



Impacts des pratiques d'irrigation sur le ruissellement au niveau de la plaine du Gharb

A. Taky, J.C. Mailhol, A. Debbarih, S. Bouarfa, A. Hammani, P. Ruelle, K.
Belabbès, A. Bouaziz

► To cite this version:

A. Taky, J.C. Mailhol, A. Debbarih, S. Bouarfa, A. Hammani, et al.. Impacts des pratiques d'irrigation sur le ruissellement au niveau de la plaine du Gharb. Economies d'eau en Systèmes IRrigués au Maghreb. Deuxième atelier régional du projet Sirma, 2006, Marrakech, Maroc. <cirad-00270986>

HAL Id: cirad-00270986

<http://hal.cirad.fr/cirad-00270986>

Submitted on 8 Apr 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.

Impacts des pratiques d'irrigation sur le ruissellement au niveau de la plaine du Gharb

Taky A.,¹ Mailhol J.C.,² Debbarh A.,³ Bouarfa S.,² Hammani A.,⁴ Ruelle P.,² Belabbès K.,⁴ Bouaziz A.,⁴

1 Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb- Maroc

2 Centre de Machinisme Agricole du Génie Rural et eaux et Forêts- France

3 Direction de la Formation des Cadres -Maroc

4 Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II-Maroc

Résumé — La plaine du Gharb s'étend sur une superficie totale d'environ 616 000 ha avec un potentiel irrigable de 250 000 ha. La superficie équipée actuellement en grande hydraulique est d'environ 114 000 ha et 86 000 ha irrigués par pompage privé. La mise en valeur de la plaine est entravée par l'excès d'eau hivernal compte tenu de la nature subhumide de son climat et de la nature argileuse de ses sols conjuguée à une pente très faible. Il est à souligner que sur un potentiel irrigable au Maroc de 1 600 000 ha, 350 000 ha seraient soumis aux risques d'excès d'eau ou de salinisation dont 200 000 ha concerne le Gharb. Pour pallier ces problèmes, l'assainissement et le drainage agricole sont considérés comme l'un des piliers de l'aménagement et du développement de la plaine du Gharb. Malgré les efforts consentis, l'analyse des performances des systèmes de drainage révèle des déficiences de fonctionnement des réseaux. Les acquis au niveau de la station expérimentale de Souk Tlet, réalisée dans le cadre de la convention ORMVAG, Cemagref ont montré que le raisonnement du drainage dans le Gharb était avant tout un problème d'évacuation des excès d'eau hivernaux et une grande importance doit être accordée au drainage de surface pour l'évacuation des excès d'eau. Le volet irrigation a montré l'intérêt de la raie longue comme pratique d'irrigation gravitaire. Le travail conduit dans le cadre de cette 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 cette étude est d'évaluer le gain que génère le système gravitaire modernisé en matière de production de betterave à sucre. 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. 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. L'association d'une problématique conjointe d'irrigation et de drainage constitue l'originalité du travail conduit. 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 tente de 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.

Introduction

La plaine du Gharb s'étend sur une superficie totale d'environ 616 000 ha avec un potentiel irrigable de 250 000 ha. La superficie équipée actuellement en grande hydraulique est d'environ 114 000 ha et 86 000 ha irrigués par pompage privé. La mise en valeur de la plaine est entravée par l'excès d'eau hivernal compte tenu de la nature subhumide de son climat et de la nature argileuse de ses sols

conjuguée à une pente très faible. Debbarh *et al.* (1991) soulignaient que sur un potentiel irrigable au Maroc de 1 600 000 ha, 350 000 ha seraient soumis aux risques d'excès d'eau ou de salinisation dont 200 000 ha concerne la plaine du Gharb.

A l'instar des régions à climat de type méditerranéen caractérisé par des hivers humides et froids et par des étés secs et chauds, la problématique du drainage ne se pose pas de la même manière entre les deux saisons. En hiver, les pluies provoquent l'engorgement des sols et l'apparition des excès d'eau superficiels portant préjudice aux cultures installées en automne et en hiver ; on assiste également à des remontées de la nappe salée (environ 10 g/l à la région de Souk Tlet – Debbarh *et al.*, 1999) favorisant l'accumulation des sels dans les horizons superficiels du sol. En été, les irrigations (avec des eaux chargées à environ 1 g/l de sels), nécessaires pour sécuriser les rendements des cultures, peuvent également entraîner des remontées de la nappe, contribuant à la salinisation de la zone non saturée des sols.

Pour pallier ces problèmes, l'assainissement et le drainage agricole sont considérés comme l'un des piliers de l'aménagement et du développement de la plaine du Gharb (Pallix et Tabet, 1973). Des investissements élevés ont été consentis lors des dernières décennies pour la mise en place de ces aménagements. Depuis les années 1970, les superficies aménagées s'élèvent à environ 80 000 ha, avec des linéaires de 13 000 km de drains aspirateurs, 2 300 km de collecteurs enterrés, 300 km de fossés primaires, 550 km de fossés secondaires et 1 700 km de fossés tertiaires. De nouveaux programmes d'aménagement sont par ailleurs en cours ou prévus afin de porter les superficies aménagées de la plaine à 200 000 ha.

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 vis-à-vis du 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).

Le travail que nous avons conduit dans le cadre de la présente étude vise à démontrer que les systèmes d'irrigation gravitaires à la raie longue présentent non seulement un intérêt en période estivale, mais également vis-à-vis du drainage de surface en période hivernale. Il a permis une identification des processus de ruissellement hivernaux mis en jeu dans le contexte des parcelles aménagées à la raie dans le Gharb.

Pratiques d'irrigation dans le périmètre du Gharb et gestion actuelle des excès d'eau

Pratiques d'irrigation actuelles

Le périmètre du Gharb est le plus important périmètre aménagé en grande hydraulique du Maroc. La superficie équipée actuellement est de 114 000 ha avec 91 000 ha (dont 13 500 ha pour le riz) pour le gravitaire et 20 000 ha pour l'aspersion. A côté de la grande hydraulique, un secteur très important d'irrigation privée s'est développé au fil des années. Celui-ci mérite une attention particulière, la superficie concernée est d'environ 86 000 ha (situation 2000-2001) et se répartit comme indiqué dans le tableau I.

Tableau I. Superficies irriguées selon le mode d'irrigation.

Mode d'irrigation	Gravitaire	Aspersion	Localisée		Pivot	Total
			Plein champs	Serre		
Superficies irriguées (ha)	75 650	5 040	2 240	2 020	1 280	86 230

L'irrigation gravitaire est la plus ancienne des techniques d'irrigation adoptées dans le monde et occupe environ 80 % des superficies irriguées à l'échelle mondiale et ce même dans les pays industrialisés (tel que les USA 70 %) (Mailhol, 2001). Cette situation résulte du fait que c'est une technique qui n'est pas très complexe à mettre en œuvre et moins exigeante en terme de moyens à l'échelle de la parcelle en la comparant à l'irrigation par aspersion ou localisée. En outre, comme pour toute technique ancienne, le « savoir faire » a pu se transmettre de génération à génération. En matière de techniques d'irrigation gravitaire, on retrouve au périmètre du Gharb les 3 modes suivants : la raie longue (raies de 80 à 130 m de long mises en place sur 18 000 ha), et le bassin à fond plat (technique de submersion, mis en place sur 13 500 ha), et la robta (dispositifs courts, mis en place sur 57 000 ha).

En fait, l'irrigation à la robta est une pratique où l'apport d'eau aux cultures se fait selon le principe ruissellement (pour l'amenée de l'eau au bassin) et submersion (au niveau des bassins). C'est une méthode traditionnelle de montagne qui a connu un développement important au niveau de tous les périmètres de grande hydraulique marocains à cause de son adaptation à :

- des petites tailles de parcelles issues d'un morcellement important entre les agriculteurs ;
- la dégradation du nivellement au niveau des parcelles.

On rencontre une panoplie de schémas concernant ce mode d'irrigation. Ces schémas diffèrent selon le type de culture et l'état de dégradation du nivellement. Il consiste à irriguer à la raie très courte (quelques mètres à peine) ou des bassins de taille inférieure à 50 m². En principe, l'eau est dérivée de l'arroseur vers les seguias de distribution qui desservent directement les bassins (ou les micro raies) à tour de rôle. De même, un autre cas de figure est présent dans le Gharb, où l'eau est dérivée à une seguia mère qui domine à son tour des seguias secondaires qui irriguent les bassins. La technique de la robta résulte d'une adaptation à la dégradation du nivellement des parcelles des agriculteurs.

La conséquence directe de la dégradation du nivellement demeure dans l'impossibilité d'apporter des doses uniformes et correctes telles qu'elles étaient préconisées par les plans d'aménagement. Pour la première et la seconde tranche d'irrigation, les doses apportées dépassent 1 620 m³/ha/irrigation, soit 2 fois la dose du projet, l'eau étant délivrée à la demande. Ceci n'est pas sans conséquence sur l'environnement favorisant, entre autres, les conditions d'hydromorphie surtout à l'aval des parcelles des agriculteurs. Ces conditions de stagnation s'ajoutent aux conséquences des excès d'eau hivernaux. En fait, il a été relevé, dans la majorité des blocs sur le terrain, une bande de 8 à 20 m de longueur à l'aval des soles présentant des signes d'excès d'eau entraînant soit l'asphyxie de la culture ou le développement de mauvaises herbes s'adaptant à ces conditions d'engorgement (Taky, 2003).

Les agriculteurs sont conscients de la dégradation du nivellement et de ses conséquences sur les conduites des irrigations et l'évacuation des eaux en hiver. La rentabilité de l'opération est perçue par les agriculteurs. Cependant et compte tenu du coût relativement important de la réalisation du nivellement, celui-ci n'étant pas amorti en une campagne, il constitue un endettement à court terme, et donc un risque que la plupart des agriculteurs ne veulent pas prendre. Généralement, ces parcelles ayant déjà bénéficié du nivellement lors de l'aménagement nécessitent un surfaçage, mais les sociétés pouvant réaliser ce genre d'opération ne sont pas disponibles sur le marché.

Impacts des excédents d'eau

Les impacts des excès d'eau hivernaux

Sur le terrain, les effets d'excès sont visibles sur toutes les cultures mises en place. En fait, il a été constaté durant l'enquête effectuée cette campagne que les cultures situées dans des dépressions pour le système aspersion (secteurs C3, N1, N2 et N3) (terrain non nivelé lors de l'aménagement) sont les plus sujettes aux excès d'eau. Aussi, pour le système gravitaire (secteur C1, C2 gravitaire), une bande aval de 8 à 20 m présente des signes d'hydromorphie remarquables, accentués par la disparition des colatures quaternaires (85 % inexistantes et le reste dans un mauvais état d'entretien). En effet, soit les cultures qui y étaient installées ont été asphyxiées, soit les rendements obtenus au niveau de ces zones restent très faibles par rapport aux autres emplacements au niveau des soles. D'après les agriculteurs les rendements varient du double au triple au niveau de ces emplacements. Les agriculteurs sont aussi unanimes sur le fait que les durées de submersion dépassant 4 jours sont préjudiciables aux céréales.

La praticabilité des sols

Selon les déclarations des agriculteurs, ceux qui ne préparent pas suffisamment tôt leurs champs pour les laisser servir de parcours pour le bétail (élevage intensif) sont pris en défaut par les excès d'eau qui les empêchent de les travailler par la suite. Le même constat est fait pour les champs qui ne peuvent être libérés plutôt et qui sont occupés par une culture d'été. Aussi, l'excès d'eau peut avoir un impact sur le choix du type de préparation de sol dans la mesure où les labours précoces sont faits à l'aide de charrues alors que par la suite les agriculteurs n'ont recours qu'au couverts pour l'installation des céréales. Il est à rappeler à ce niveau que le cover-cropp n'est pas un outil du travail du sol, mais d'ameublissement.

La réalisation des travaux et d'entretiens culturels

D'après les agriculteurs en année pluvieuse, les cultures sont plus difficiles à entretenir (démariage et buttage pour la betterave à sucre) désherbage etc. Ils sont conscients qu'il est très difficile pour eux de combattre les mauvaises herbes qui poussent après chaque précipitations. En fait, durant les hivers pluvieux, la majorité des cultures souffrent d'un enherbement important. Les agriculteurs soulèvent la difficulté de pouvoir épandre les engrais de couverture par l'impraticabilité du terrain, ce qui risquerait d'endommager la culture en place.

De même, l'impossibilité de réaliser à temps les traitements phytosanitaires fait en sorte que durant les années pluvieuses, les mauvaises herbes concurrencent les plantes pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux. Elles réduisent ainsi les quantités d'eau disponibles pour les plantes et en modifient l'efficacité d'utilisation. Pour les céréales par exemple, ces plantes adventices (telle que l'avoine) présente un cycle différent, dépassent en taille les céréales, les couvrant complètement à leur phase de maturité, ce qui n'est pas sans conséquence sur le rendement de la culture en question.

Par ailleurs, il est constaté sur le terrain que les agriculteurs, situés à proximité des fossés d'assainissement tertiaires ou secondaires, essayent d'évacuer les excès soit par :

- la création de seguias entre les parcelles et les fossés ce qui est de nature à porter atteinte aux pistes d'exploitation et d'entretien des canaux ;
- le recours aux pompes (cas du secteur C1 dans la mesure où les moyens le permettent) ce qui grèverait davantage le coût de production.

Objectifs de l'étude et démarche poursuivie

Le travail conduit dans le cadre de la présente recherche vise à démontrer que le système d'irrigation gravitaire à la raie longue présente non seulement un intérêt en période estivale mais également vis-à-vis du drainage de surface en période hivernale. L'un des enjeux majeur est d'évaluer le gain que génère le système gravitaire modernisé en matière de production de betterave à sucre.

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. 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. L'association d'une problématique conjointe d'irrigation et de drainage constitue l'originalité du travail conduit. 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.

La démarche conduite pour ce travail est de deux natures : (i) expérimentale et (ii) modélisation.

La partie expérimentale se déroule à la station de Souk Tlet du Gharb. Elle porte sur l'évaluation des systèmes gravitaire à la raie longue et par aspersion vis-à-vis de l'impact des excès d'eau sur la culture de betterave à sucre. Cette évaluation concerne les aspects hydrauliques et agronomiques.

Concernant la modélisation, celle-ci porte sur l'évaluation des performances hydrauliques de la raie longue pour l'évacuation des excès d'eau hivernaux ainsi que les performances agronomiques d'une telle pratique d'irrigation. De ce fait, un couplage du modèle de ruissellement avec un modèle de culture est envisagé. Il s'agit plus particulièrement de déterminer les durées possibles de submersion (ou de saturation des sols) préjudiciables à la culture et de simuler leur impact sur le développement et le rendement de la culture. Une approche spatialisée de l'irrigation à la raie avec couplage au modèle de culture est envisagée pour identifier des stratégies d'irrigation.

L'hypothèse prise 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 de nivellement pour le système aspersion (ce qu'on a longtemps mis à l'avantage du système considéré), soit à la dégradation du planage des parcelles gravitaires conjuguée à l'adoption par les agriculteurs de petites robots pour irriguer leurs parcelles.

Approche expérimentale

La partie expérimentale a lieu à la station expérimentale de Souk Tlet du Gharb au nord-ouest du Maroc. Cette station 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). Elle s'étend sur une superficie de 30 ha et comprend 14 parcelles dont 10 sont drainées et 4 non drainées. Trois parcelles sont irriguées gravitairement, les autres étant irriguées par aspersion. Elle dispose d'équipements de suivi en continu des débits drainés et des eaux de ruissellement, ce qui permet un suivi fin des bilans d'eau et de sels et le contrôle des entrées d'eau (simulation de pluies hivernales par aspersion par exemple). Les travaux de recherche déjà accomplis sur la station ont permis d'en définir les principales caractéristiques (pédologie, salinité, propriétés hydrodynamiques des sols, caractéristiques de l'infiltration dans les raies d'irrigation, etc.). Dans le cadre de cette recherche, il a été procédé au nivellement de la parcelle P13 et à l'installation d'un regard équipé d'un déversoir triangulaire pour mesurer les débits de ruissellement aussi bien issus des précipitations que des irrigations. Depuis deux campagnes, il a été procédé à la mise en place de deux parcelles de betterave (une sur le gravitaire (P13) et l'autre sur l'aspersion (P2)).

Choix de la culture et des parcelles d'essais

La parcelle P2 (aspersive) et P13 (gravitaire) constituent le support de la réalisation des essais en question. Elles ont respectivement une superficie de l'ordre de 0,86 ha et 1,96 ha.

Toutefois, et compte tenu des excès d'eau que connaissait la parcelle aspersive P2, une bande d'environ 6 m sur toute la longueur de la P2 n'a pu être semée du fait de l'impraticabilité des sols suite à des excès d'eau durant cette période de l'année. Il est à rappeler qu'au cours de la campagne précédente seule une superficie de 0,4 ha a pu être emblavée pour les mêmes considérations.

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 du point de vue efficacité sur le plan hydraulique et agronomique.

Protocole expérimental

Le protocole expérimental est le suivant :

- mesure des débits de drainage et de ruissellement ;
- suivi de la piézométrie ;
- suivi agrométéorologique ;
- mesure de la tension de l'eau dans le sol ;
- déficit hydrique ;
- dose d'irrigation ;
- mesure des apports d'eau ;
- mesures des débits en colatures ;
- suivi de l'avancement de l'eau dans les raies ;
- mesure de la température de surface du couvert végétal ;
- 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 est 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 de 16 betteraves par parcelle.

Mise en place des essais et conduite des expérimentations

Le semis a été réalisé manuellement sur les deux parcelles, du 19 au 21-11-04. 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 aspersive P2, seule la superficie de 0,4 ha (SAU) avait pu être emblavée en premier lieu.

Modélisation

Nous avons mis en évidence les conséquences des excès d'eau hivernaux sur la production des cultures. En l'état actuel, la raie longue n'est pas véritablement pratiquée dans la plaine du Gharb et les dispositifs mis en place par les agriculteurs ne permettent pas l'évacuation superficielle des excès d'eau. Selon les références acquises localement dans le cadre des recherches menées conjointement par l'ORMVAG, le Cemagref et l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, les dispositifs équipés de raie longue permettent d'évacuer une part importante des eaux excédentaires hivernales (plus de 40 % selon Bouarfa (2002) et Hammani (2002) et présentent de bonnes performances en période d'irrigation (Mailhol, 1999).

Cependant, avant de faire la promotion des performances de la raie longue vis-à-vis du drainage de surface, il paraît nécessaire de réaliser une évaluation hydrodynamique fine de son fonctionnement hivernal dans le contexte du Gharb. L'objectif ici est de faire un premier état du type de modélisation approprié à ce problème qui couple en termes de processus, la genèse du ruissellement et le transport de celui-ci dans les raies d'irrigation, et ce à l'échelle d'une parcelle agricole.

Le but recherché à travers la modélisation est de pouvoir évaluer en termes de ruissellement et, de là les excès d'eau, ce qui risque de se passer pour des événements extrêmes qui ne seront pas enregistrés lors des expérimentations in situ.

Par ailleurs, et compte tenu de l'importance de l'irrigation d'appoint en matière d'économie d'eau et de rationalisation de la distribution de l'eau au niveau du périmètre du Gharb, l'étude des stratégies d'irrigation de la betterave à sucre est nécessaire. Pour ce faire, nous avons besoin d'un modèle de culture.

Ces dernières années un certain nombre de modèles de cultures ont été proposés. Ces modèles qui simulent le développement de la plante et son utilisation de l'eau ont un compartiment hydrique et un compartiment croissance et développement. Ce dernier peut être de complexité variable. Ruelle (1995) a relevé que Jones et Ritchie (1990) ont dénombré même de façon non exhaustive 41 modèles.

Parmi les plus connus, on relève le modèle EPIC (Williams *et al.*, 1984), CERES Maïs (Ritchie *et al.*, 1986), le modèle ARIBLE pour le blé (Brisson *et al.*, 1996) et plus récemment le modèle STICS (Brisson *et al.*, 1988). La plupart de ces modèles sont des outils de recherche utilisés comme aide à la compréhension des processus ou de comparaison de scénarios. Ces modèles sur-paramétrés résultent de la juxtaposition de différents modèles développés par plusieurs spécialistes les rendant souvent difficile à caler et à valider.

Choix d'une modélisation adaptée au ruissellement

Le ruissellement est un phénomène complexe en termes de mécanismes et intervenant à différentes échelles. Il est fortement dépendant des caractéristiques hydriques et physiques du sol, de la structure de l'épisode pluvieux et de l'échelle à laquelle le problème est abordé.

Sur le plan de la physique du sol, le cas que nous traitons présente deux types de singularités. D'une part, les parcelles sont pourvues de raies d'irrigation vecteur de l'écoulement de l'eau. Cela pose le problème de l'utilisation des modèles de ruissellement classiques qui ne tiennent pas compte des techniques d'irrigation. D'autre part, les propriétés hydrodynamiques des sols du Gharb évoluent entre l'été (sols fissurés) et l'hiver (sols gonflant) ce qui nécessite le recours à des approches différentes pour l'évaluation du drainage de surface et de l'irrigation.

Sur le plan hydrique, la présence d'une nappe permanente peu profonde pose également la question du schéma à adopter (mécanisme Hortonien classique, (Horton, 1933) ou celui de Dunne (Dunne and Clark, 1970), notamment dans un contexte de forte présence de drains enterrés (plus de 80 000 ha sur les 107 000 ha actuellement aménagés en grande hydraulique).

Enfin, l'unité spatiale considérée, la parcelle, est en soi originale et constitue une unité intermédiaire entre les bassins versants et les placettes expérimentales. De ce fait, la parcelle agricole est trop petite pour appliquer les approches modélisatrices hydrologiques classiques, et trop grande pour espérer extrapoler des résultats expérimentaux ponctuels à l'échelle de placettes.

En conséquence, la spécificité du problème que nous avons à traiter nous a conduit à développer une modélisation adaptée au présent contexte. Le modèle développé, RUISPAR, couple en effet fonction de production du ruissellement selon différentes modalités explicitées plus loin (trois options au total) et transfert de l'eau le long des raies selon le concept de l'onde cinématique.

Description du modèle RUISPAR

Le modèle RUISPAR simule la genèse du ruissellement et les hydrogrammes de crue à l'exutoire d'un fossé recueillant les eaux de N raies d'irrigation d'une parcelle de forme rectangulaire et de raies de pentes uniformes (telle est la configuration préconisée des aménagements gravitaires du périmètre du Gharb).

Le principe de modélisation repose sur une discrétisation de chaque raie en plusieurs mailles, dont chacune collecte les apports latéraux d'une bande de terrain soumise à une pluie uniforme. Chaque maille produit et transfère l'excès d'eau qui ne peut s'infiltrer.

Deux options de fonction de production du ruissellement ont été introduites dans RUISPAR.

- L'approche du SCS : la genèse du ruissellement est déterminée d'une façon empirique (ou conceptuelle) par l'approche du SCS qui présente l'avantage de ne reposer que sur un unique paramètre désigné infiltration potentielle et qui, de fait, apparaît simple à caler. Pour des raisons de simplicité l'équation utilisée dans le modèle RUISPAR est la suivante :

$$R = \frac{(P)^2}{(P + S)} \text{ avec :}$$

R : volume total d'eau ruisselé depuis le début de la pluie en mm ;
 P : hauteur cumulée de pluie efficace depuis le début de la pluie mm ;
 S : capacité maximale de stockage du sol en mm.

- L'approche physique : l'infiltration en milieu saturée est déterminée par l'approche physique de Green et Ampt modifiée et corrigée par Morel -Seytoux (1973) pour tenir compte de l'effet de l'air. Cette approche contient plusieurs paramètres, et apparaît de fait plus difficile à caler. La résolution de l'équation de Green et Ampt (équation de forme implicite) est en outre faite par la méthode itérative de Newton.

Concernant la fonction de transfert, les deux options du modèle utilisent le modèle de l'onde cinématique aussi bien pour le routage au niveau de la raie qu'au niveau du fossé collectant les eaux de ruissellement des raies. La résolution par la méthode de l'onde cinématique est présentée ci-après (figure 1).

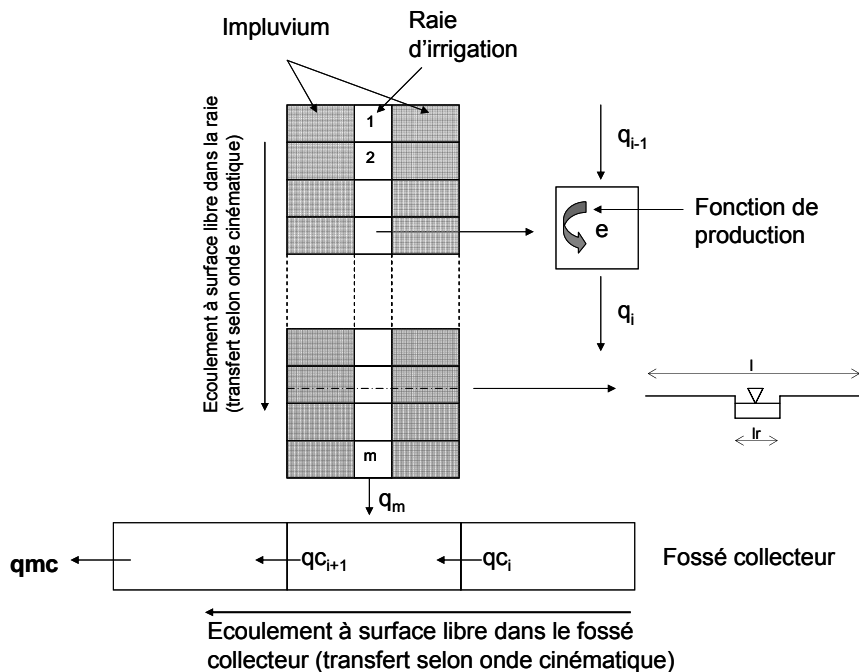


Figure 1. Principe du modèle RUISPAR.

La figure 1 explicite le principe du modèle RUISPAR. Le modèle subdivise la parcelle en un certain nombre de raies (N) ; chaque raie est dominée par un impluvium qui recueille les eaux de précipitations de largeur correspondant à l'inter-raies. Chaque raie est également caractérisée par une section rectangulaire qui constitue le lieu de l'écoulement à surface libre. Dans la direction de la pente, les raies sont divisées en un certain nombre de mailles identiques (m). La fonction de production du modèle s'exerce à l'échelle de la maille. Chaque maille i produit en conséquence l'excédent des précipitations (e) fruit de la fonction de production, et reçoit le débit provenant de la maille amont $i-1$ (q_{i-1}). A ce stade, la méthode de l'onde cinématique est utilisée par le modèle pour la détermination du débit de la maille q_i . Cette opération est effectuée de proche en proche, de la maille amont vers la maille aval jusqu'à la détermination du débit q_m correspond au débit total à l'aval de la raie. Celui ci est multiplié par le nombre de raies pour obtenir le débit total à l'aval de la parcelle q_{tot} . Ce débit est divisé par la largeur de la parcelle pour déterminer un débit unitaire du modèle de transfert pour le fossé collecteur.

Un deuxième processus de transfert s'opère donc au niveau de ce fossé collecteur de ruissellement dans lequel l'équation de l'onde cinématique est à nouveau résolue selon un schéma de discrétisation identique. Le fossé collecteur est à son tour discrétisé en mailles qui reçoivent la proportion de débit q_{tot} correspondant à leur longueur. De même que pour la raie, l'équation de l'onde cinématique est résolue de l'amont vers l'aval du collecteur où pour chaque maille vient s'ajouter aux apports latéraux le débit amont $q_{c,i-1}$. Le débit q_{cm} est le débit de la dernière maille et correspond au débit à l'exutoire simulé par le modèle RUISPAR.

Le transfert à surface libre de l'eau dans les raies et dans le collecteur par l'équation de l'onde cinématique est résolue selon un schéma explicite aux différences finies. Cette approche explicite a cependant l'inconvénient de nécessiter des pas de temps de calculs assez courts. Dans les cas traités ci-après où différentes options de fonction de production du modèle RUISPAR sont utilisées, un pas de temps de 5 secondes a été adopté pour la discrétisation temporelle.

Analyse des premiers et résultats et discussions

Régime pluviométrique

Pendant la campagne 2004-2005, on a totalisé une pluviométrie de 218,2 mm. Mais cette quantité est inférieure de 48,5 %, par rapport à la moyenne annuelle de la région sur 26 années (1979-2005) qui est de 423,7 mm (données du CTCS. Par conséquent, la campagne 2004-2005 reste particulièrement sèche.

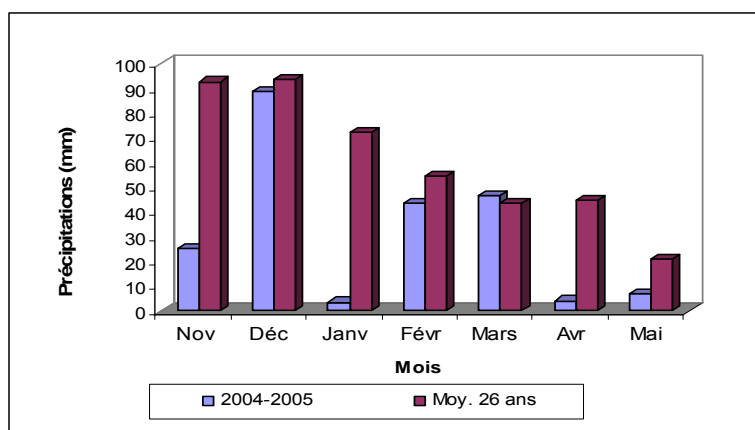


Figure 2. Pluviométrie mensuelle de la campagne comparée à la moyenne de 1979 à 2005.

Évapotranspiration de référence (ET_o)

Il s'agit de l'évapotranspiration (ET_o) journalière déterminée par la formule de Penman-Monteith (PM). L'ET_o augmente avec le cycle (figure 3). Elle commence par 1,96 mm/j au mois de novembre pour atteindre son maximum de 7,47 mm/j au mois de mai.

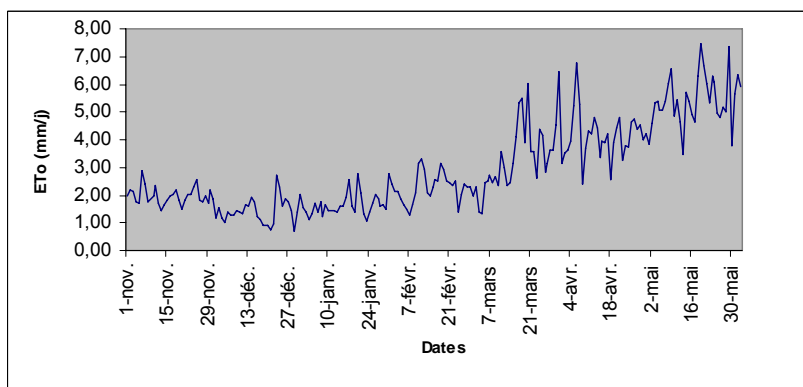


Figure 3. Evolution de l'évapotranspiration de référence journalière ET_o-PM (2004-2005).

Ruissellement hivernal

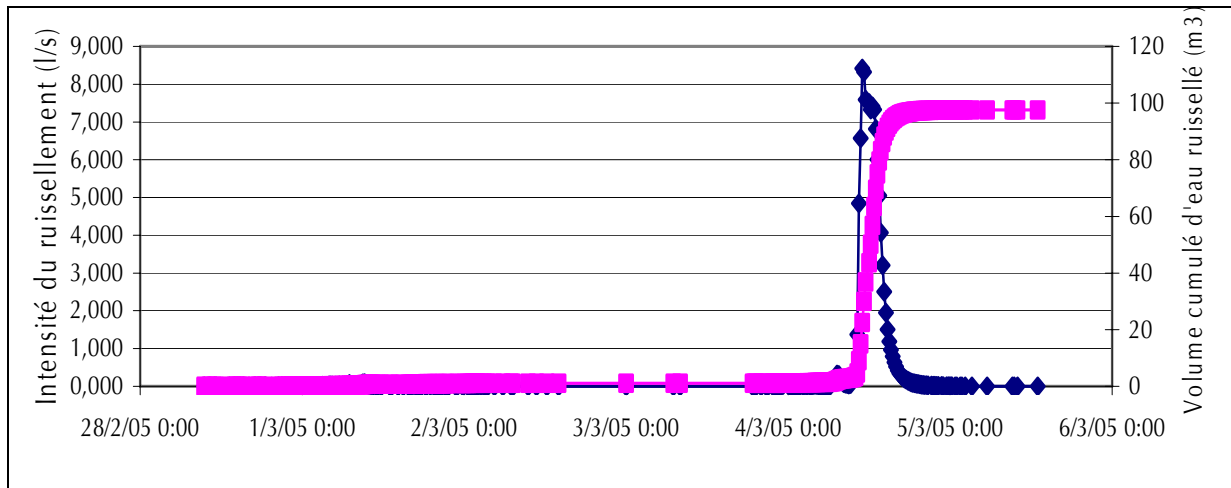


Figure 4. Evolution du ruissellement suite aux précipitations (mois de mars 2005).

Les précipitations recueillies durant l'épisode de mars 2005 sont de 21 mm et ont engendré un volume de ruissellement de 98m³ (figure 4) soit un coefficient de ruissellement de l'ordre de 40 %. Le coefficient obtenu confirme les résultats obtenus par Hammani (2002) au niveau de la station. Le volume ruisselé n'a pu être recueilli que grâce à la présence des raies. La parcelle aspersionnelle quant à elle a connu une stagnation.

Ce qui a pu être relevé au cours de cette campagne, c'est que malgré la sécheresse, des faibles hauteurs pluviométriques peuvent être à l'origine de stagnations au niveau des parcelles non nivelées.

Analyse des rendements

La figure 5 montre le rendement moyen en racine de chaque système étudié. On remarque que le gravitaire raie longue a le rendement le plus élevé (83,07 t/ha), suivi de P13 l'aspersionnelle nivelée (69,82 t/ha) puis de l'aspersion classique (30,38 t/ha). Cela pourrait s'expliquer, entre autres, par les doses élevées apportées par le système gravitaire par rapport aux autres.

En effet, tout le long du cycle sur la parcelle gravitaire, la dose totale est de 462 mm, tandis que sur l'aspersionnelle nivelée elle est de 358 mm, et de 368 mm sur l'aspersion classique. Le rendement sur l'aspersion classique reste faible, malgré la dose apportée est sensiblement égale de l'aspersionnelle nivelée. Cela s'explique en très grande partie par la perte de rendement occasionnée par stagnation.

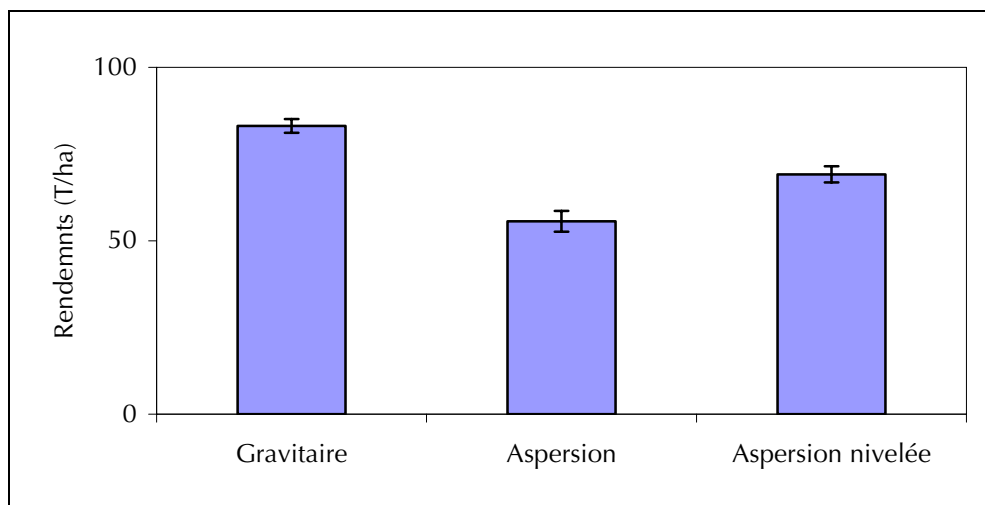


Figure 5. Comparaison des rendements des différents systèmes : campagne : 2004-2005.

Calage et validation du modèle de ruissellement

Les données de ruissellement recueillies durant la campagne 2004-2005 ont permis de caler le modèle de ruissellement RUISPAR (pour l'option SCS (figure 6) et Green et Ampt (figure 8)). Ce modèle a été validé sur des épisodes pluvieux enregistrés durant la saison 2005-2006 pour les deux options (option SCS (figure 7) et Green et Ampt (figure 9)). Les écarts entre les valeurs simulées et mesurées sont évalués par la fonction objectif F de Nash (Nash et Sutcliffe, 1970). Les valeurs obtenues aussi bien pour le calage que la validation pour les deux options sont satisfaisantes.

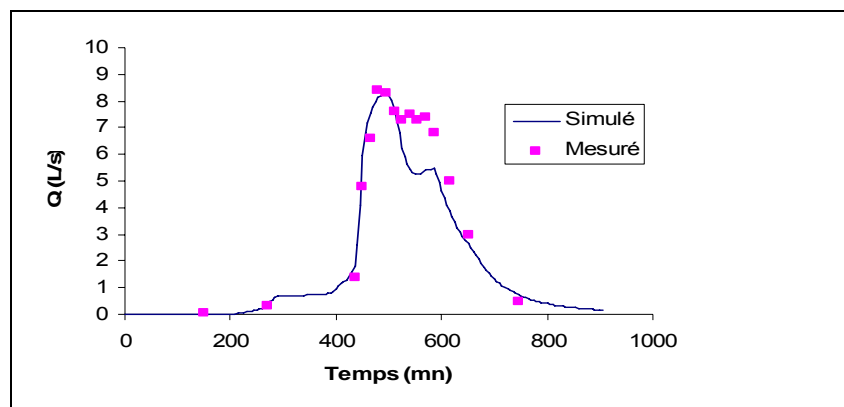


Figure 6. Calage du modèle de ruissellement selon l'option SCS. Ruissellement de mars 2005 : ($J = 36$ mm, $K = 10$; Crit. Nash = 0.817).

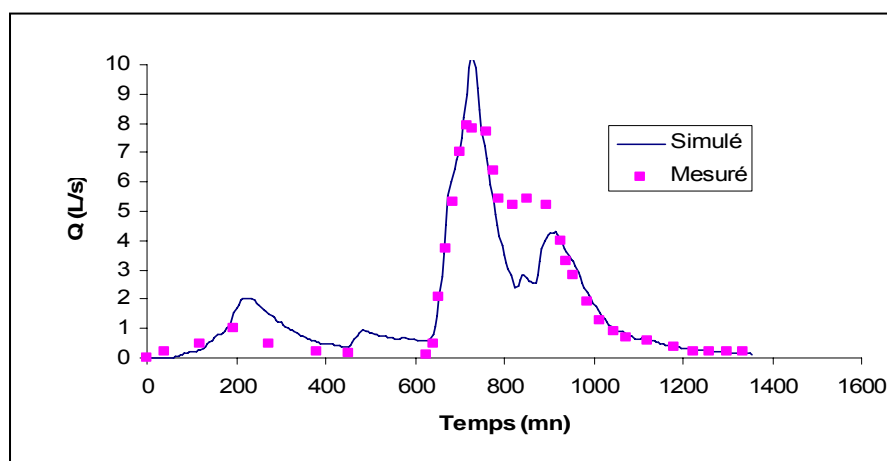


Figure 7. Validation du modèle de ruissellement selon l'option SCS. Ruissellement de janvier 2006 ($J = 36$ mm, $K = 6$; Crit. Nash = 0.910) avec : Infiltration potentielle et K : coefficient de Manning concernant la raie.

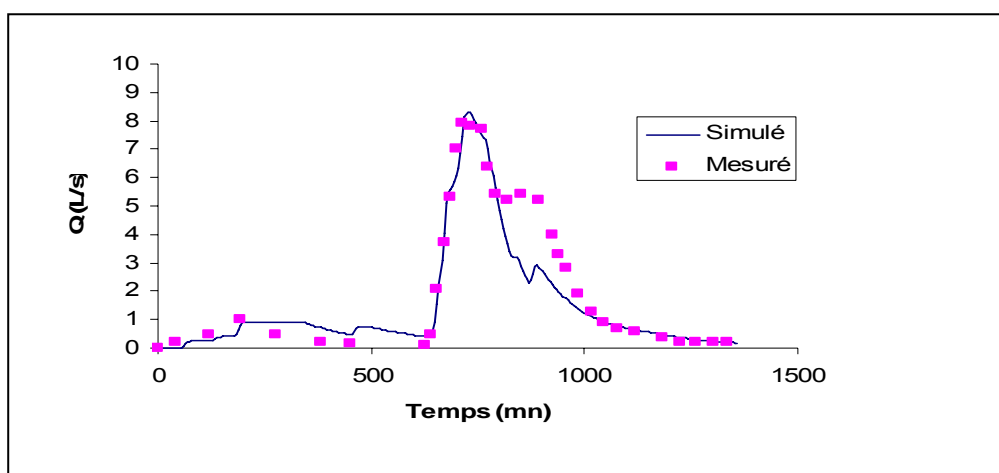


Figure 8. Calage du modèle de ruissellement selon l'option Green et Ampt. Ruissellement de Mars 2005 : Modèle d'infiltration type Green et Ampt ($K_s = 0.2 \text{ cm/h}$, $K = 5$, $\theta_i = 0.43$; Crit. Nash = 0.965)

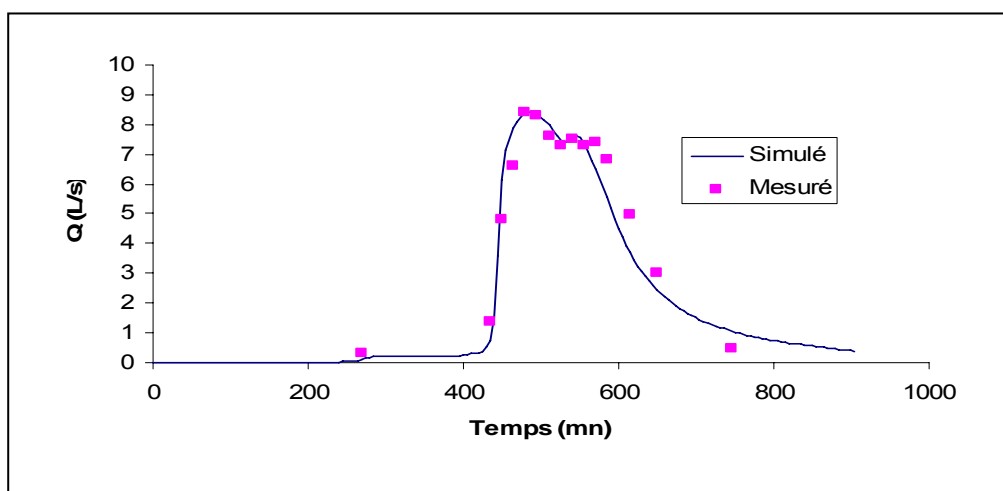


Figure 9. Calage du modèle de ruissellement selon l'option Green et Ampt. Ruissellement janvier 2006 : ($K_s = 0.2 \text{ cm/h}$; $K = 5$, $\theta_i = 0.44$; Crit. Nash = 0.889).

Avec K : conductivité à saturation, θ_i : teneur en eau initiale et K : coefficient de Manning concernant la raie

Choix du modèle de culture et premières tentatives de calage et validation pour la betterave à sucre

Le modèle Pilote (Mailhol, 2003) plus opérationnel en raison de l'accessibilité de ses paramètres réduits en nombre et par ailleurs plus aisé à caler a été utilisé dans le cadre de ce travail. Ce modèle simule le bilan hydrique et le rendement en fonction du LAI (Leaf Area Index) qui reste un témoin visible des potentialités productive de plante au cours de la croissance. Un stress hydrique momentané induit chez certaines cultures comme le maïs ou le sorgho un enroulement des feuilles (Olufayo, 1994) ou un arrêt de son évolution.

Les premières tentatives du calage et la validation du modèle pour la betterave à sucre ont été réalisées pour le contexte du Gharb. Toutefois, ce modèle devra être intégré au modèle de ruissellement pour pouvoir déterminer les excès d'eau qui peuvent être préjudiciables au développement de la betterave à sucre.

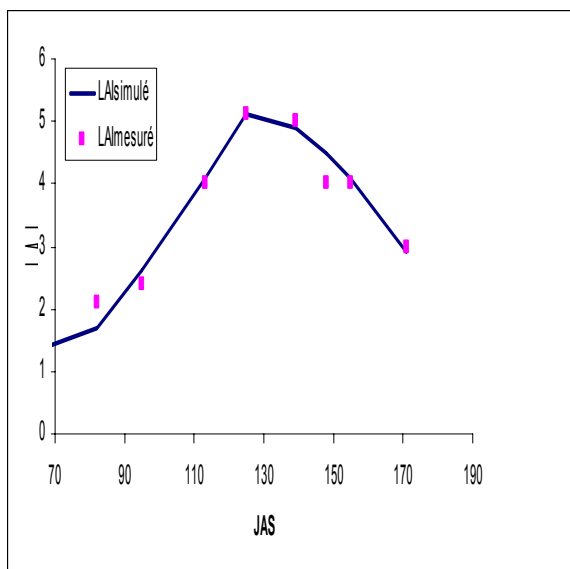


Figure 10. Calage du LAI.

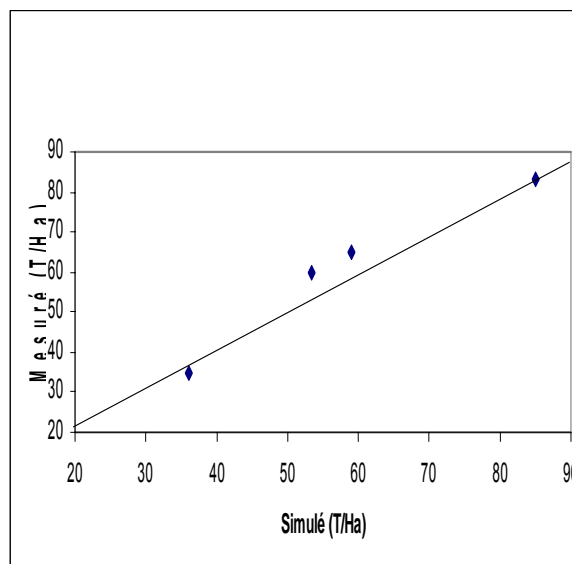


Figure 11. Simulation du rendement.

Conclusion

Compte tenu de l'analyse des premiers résultats obtenus en matière expérimentale et malgré que la campagne objet de l'étude fût sèche, il a été relevé ce qui suit :

- performances hydrauliques : le système gravitaire à la raie longue a permis d'évacuer environ 20 % des précipitations recueillies ;
- performances agronomiques : le rendement en racine a été meilleur avec l'irrigation à la raie longue qu'avec l'irrigation par aspersion. L'aspersion nivelée présente de bons résultats.

Par ailleurs, le modèle de ruissellement établi pour le contexte du Gharb simule bien le processus et le coefficient de Nash est important pour les deux options choisies aussi bien celle du SCS que celle de Green et Ampt.

A la lumière de ce qui précède, tout laisse penser que le recours au nivellement et à sa correction est impérative au niveau Gharb. Il peut être aussi envisageable de procéder au nivellement au système aspersion.

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.

BRISSON N., CASALS M.L., ANTONIOLETTI R., GATE P., RAGAB R., EL QUOSY D.E., D., Van DEN-BROEK B., PERREIRA L.S., 1996. Un modèle dynamique du blé dur qui simule certains mécanismes de résistance à la sécheresse. *Sustainability of irrigated agriculture crop-water environment models. Proceedings of workshop at the ICID Congress, Cairo, Egypt, 17 septembre*, 223-224.

BRISSON N., MARY B., RIPOCHE D., JEUFROY M.H., RUGET F., NICOUILLAUD B., GATE P., DEVIENN-BARRET F., ANTONIOLETTI R., DURR C., RICHARD G., BEAUDOIN N., RECOUS S., TAYOT X., PLENET D., CELLIER P., MACHET J.M., MEYNARD J.M., DECLÉCOLLE R., 1998. STICS : ageneric model for simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrisation applied to wheat and corn. *Agronomie*, n° 18, 311-346.

DEBBARH A., HAMMANI A., BOUARFA S., CHAUMONT C., 1998. Résultats de deux années de suivi de la salinité des eaux et des sols sous drainage (station expérimentale de Souk Tlet). *Drainage de la plaine du Gharb, Kénitra, Maroc, Actes Editions, Rabat*.

- DEBBARH A., HAMMANI A., ZIMMER D., BOUARFA S., ZRAOULI M., 1998. Expérimentation du drainage dans le périmètre du Gharb, suivi de la salinité des eaux et des sols. 13th International congress on agricultural engineering, Rabat, Morocco, CIGR.
- DUNNE T., BLACK R.D., 1970. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Research* 7: 1160-1172.
- GREEN W.H., AMPT G.A., 1911. Studies in soils physics.1.the flow of air and water through soils. *J. Agr.Sci* 4: 1-24.
- 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). Thèse de doctorat de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, 245 p.
- MAILHOL J.C., BEN ALI M., 1999. Amélioration de la pratique de l'irrigation à la raie dans la plaine du Gharb. La maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéens, Rabat, Maroc.
- MAILHOL J.C., M. PRIOL M., BENALI M., 1999. A furrow irrigation model to improve irrigation practices in the Gharb valley of Morocco. *Agricultural Water Management* 42: 65-80.
- MAILHOL J.C., 2001. Contribution à l'amélioration des pratiques d'irrigation à la raie par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et de la saison. Doctorat, Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 276 p.
- MAILHOL J.C., 2003. Loi de l'infiltration en milieu poreux non saturé. Cours de DEA Sciences de l'eau dans l'environnement continental. Engref-Montpellier
- MOREL-SEYTOUX H.J., 1973. Pour une théorie modifiée de l'infiltration: comment ? *Cahiers ORSTOM série hydrol*, X : 185-194.
- MOREL-SEYTOUX H.J., 1973. Sur l'intérêt d'une correction à la loi d'infiltration de green et Ampt. *Compte-rendu de l'académie des sciences, Paris*, t 277 série A : 629-631
- NASH J.E., SUTCLIFFE J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology* 10 : 282-290.
- OLUFAYO A., 1994. Caractérisation des réponses du sorgho grain au déficit hydrique à l'aide d'indicateurs bioclimatiques. Doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes, 93 p.
- RITCHIE J.T., KINIRY J.R., JONES C.A., DYKE P.T., 1986. Models inputs In: *CEREES-Maize. A simulation model of maize growth and development* (C.A, Jones and J.R, Kiniry, eds.), Texas A & M Univesity Press, College Station, Texas, p. 38-48.
- RUELLE P., 1995. Variabilité spatiale à l'échelle de parcelles de cultures : étude expérimentale et modélisation des bilans hydriques et des rendements. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1, 210 p.
- TABET, A., 1978. Analyse de résultats expérimentaux d'un drainage sur sols argileux lourds. 10th Congress on Irrigation and Drainage, Athens, ICID.
- WILLIAMS J.R, JONES C.A., DYKE P.T., 1984. A modelling approach to determine the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE*.27 (1): 129-144.
- TAKY A., 2003. Impacts des pratiques d'irrigation gravitaire sur le ruissellement hivernal - Cas de la plaine du Gharb (Maroc). Mémoire de DEA, Sciences de l'eau dans l'environnement continental; ENGREF- Montpellier.
- VINCENT B., HAMMANI A., JAMET L., BAQRI A., TAKY A., FARHAOUI M., 1999. Performances hydrauliques des systèmes de drainage dans le Gharb. Séminaire Euro-méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéen, Rabat, Maroc.
- ZIMMER D., HAMMANI A., BOUARFA S., TAKY A., 1999. Conception du drainage dans le périmètre du Gharb. Séminaire Euro-méditerranéen sur la maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués méditerranéen, Rabat, Maroc.