

Conception du drainage agricole dans la plaine du Gharb (Maroc) basée sur la modélisation couplée du drainage souterrain et du drainage de surface.

Ali Hammani, Sami Bouarfa, Abdelhafid Debbarh, Daniel Zimmer

► **To cite this version:**

Ali Hammani, Sami Bouarfa, Abdelhafid Debbarh, Daniel Zimmer. Conception du drainage agricole dans la plaine du Gharb (Maroc) basée sur la modélisation couplée du drainage souterrain et du drainage de surface.. Serge Marlet, Pierre Ruelle. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation, 2002, Montpellier, France. Cirad - IRD - Cemagref, 10 p., 2003. <cirad-00180718>

HAL Id: cirad-00180718

<http://hal.cirad.fr/cirad-00180718>

Submitted on 19 Oct 2007

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.

Conception du drainage agricole dans la plaine du Gharb (Maroc) basée sur la modélisation couplée du drainage souterrain et du drainage de surface

HAMMANI Ali*, BOUARFA Sami**, DEBBARH Abdelhafid***, ZIMMER Daniel****

* Professeur habilité à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

** Chargé de recherche au CEMAGREF, Montpellier, France

*** Directeur de l'Ecole nationale d'agriculture de Meknès, Maroc

**** Directeur du Conseil mondial de l'eau, Marseille, France

Résumé

La mise en valeur du périmètre irrigué du Gharb, qui est l'un des plus importants du Maroc, est entravée par des problèmes de drainage liés à des engorgements des sols dus aux excès d'eau de pluie d'hiver, à la faible perméabilité des sols et à l'absence de drainage naturel. Un réseau de drainage souterrain a été installé pour remédier à ces problèmes. Des dysfonctionnements de ce réseau ont été observés mettant en évidence sa faible efficacité hydraulique. Par ailleurs, afin de permettre au périmètre irrigué du Gharb d'avoir ses propres références en drainage agricole, une station expérimentale a été mise en place en 1995 dans la région de Souk Tlet. L'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage dans la station expérimentale a mis en évidence l'importance du drainage de surface notamment dans les parcelles nivelées. Afin de mieux comprendre le fonctionnement du drainage dans le Gharb un modèle bidimensionnel horizontal couplant les écoulements de surface et les écoulements souterrains vers les systèmes de drainage a été développé. Le modèle d'écoulement souterrain résout l'équation de Laplace en deux dimensions (x,y) en milieu saturée. Les écoulements de surface vers les systèmes de captage ont été représentés par un modèle conceptuel à un seul réservoir appliqué à l'échelle d'une entité spatiale définissant le schéma de discrétisation du modèle d'écoulement souterrain. Le modèle couplé, une fois validé, a été utilisé pour orienter le choix des critères de conception du drainage dans le périmètre irrigué du Gharb. Ainsi, des simulations sur une longue période du fonctionnement du drainage ont été réalisées pour différentes variantes de drainage afin de choisir le couple débit de projet – écartement entre les drains en fonction de la perméabilité et de l'état de surface du sol.

Abstract

The Gharb perimeter is the most important irrigated area in Morocco with more than 100 000 ha equipped from 250 000 ha planed. The development of this plain is, however, hampered by many problems linked to agricultural drainage. Thus, the Gharb perimeter suffer form soils waterlogging due to rain water excess, from the low soil hydraulic conductivity, from the presence of a shallow and saline watertable and from the lack of natural drainage. To remedy these problems, more than 80 000 ha were equipped by subsurface drainage. However, many dysfunctions of tile drains network were observed. In other to enable the Gharb perimeter to have his own references on agricultural drainage, a pilot experiment station was put up in the Souk Tlet region. The experiment studies have shown the importance of surface drainage in water excess evacuation. For best understanding of drainage functioning in the Gharb perimeter, a tow-dimensional coupled model was developed for simultaneously simulation of surface and subsurface flow. The groundwater model solve tow-dimensional Laplace equation. Surface flow toward ditches is represented by a one reservoir conceptual model applied to finite

difference mesh of groundwater model. After validation, coupled model was used to orient the choice of drainage design criteria in the Gharb perimeter. Thus, many alternatives of drain spacing – drainage discharge were tested for some condition of soil hydraulic conductivity and soil surface.

Introduction

Depuis longtemps, la conception du drainage agricole repose sur des méthodes basées sur la théorie de l'écoulement souterrain. Même si le rôle des écoulements de surface dans l'évacuation des excès d'eau peut être important, leur prise en considération dans la conception reste très sommaire à travers l'utilisation d'un coefficient de restitution du drainage souterrain. Dans le périmètre irrigué du Gharb, l'importance du drainage de surface a été montrée à travers des études expérimentales (Bouarfa et al., 2001 ; Hammani, 2002) menées dans la station de Souk Tlet. En effet, la part du drainage de surface dans l'évacuation des excès d'eau peut dépasser les 50 % dans certaines conditions favorables d'état de surface du sol.

La compréhension de l'interaction entre le drainage de surface et le drainage souterrain dans le périmètre irrigué du Gharb doit passer par une modélisation de ces deux types d'écoulement. Un modèle couplant les écoulements de surface et les écoulements souterrains vers les systèmes de captage a été mis au point et testé sur les données de la station expérimentale de Souk Tlet. Le modèle, après calage et validation a été utilisé pour la simulation du fonctionnement du drainage sur une longue période. La simulation de plusieurs variantes de drainage a permis d'orienter le choix du couple débit de projet – écartement entre les drains en fonction de la perméabilité et de l'état de surface du sol.

Le modèle du drainage souterrain

Le modèle du drainage souterrain résout par la méthode des différences finies l'équation des écoulements souterrains bidimensionnels horizontaux dans une nappe phréatique qui s'écrit de la façon suivante :

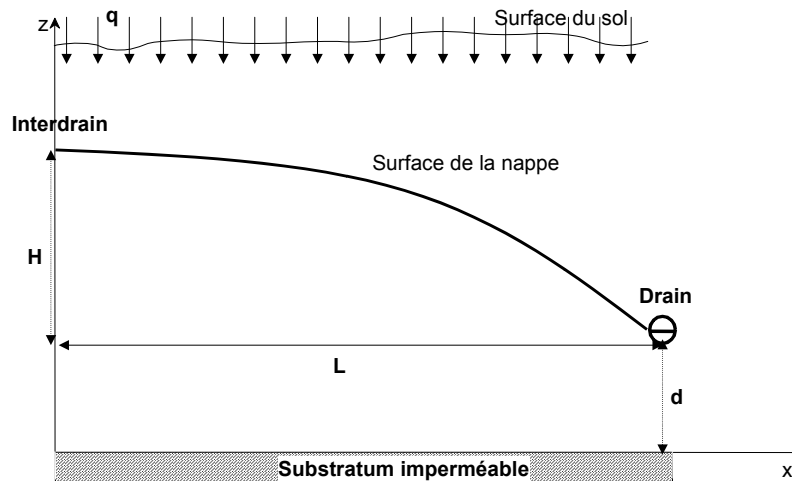
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_x (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y (h - z_s) \frac{\partial h}{\partial y} \right] = \mu \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, t) \quad (1)$$

dans laquelle :

- K_x et K_y sont les conductivités hydrauliques respectivement dans les directions x et y [LT^{-1}];
- μ est la porosité de drainage [L];
- h est la charge hydraulique [L];
- z_s est la cote du substratum imperméable;
- $W(x, y, t)$ est le terme puis source qui comprend l'évapotranspiration et la recharge nette de la nappe [LT^{-1}].

Des améliorations ont été nécessaires pour permettre au modèle d'écoulement souterrain de représenter correctement l'écoulement vers un système de drainage. Ces améliorations ont consisté à la correction de l'hypothèse de Dupuit-forchheimer. L'approche utilisée consiste à adapter le modèle saturé bidimensionnel horizontal pour qu'il puisse être capable de reproduire les formes de nappe et les débits de drainage simulés par un modèle variablement saturé bidimensionnel vertical, en l'occurrence le modèle Hydrus-2D (Simunek et al., 1996). Le travail s'est fait sur un système drainant (figure 1) pour différentes situations d'écartement ($2L$), de profondeur de substratum (d), de rayon du drain (r_0) et de rapport q/K (où q est la vitesse de recharge et K la conductivité hydraulique saturée).

Figure 1. Système drainant pris en considération en drainage agricole



Ainsi, deux formules ont été développées et incorporées dans le modèle bidimensionnel horizontal :

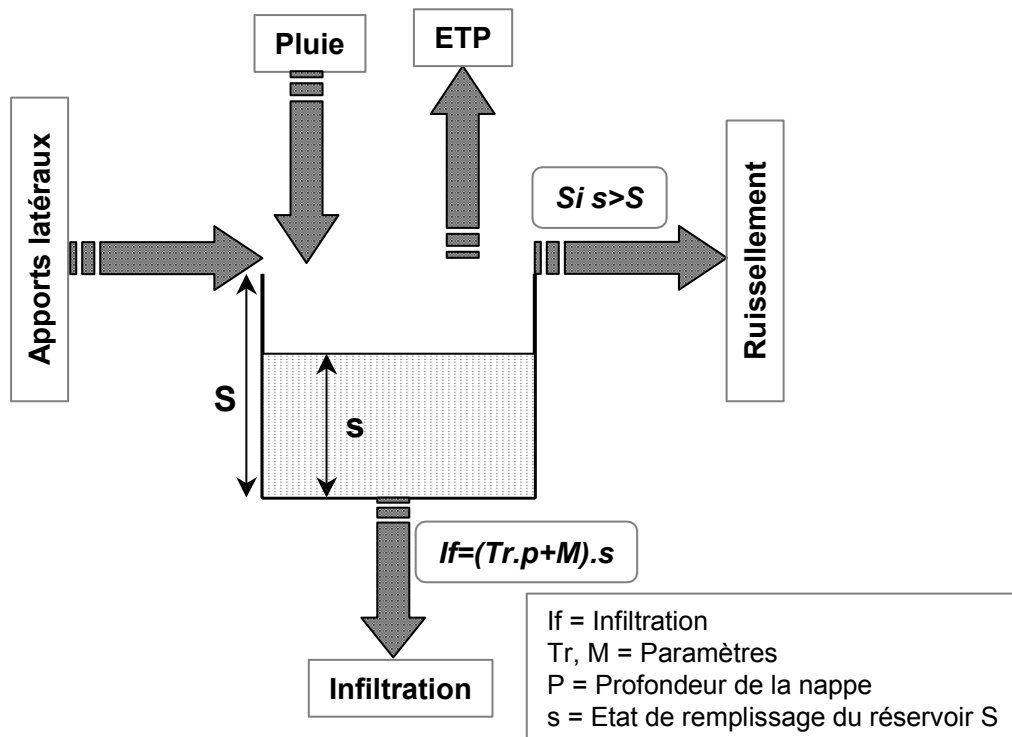
- La première pour déterminer, dans chaque nœud du domaine, une profondeur effective du substratum imperméable, inférieure à la profondeur du substratum réel afin d'augmenter les pertes de charges sur l'ensemble du système.
- La seconde permet de calculer une hauteur de nappe au drain pour prendre en considération la convergence des écoulements. Cette hauteur est imposée au niveau du drain sous forme d'une loi $Q(h_r)$ (où h_r est la hauteur d'eau résiduelle au-dessus du drain).

Modèle de drainage de surface

Le modèle retenu pour la simulation des écoulements de surface consiste à générer l'infiltration et le ruissellement par un modèle conceptuel à réservoirs et l'appliquer à l'échelle des mailles définissant le schéma de discrétisation spatiale du modèle d'écoulement souterrain. Pour cela le modèle conceptuel à trois réservoirs SIRUP (Kao et al., 1998) a été adapté. Le premier réservoir de SIRUP constitue sa fonction de production, le deuxième sa fonction de transfert et le troisième est utilisé pour le prélèvement par évapotranspiration et pour la recharge effective de la nappe.

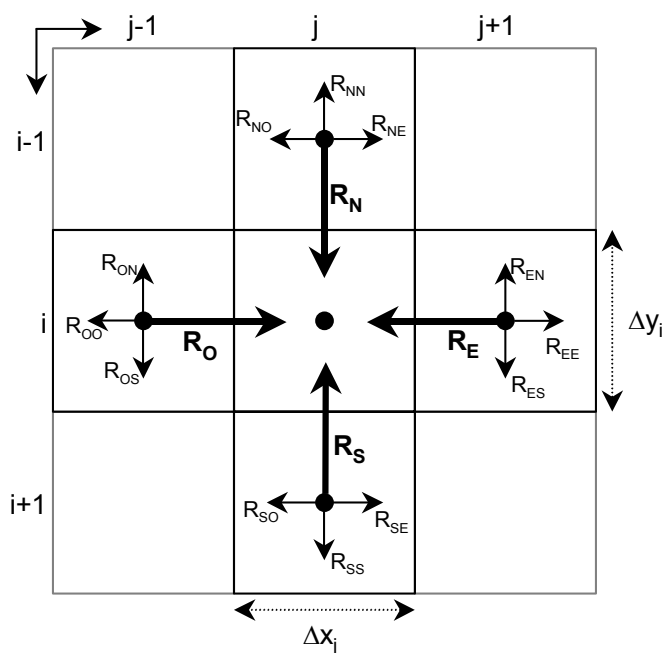
Le modèle SIRUP a été simplifié pour ne retenir qu'un seul réservoir jouant le rôle de fonction de production (figure 2). Le transfert est assuré par la spatialisation du modèle et l'évapotranspiration est gérée autrement que dans le modèle SIRUP. Le réservoir de capacité maximale S est alimenté par la pluie et par les flux à partir des mailles voisines. La vidange du réservoir se fait par l'infiltration qui est fonction linéaire de la profondeur de la nappe, le ruissellement qui ne se produit que si le stock disponible dépasse le stock maximal S et par l'évapotranspiration qui peut être aussi prélevée de la nappe au cas où elle n'est pas totalement satisfaite par le réservoir S . S , Tr et M sont les paramètres du modèle d'écoulement de surface.

Figure 2. Schéma du modèle conceptuel de ruissellement à un seul réservoir



La spatialisation du modèle d'écoulement de surface consiste à l'appliquer à différentes mailles du modèle d'écoulement souterrain. A partir d'une maille donnée, le ruissellement généré est réparti dans les différentes directions en fonction de la pente (figure 3).

Figure 3. Schéma illustrant les échanges de surface entre les différentes mailles



Dans chaque entité spatiale définie par une maille de différences finies du modèle d'écoulement souterrain, le bilan hydrique peut s'écrire comme suit :

$$P_{i,j} + R_N + R_S + R_E + R_O = R_{i,j} + If_{i,j} + \Delta S_{i,j} \quad (2)$$

Où :

- $P_{i,j}$ est la pluie qui a lieu dans la maille (i,j) ;
- $R_{i,j}$ est le ruissellement généré au niveau de la maille (i,j) ;
- $If_{i,j}$ est l'infiltration calculée dans la maille (i,j) ;
- R_E , R_N , R_O et R_S sont les ruissellements alimentant la maille (i,j) respectivement à partir des mailles Est $(i,j+1)$, Nord $(i-1,j)$, Ouest $(i,j-1)$ et Sud $(i+1,j)$. Ces termes sont positifs ou nuls.
- $\Delta S_{i,j}$ est la variation du stock d'eau de surface dans la maille (i,j) .

Pour prendre en considération le routage du ruissellement entre le point où il est généré et l'ouvrage de captage, des flux maximaux sont imposés entre deux mailles voisines. Ce flux maximum est déterminé en appliquant un coefficient K_r (compris entre 0 et 1) aux flux potentiellement transférable. On peut aussi utiliser l'équation de Manning-Strickler pour le calculer.

Calage des paramètres du modèle et validation

Le modèle de ruissellement est couplé au modèle d'écoulement souterrain d'une manière formelle. Ainsi à chaque itération de calcul du modèle souterrain le ruissellement et l'infiltration sont calculés par le modèle de surface par un processus itératif. Le modèle de surface utilise les profondeurs de la nappe simulées par le modèle souterrain ; celui ci considère que l'infiltration générée par le modèle de surface au niveau de chaque maille est considérée comme une recharge effective.

Le modèle a été validé et ses paramètres ont été calés sur les données de la station expérimentale de Souk Tlet du Gharb. La station expérimentale, opérationnelle depuis 1996, couvre une surface de près de 30 ha dont 16 servent pour l'expérimentation. Elle est répartie en 14 parcelles selon le mode de drainage et selon les techniques d'irrigation. Un dispositif expérimental assure la mesure automatique des débits de drainage et des hauteurs de nappe dans les différentes parcelles.

Le fonctionnement hydraulique du drainage est classique quant à la débitimétrie et à la piézométrie sauf pour le drainage taupe où les débits sont très fugaces. Les débits de drainage de surface sont également fugaces. Des plafonnements des débits de drainage souterrain sont observés pendant les épisodes pluvieux prolongés. La capacité de transport des tuyaux de drainage a été avancée pour expliquer ce phénomène.

Des observations sur le terrain des schémas d'écoulement de surface en plein saison de drainage intense ont permis la mise en évidence des échanges entre les parcelles et entre la station expérimentale et son entourage. Sur la base de ces schémas d'écoulement 6 unités hydrologiques (équivalentes aux bassins versant) ont été délimitées. La localisation des avoires de collecte des eaux de ruissellement a également été prise en considération dans cette délimitation. Deux types d'écoulement de surface ont été mis en évidence :

- Schéma d'Horton qui se produit lorsque l'intensité d'infiltration de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol. Ce schéma est observé au début de la saison de drainage intense et en fin d'épisodes secs prolongés.
- Schéma de Dunne dû à la remontée de la nappe qui atteint la surface du sol. Ce schéma est observé pendant la saison de drainage intense lors des fortes pluies.

L'étude du fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage dans la station expérimentale a permis de préparer le terrain pour le calage des paramètres du modèle développé et pour sa validation. Les paramètres à déterminer sont la conductivité

hydraulique et la porosité de drainage pour le modèle souterrain et le stock maximal S du modèle de surface, le paramètre d'infiltration Tr et le paramètre de routage Kr pour le modèle d'écoulement de surface. Nous avons retenu l'approche par zonation pour la détermination des paramètres, chaque parcelle constitue une zone, ce qui porte le nombre de paramètres à déterminer à 65 pour les 13 parcelles.

La période choisie pour le calage s'étend entre le 25/11/97 et 4/3/98. C'est la période la plus complète en terme de mesures. Le calage s'est fait par tâtonnement et les paramètres ont été appréciés par le critère de Nash qui traduit la différence entre les valeurs mesurées et simulées aussi bien pour les débits de drainage que les hauteurs de nappe. Le critère de Nash n'étant pas à lui seul suffisant et donc nous nous sommes intéressés également à l'occurrence des débits de drainage et des hauteurs de nappe. La simulation des chroniques des débits de drainage souterrain, des débits de drainage de surface et des hauteurs de nappe est satisfaisante dans la plupart des parcelles de la station expérimentale (figure 4). Une tentative de validation du modèle a été faite pour les périodes du 4/12/96 au 4/2/97 et du 20/12/00 au 20/12/01. Pendant la campagne 1996/1997, les chroniques de débits de drainage souterrain et de surface sont restitués d'une manière satisfaisante sauf pour la parcelle équipée en drainage taupe. La campagne 2000/2001 est marquée par le fonctionnement du drainage après une opération d'augmentation des écartements intervenu dans la station expérimentale en 1999. L'écartement moyen de la station expérimentale est passé de 25 m à 50 m. L'événement le plus important de ruissellement survenu pendant cette campagne est resitué par le modèle qui génère cependant des ruissellements non observés en début de campagne.

Utilisation du modèle pour l'orientation du choix des critères de conception dans le périmètre du Gharb

Il est à rappeler tout d'abord que la conception des systèmes de drainage se base classiquement sur deux méthodes : la méthode du régime permanent et la méthode du régime de tarissement non influencée dans lesquelles des formules simplifiées sont utilisées et les débits de projets sont calculés préalablement au dimensionnement du réseau sur la base d'une étude fréquentielle de pluies journalières. Nous proposons une démarche de conception basée sur la modélisation par des simulations sur une longue période du fonctionnement du drainage suivi d'une analyse statistique des débits de drainage et des profondeurs de nappe.

Ainsi, des simulations du fonctionnement de drainage sur 24 ans ont été réalisées en considérant uniquement les cinq mois les plus pluvieux de l'année soit de novembre à mars. Les données journalières de pluies sont celles de la station de Souk Larbaâ sur la période allant de 1973 à 1998.

16 variantes de drainage ont été testées :

- Une profondeur de drain de 1.2 m
- 4 écartements 20, 40, 60 et 80 m
- 2 classes de perméabilité du sol : sols peu perméables (0.2 m/j) et sols perméables (2 m/j) ;
- 2 états de surface du sol : Nivelé représenté par ($Kr=1$, $S=5\text{mm}$ et $Tr=0.03$) et Non nivelée représenté par ($Kr=0.95$, $S=15\text{mm}$ et $Tr=0.1$)

Les résultats des simulations en termes de débits de drainage et de profondeur de nappe ont été analysés statistiquement pour déterminer les fréquences de dépassement des débits de drainage souterrain, des débits de drainage de surface et des temps de séjour de la nappe au-dessous d'une profondeur de 0,6 m. Pour chaque variante on s'est intéressé aux valeurs de fréquence annuelle jugée suffisante en drainage agricole.

Lorsque le drainage de surface est pris en considération, les débits de drainage souterrain, de période de retour annuelle, sont fonction de l'écartement et des caractéristiques du sol et

du terrain naturel. Chaque débit de drainage souterrain est associé à un débit de drainage de surface et à un temps de séjour de la nappe.

Pour un écartement donné on est amené à choisir le débit de drainage souterrain qui correspond à une durée d'engorgement des sols tolérable (c'est à dire un temps de séjour inférieure à une dizaine de jours). Ce débit peut être considéré comme débit de projet du drainage souterrain. Le tableau I donne le couple débit de projet – écartement pour les variantes qui ont été testées (figure 4). Chroniques simulées et mesurées des débits de drainage souterrain, des débits de drainage de surface et des charges hydrauliques dans quelques parcelles de la station expérimentale

Figure 4. Chroniques simulées et mesurées des débits de drainage souterrain, des débits de drainage de surface et des charges hydrauliques dans quelques parcelles de la station expérimentale

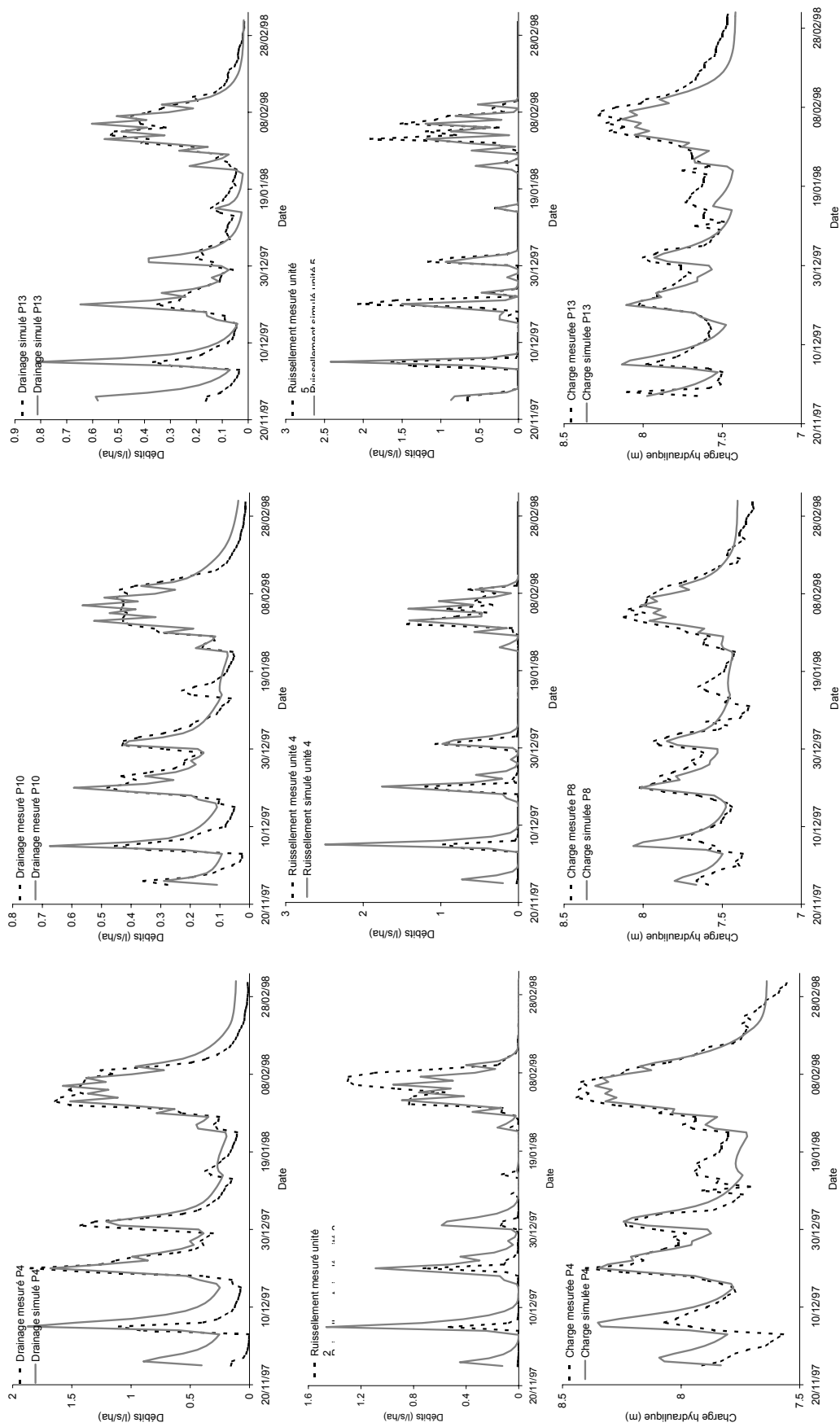


Tableau I. Couple débit du projet / écartement pour différentes situations de perméabilité du sol et d'état de surface

Conductivité hydraulique	Etat de surface	Ecartement (m)	Débit du projet souterrain (l/s/ha)	Débit de surface (l/s/ha)	Souterrain + surface (l/s/ha)	Temps de séjour (m)
Faible	Nivelé	>20 et <40	1.05	1.90	2.95	3
Faible	Non nivelé	20	1.35	0.61	1.96	9
Elevée	Nivelé	80	0.95	1.57	2.52	11
Elevée	Non nivelé	60	1.55	0.48	2.03	8

A la lumière de ces résultats, deux méthodes de conception basées sur la modélisation du drainage peuvent être proposées pour améliorer les pratiques de conception dans le périmètre irrigué du Gharb.

- La première consiste à réaliser des simulations sur un grand nombre de situations d'écartement, de perméabilité du sol et d'état de surface. Le but est d'établir un abaque à mettre à la disposition des concepteurs.
- La deuxième méthode consiste à coupler le modèle à un logiciel de CAO de drainage. Le CAO permet le tracé et le calage du réseau dont les coordonnées et les profils en long sont transférés sous forme de fichier au modèle qui permettra la simulation de la variante de drainage définie dans le CAO.

Conclusion

L'outil de simulation bidimensionnel développé pour prédire en même temps le drainage de surface et le drainage souterrain permet une représentation très proche de la réalité des systèmes de drainage notamment dans le périmètre irrigué du Gharb. La pertinence du modèle pour la restitution des débits de drainage et des hauteurs de nappe a été démontrée dans les conditions expérimentales. Il a également permis d'expliquer les résultats expérimentaux caractérisés par une hétérogénéité de fonctionnement hydrologique entre les différentes parcelles de la station expérimentale de Souk Tlet.

Les connaissances acquises sur la station expérimentale ainsi que les résultats de la modélisation du drainage ont été capitalisés pour développer une nouvelle méthode de conception permettant de raisonner conjointement le drainage de surface souterrain, d'une part, et pour orienter la conception et le choix de la technique de drainage dans le périmètre irrigué du Gharb, d'autre part. Le modèle couplé s'est avéré un bon outil pour le choix du couple écartement - débit de projet à travers une étude statistique des débits de drainage, simulés sur une longue période.

L'outil de simulation développé présente, cependant, un certain nombre de limitations liées (i) à la paramétrisation du ruissellement qui reste dépendante du site expérimental, (ii) au fait que la loi de prélèvement directe de la nappe par évapotranspiration n'a pas été validée et (iii) à une absence d'étude de sensibilité des paramètres. Le modèle serait, cependant, utile pour d'autres régions où le climat est caractérisé par des pluies intenses donnant lieu à d'importants écoulements de surface.

Références

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. Accepté pour publication dans "Irrigation and Drainage Systems". Irrigation and Drainage Systems, 16, 89-110.

HAMMANI A., 2002. Modélisation couplée du drainage desur face et du drainage souterrain : application à la conception du drainage dans le périmètre irrigué du Gharb. Thèse de Doctorat ès Sciences Agronomiques de l'IAV Hassan II, Rabat.

KAO, C., NEDELEC, Y., ZIMMER, D., 1998. « SIRUP, a field-scale model for surface runoff in subsurface drained fields. In. Actes de la 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France, ISSS.

SIMÚNEK, J., ŠEJNA, M., VAN GENUCHTEN, M. Th., 1996. HUDRUS-2D : Simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media. International Groudwater Modeling Center, US Salinity Laboratory, USDA/ARS, Riverside California.