur de n'a pu être semée du fait de l'impraticabilité des sols suite à des excès d'eau durant l'ensemble des années expérimentales.

La culture retenue est la betterave à sucre du fait qu'elle constitue avec les céréales les principales cultures d'automne et qui souffrent des excès d'eau qui coïncident souvent avec leurs stades sensibles (germination, levée, début de croissance etc.). Aussi, c'est une culture qui rentabilise l'eau d'irrigation apportée. La variété choisie est la Deprez poly E qui est une variété multigerme et l'une des plus utilisées dans la région du Gharb.

## Déroulement des expérimentations

### *Dispositif expérimental*

Le dispositif expérimental adopté porte sur la comparaison des trois systèmes d'irrigation aspersion à savoir : l'irrigation gravitaire à la raie longue, l'irrigation par aspersion et l'aspersif nivelé vis-à-vis des contraintes d'excès d'eau hivernal, ainsi que d'un point de vue efficacité et efficacité sur le plan hydraulique et agronomique.

### *Protocole expérimental*

- Mesure des débits de drainage et de ruissellement de l'ensemble des systèmes : les eaux de drainage de surface provenant soit des précipitations ou des irrigations sont recueillies à l'aval de la parcelle par un fossé collecteur et sont acheminées gravitairement vers un bac équipé d'un déversoir triangulaire (figure 2). Le dispositif de prise de pression, situé à l'aval des tranquillisateurs, est relié à un puit de mesure équipé d'un dispositif automatique de mesure de niveau : une sonde à ultrasons immergée. Le débit de ruissellement est déduit de la hauteur mesurée selon la relation  $Q = f(H)$  déterminée par étalonnage. Pour éviter toute déperdition de données, le bac a été équipé de deux sondes à ultrasons.

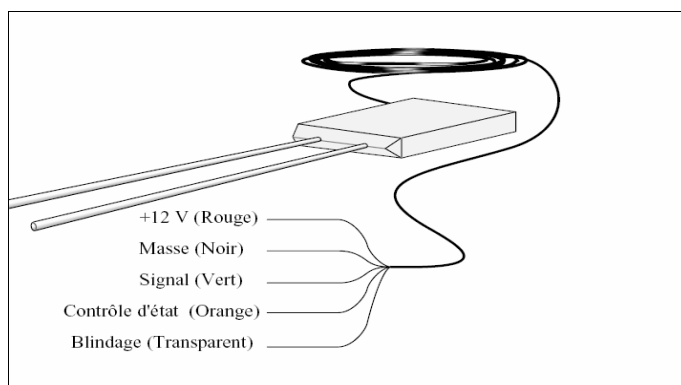


**Figure 2.** Bac déversoir pour le jaugeage des débits de ruissellement à l'aval de la parcelle gravitaire.

Ces hauteurs sont enregistrées au pas de temps du quart d'heure par une centrale de stockage et d'acquisition de données du type CR2M. Les données sont ensuite transférées sur un ordinateur portable et dépouillées sous fichiers Excel.

L'équipement et l'instrumentalisation de ce regard de mesure ont été effectués avec l'appui du Cemagref d'Antony.

- Le pluviomètre est du type à auget basculeur avec 20 cc par auget. Ce volume rapporté à la surface de l'impluvium donne une hauteur de 0,2 mm. Il est implanté au niveau du parc agro- météorologique de la parcelle expérimentale de Souk Tlet. Il est relié à une station d'acquisition et de stockage du type Campbell. Les enregistrements se font à des pas de temps du quart d'heure. Le transfert de données recueillies s'est fait régulièrement sur un ordinateur portable.
- L'humidmètre TDR : la sonde utilisée est du type CS615. Il s'agit d'un reflectomètre de teneur en eau qui mesure la teneur volumique en eau en utilisant la méthode TDR (Time Domain Reflectometry).
- Le reflectomètre est composé de deux tiges (figure 3) en acier connectées à un circuit imprimé. Un câble blindé à 4 fils est connecté à ce circuit imprimé afin d'alimenter le capteur, de commuter l'alimentation et de mesurer le signal de sortie. Le circuit imprimé est enrobé dans un bloc epoxy. Ce reflectomètre utilise la méthode TDR dans le but de déterminer la teneur en eau suite aux modifications de la constante diélectrique, qui influence la vitesse de propagation des ondes le long des tiges. Le signal qui en résulte est transmis à une centrale de stockage et d'acquisition du type Campbell puis converti en teneur volumique en utilisant l'équation d'étalonnage. Les mesures ont été faites à des pas de temps de quart d'heure. Ensuite ces données sont transférées pour exploitation par le biais d'un micro-ordinateur portable.



**Figure 3.** Sonde TDR.

Deux sites ont été instrumentalisés pour le soin de cette recherche (1 site amont et un site aval de la parcelle pour la parcelle gravitaire) et deux profondeurs à savoir 5 et 10 cm ont été retenues pour l'installation des tiges. Concernant l'aspersion, deux sites (1 au niveau de la dépression et un autre dans le point haut) avec 5 et 10 cm de profondeurs ont été retenus :

- suivi agro météorologique : une station automatique d'acquisition de données de type Campbell a été placée sur le site pour l'acquisition des paramètres agro météorologiques (températures, humidité, rayonnement solaire, vitesse du vent etc.) ;
- suivi de la tensiométrie par 2 batteries de tensiomètres par système d'irrigation. Les profondeurs suivies sont : 10, 20, 40, 60 , 80, 100 et 150 c ;
- dose d'irrigation ;
- mesures des apports d'eau ;
- mesures des débits en colatures ;
- suivi de l'avancement de l'eau dans les raies ;
- suivi agronomique.

Pour examiner l'impact des excès d'eau ainsi que les modes d'irrigation et les différents traitements adoptés sur le développement de la culture, il a été procédé au :

- suivi de toutes les interventions culturales (travaux du sol, fertilisation, désherbage, traitements phytosanitaires) ;
- contrôle de la densité à la levée ;
- suivi phénologique en se référant à une échelle classique ;
- suivi de la longueur, diamètre poids racinaire et celui des feuilles.

#### *Mise en place des essais et conduite des expérimentations*

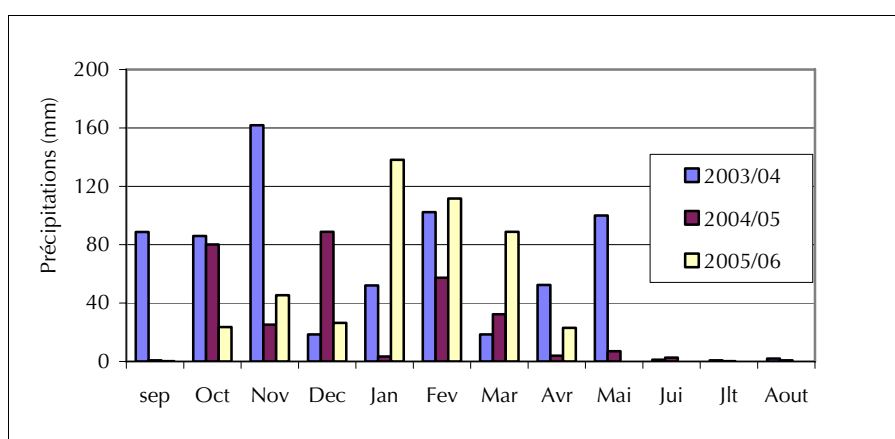
Les semis ont été réalisés manuellement sur les deux parcelles. La dose de semis est 10 kg/ha avec 4 à 6 graines par poquet. Le dispositif est de 50 cm x 20 cm (50 cm entre lignes, et 20 cm entre poquets sur la même ligne). Rappelons que sur la parcelle P13, les raies sont distantes de 1,5 m. Entre deux raies se trouvent trois lignes parallèles de la betterave à sucre.

Cependant, il est particulièrement important de signaler que, compte tenu des excès d'eau que connaissait la parcelle aspersion P2, seule la superficie de 0,4 ha (SAU) avait pu être emblavée en premier lieu.

## Résultats et discussions

### Pluviométrie

La pluviométrie de la plaine du Gharb est élevée. C'est la plaine qui connaît les plus fortes précipitations du Royaume. Les précipitations sont très irrégulières d'une année à une autre avec une variation de 300 à 800 mm. Les pluies s'étalent généralement durant six mois de novembre à mars. Il n'est pas rare de voir des précipitations durant les mois d'avril et mai.



**Figure 3.** Répartition mensuelle des précipitations.

En effet, la pluie critique se situe entre 150 et 200 mm. Au-delà, l'eau stagne sur le sol. Or une année sur deux, en octobre, novembre et décembre, il tombe environ 240 mm avec un risque de 500 mm tous les 5 ans. Si on considère que l'évapotranspiration contribuera à enlever environ 100 mm durant ces trois



mois, et que la percolation profonde en profondeur est nulle compte tenu de la nature très argileuse des différents horizons du sol, dès le mois de décembre il faut nécessairement évacuer l'eau de pluie en quantités importantes. Ces périodes coïncident pour la plupart des cultures avec les premiers stades de développement dont l'impact de l'excès d'eau peut être préjudiciable.

## Ruissellement

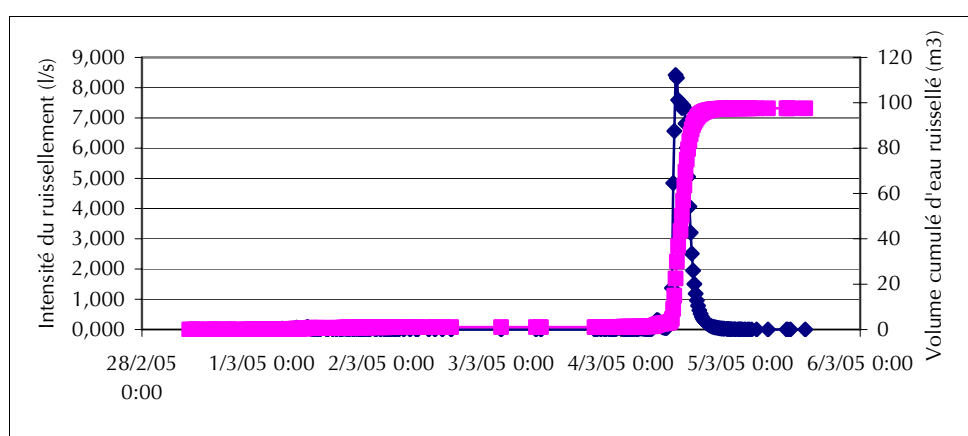
Au niveau de la plaine du Gharb, la conjonction des précipitations intenses et des sols moyennement à faiblement perméables conduit à des ruissellements importants qui représentent 30 à 60 % du bilan hydrique (Bouarfa *et al.*, 1999 ; Bouarfa *et al.*, 2001) ; ces ruissellements ont deux origines possibles :

- la forte intensité des précipitations – mécanisme Hortonien classique –, (Horton, 1933) ;
- l'affleurement de la nappe – mécanisme de Dunne (Dunne and Black, 1970).

Le ruissellement peut être décomposé en quatre phases comme indiqué par la figure 4 à savoir :

- une phase d'imbibition qui correspond au début de la pluie ou piégeage des eaux par les micro-modèles du sol ;
- un régime transitoire : le ruissellement commence ;
- un régime permanent : le ruissellement est important ;
- une phase de vidange, après arrêt de la pluie, le ruissellement diminue et s'arrête, il y a « détention superficielle » d'eau par le micro-modèle.

L'analyse des résultats obtenus au cours de ces expérimentations a permis de montrer que la raie longue présente de bonnes performances hydrauliques pour l'évacuation des eaux hivernales (tableau I).



**Figure 4.** Evolution du ruissellement suite aux précipitations (mois de mars 2005).

**Tableau I.** Coefficient de ruissellement enregistrés dans le Gharb.

Episode	Volume précipité (m <sup>3</sup> )	Volume ruisselé (m <sup>3</sup> )	Rapport en % (VR/VP)
04/03/2005	490	99	20
30/01/2006	350	125	36
21/03/2006	103,5	68	65

En effet, le coefficient de ruissellement varie de 20 à 65 % selon l'épisode pluvieux enregistré ce qui confirme les résultats obtenus à la station par Hammani (2002). Pour les mêmes épisodes, aucun ruissellement n'a été enregistré au niveau de la parcelle aspersion ce qui a occasionné des stagnations de durées importantes qui ont eu des impacts négatifs sur la culture de betterave à sucre. Dans ces conditions, le seul moyen d'évacuation des excès d'eau demeure le réseau de drainage enterré (ou profond). A cet effet, les débits de drainage au niveau de la parcelle aspersion sont toujours supérieurs à ceux enregistrés au niveau de la parcelle gravitaire pour l'ensemble des épisodes pluvieux comme en témoigne le graphe de la figure 5.

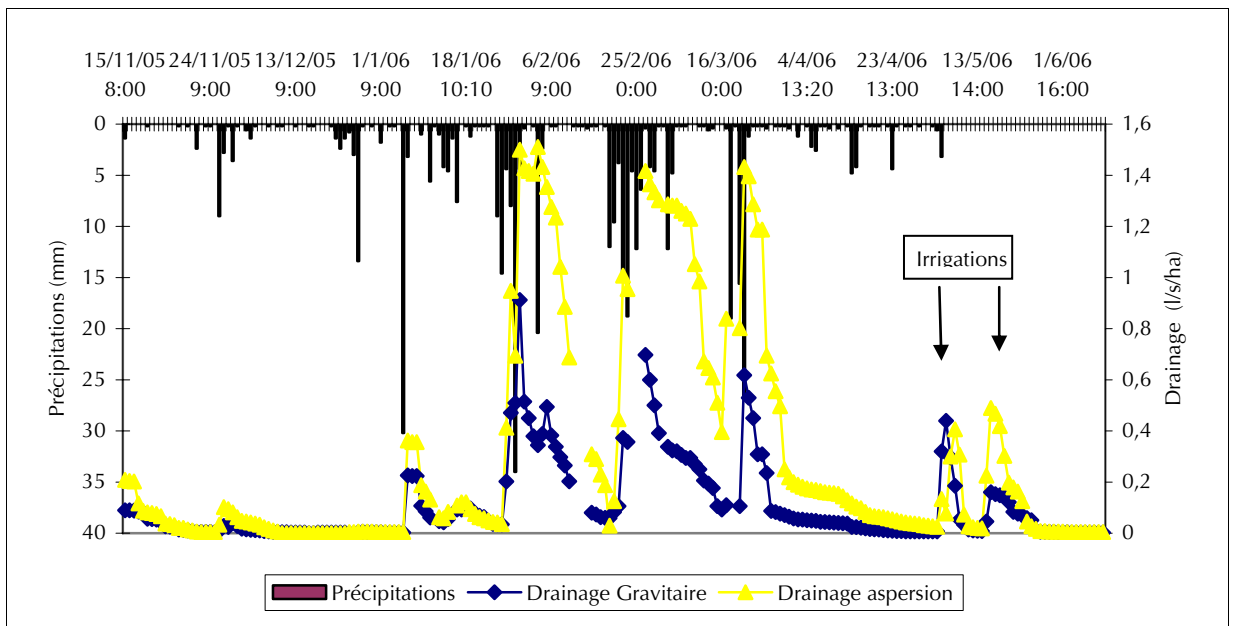


Figure 5. Evolution du drainage souterrain pour le système gravitaire et aspersion.

### Evolution de la tension

Le graphe de la figure 6 montre l'évolution de la tension du sol au niveau des 20 premiers centimètres de profondeur suite à l'événement pluvieux de mars 2005. Il dénote que le système gravitaire se dessature plus rapidement que le système aspersion. En effet, la tension toujours nulle au niveau des dépressions aspersionnelles (P2 Bas) montre que l'on est en saturation. Par ailleurs, la tension au niveau des points hauts (P2 Haut) de la parcelle est plus importante en valeur absolue par rapport à celle de la dépression (P2 bas) ce qui laisserait supposer que pour le système aspersion, les excès d'eau des points hauts drainent vers les dépressions ou ce que l'on appelle communément les points bas.

Concernant, le système gravitaire, l'aval (RL Aval) se dessature plus rapidement par rapport à l'amont (RL Amont) ce qui peut être expliqué par la présence du fossé à l'aval de la parcelle qui jouerait le rôle d'un drain à surface libre. Toutefois, les conditions de saturation que connaît la parcelle aspersionnelle ne sont pas enregistrées au niveau de la parcelle gravitaire ce qui met les cultures dans de bonnes conditions en matière de développement.

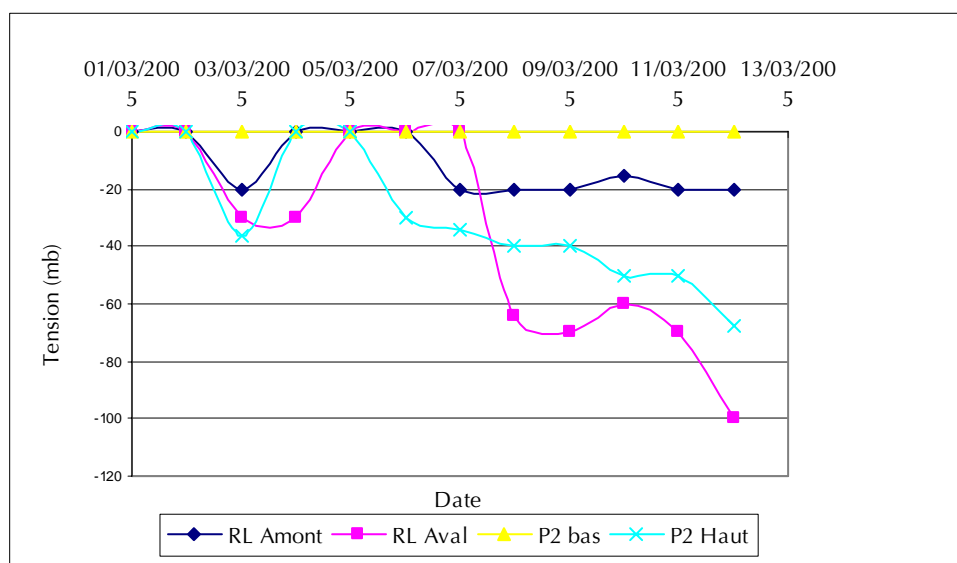


Figure 6. Evolution de la tension durant l'épisode pluvieux de mars 2005.

## Evolution de l'humidité du sol

Le suivi de l'humidité à 10 cm de profondeur par la sonde TDR durant la période s'étalant du 28 janvier au 21 février 2006 ( période pluvieuse) comme indiqué par la figure 7 démontre que l'humidité au niveau de l'aval de la parcelle gravitaire (WCP 13 av 10) est toujours plus faible que l'amont de la même parcelle (WCP 13 am 10), ce qui conforte l'hypothèse du drainage par le fossé jouant le rôle de colature aval de la parcelle. Il est à noter que durant cette période, le système aspersion est toujours en situation de saturation et de stagnation au niveau des dépressions.

Les rendements racines obtenus à la base des moyennes de 5 placettes de 2 mètres carrés amont, 5 au milieu et 5 à l'aval de la parcelle gravitaire et celle de l'aspersion nivelée, et la moyenne de 5 placettes au niveau des dépressions, 5 au niveau des zones intermédiaires et 5 placettes au niveau des points hauts de la parcelle aspersion. Il en ressort que les rendements en racine (figure 8) sont toujours meilleurs pour l'irrigation gravitaire à la raie longue qu'avec l'irrigation par aspersion nivelée ou l'aspersion classique. Toutefois, les rendements de l'aspersion nivelée sont toujours meilleurs par rapport à l'aspersion classique. Ce constat a été relevé durant les trois années d'expérimentation et quelle que soit l'hydraulicité de l'année.

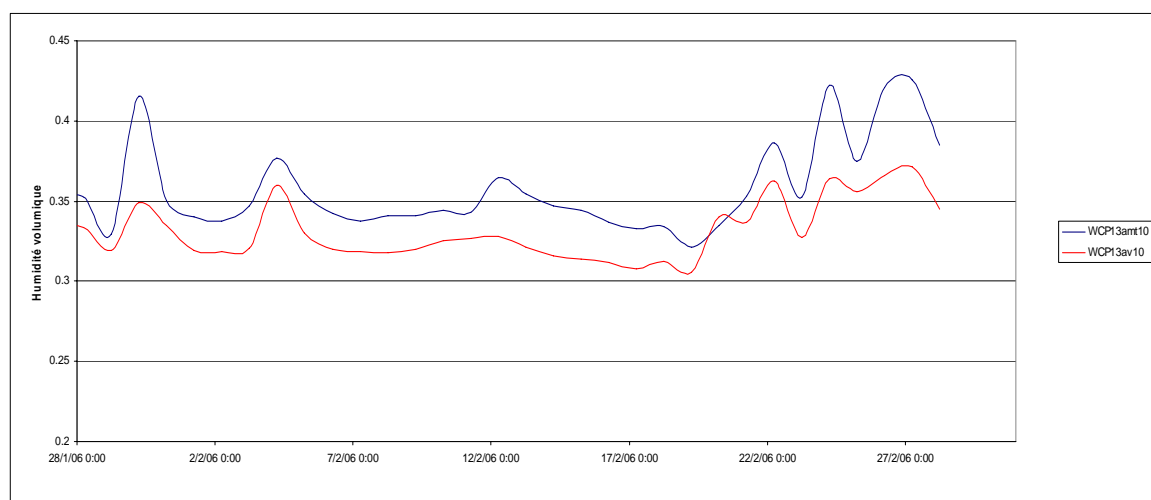


Figure 7. Evolution de l'humidité volumique au niveau de la parcelle gravitaire.

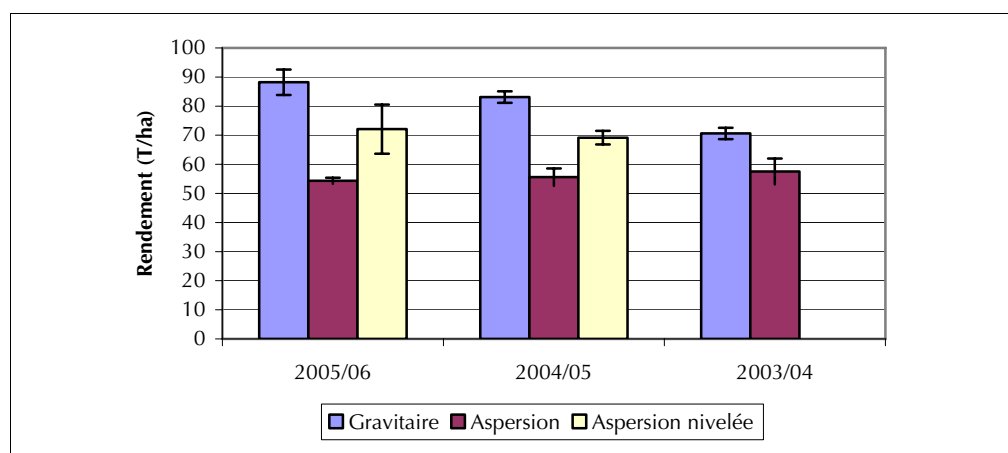
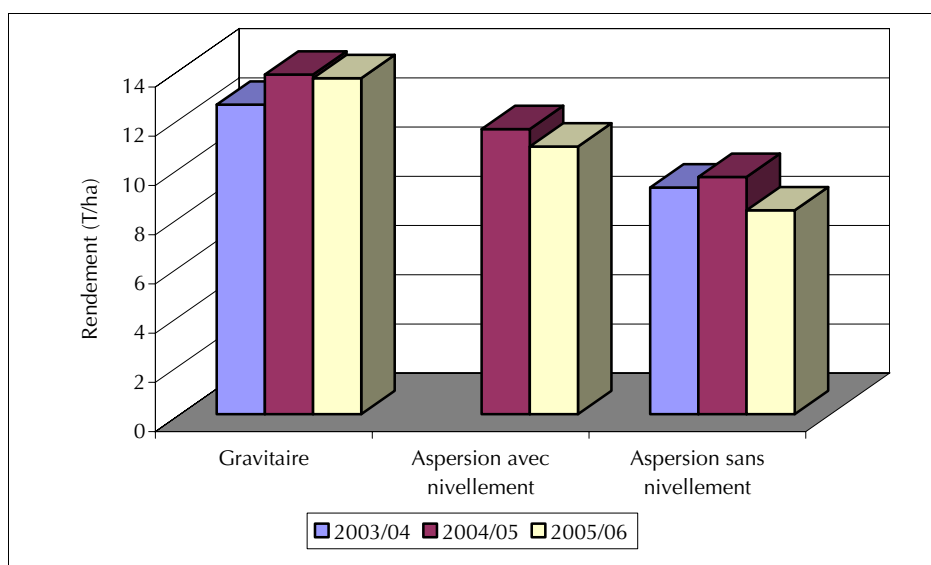


Figure 8. Rendements racines (en t/ha) de la betterave à sucre.

Les mêmes observations ont été relevées en matière de production en sucre brut. En fait, celui-ci a été maximal avec l'irrigation à la raie longue comme est démontré par le graphique de la figure 9.



**Figure 9.** Rendements en sucre brut (en t/ha) de la betterave à sucre.

Concernant les efficacités de l'utilisation de l'eau d'irrigation par la betterave à sucre, on relève que les dotations apportées (tableau II) sont toujours plus élevées pour le système gravitaire par rapport au système aspersion. En fait, le système gravitaire ne permet pas l'apport de doses faibles surtout avec des longueurs de raies qui atteignent 250 m de long. Toutefois, les dotations sont aussi intimement liées aux précipitations recueillies durant la campagne betteravière. En effet, les dotations les plus faibles ont été enregistrées durant la campagne : 2003-2004 où les précipitations ont duré jusqu'au mois de mai 2004. Une irrigation a été apportée pour le gravitaire et deux irrigations pour l'aspersion. Tandis que les quantités les plus importantes ont été accordées durant la campagne 2004-2005 considérée comme la plus sèche des 3 années expérimentales. En effet, 6 irrigations ont été apportées pour le gravitaire et 9 pour le système aspersion (aussi bien nivelé que le classique). Le nombre d'irrigations pour le système aspersion reste élevé surtout avec toutes les considérations énergétiques et les retombées que cela peut engendrer.

Compte tenu des rendements importants réalisés par le système gravitaire, les efficacités agronomiques (kg de betterave produite ou sucre/ mètre cube d'eau consommé) sont toujours meilleures pour ce système. Toutefois, le système aspersion présente de bonnes performances.

**Tableau II.** Efficacités de l'utilisation de l'eau par la betterave à sucre.

Systèmes	Dotations (m <sup>3</sup> /ha)			Efficacité betterave (kg/m <sup>3</sup> )			Efficacité sucre (kg/m <sup>3</sup> )		
	06/05	05/04	04/03	06/05	05/04	04/03	06/05	05/04	04/03
Gravitaire	2 130	4 615	1 040	41,40	18,01	67,90	6,40	2,99	12,09
Aspersions avec nivellement	1 792	3 684		40,23	18,77		6,07	3,14	
Aspersions sans nivellement	1 800	3 584	1 000	30,18	15,51	57,52	4,60	2,69	9,20

## conclusion

Les premiers résultats de ce travail de recherche montrent que le système d'irrigation gravitaire à la raie longue permet d'évacuer efficacement les excès d'eau hivernaux. Cela a été démontré par les coefficients de ruissellement obtenus. Des valeurs de rendements de betterave à sucre proches des potentialités attestant de cette efficacité ont été obtenues. Des très bons niveaux de rendement ont été également obtenus pour le système en aspersion nivelé. Il est sans conteste montré que l'absence de nivellement, frein à l'évacuation des excès d'eau par ruissellement et générateur de stagnations locales, est responsable de pertes de rendement importantes.

A la lumière de ce qui précède, il est impératif de procéder à la réhabilitation du gravitaire par le biais de la reprise du nivellement des parcelles. Il est même opportun de penser de réaliser le nivellement pour le système aspersion et le goutte à goutte dans le contexte du Gharb. L'objectif serait d'évacuer rapidement les excédents d'eau de surface qui peuvent être générés même par des faibles précipitations dans le contexte argileux de la plaine du Gharb.

## Références bibliographiques

BOUARFA S., HAMMANI A., DEBBARH A., ZIMMER D., TAKY A., CHAUMONT C., VINCENT B., ZERAOULI M., 2002. Drainage design in the Gharb plain of Morocco. *Irrigation and Drainage Systems* 16: 89-110.

DUNNE T., BLACK R.D., 1970. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Research* 7:1160-1172.

HORTON R.E., 1933. The role of infiltration in hydrologic cycle. *trans. Am. Geophys. Union* 14:446-460.

HAMMANI A., 2002. Modélisation couplée du drainage souterrain et du drainage de surface: Application à la conception du drainage agricole dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc). Institut agronomique et vétérinaire Hassan II et Ecole nationale du génie rural, des eaux et forêts : 245 p.

KAO C., 1994. Le ruissellement en parcelle agricole en situation hivernale: mécanismes de genèse et modélisation. DEA National d'hydrologie, filière hydrogéologie et hydrologie quantitatives.

MAILHOL J.C., BEN ALI M., 1999. Amélioration de la pratique de l'irrigation à la raie dans la plaine du Gharb. *In Séminaire Euro-méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéens*, Rabat, Maroc.

MAILHOL J.C., PRIOL AND M., BENALI M., 1999. A furrow irrigation model to improve irrigation practices in the Gharb valley of Morocco. *Agricultural Water Management* 42: 65-80.

RUELLE P., BENALI M., MAILHOL J.C., BAQRI A., TAKY A., ZEHAUF M., 1999. Stratégies d'irrigation et adaptation des cycles de cultures pour maîtriser les consommations d'eau. *In Séminaire Euro-méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres méditerranéens*.

ZIMMER D., HAMMANI A., BOUARFA S., TAKY A., 1999. Conception du drainage dans le périmètre du Gharb. *In Séminaire Euro-méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéen*, Rabat, Maroc.