



HAL
open science

Utilisation d'un modèle à base physique pour l'optimisation multicritères de l'irrigation des prairies par submersion

Mohamed Alkassem Alosman, Stéphane Ruy, Albert Oliosio, Fabrice Flamain,
Patrice Lecharpentier, Samuel Buis, Jean-Claude Bader, François Charron,
Gilles Belaud, Antoine Baillieux

► To cite this version:

Mohamed Alkassem Alosman, Stéphane Ruy, Albert Oliosio, Fabrice Flamain, Patrice Lecharpentier, et al.. Utilisation d'un modèle à base physique pour l'optimisation multicritères de l'irrigation des prairies par submersion. 40èmes Journées Scientifiques du GFHN, Nov 2015, Marne-la-Vallée, France. hal-02743646

HAL Id: hal-02743646

<https://hal.inrae.fr/hal-02743646>

Submitted on 3 Jun 2020

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.

UTILISATION D'UN MODÈLE A BASE PHYSIQUE POUR L'OPTIMISATION MULTICRITÈRES DE L'IRRIGATION DES PRAIRIES PAR SUBMERSION

**ALKASSEM ALOSMAN M. (1), RUY S.(1), OLIOSO A. (1), FLAMAIN F. (1),
LECHARPENTIER P. (1), BUIS S. (1), BADER J.C. (2), CHARRON F. (3),
BELAUD G. (3), BAILLIEUX A. (1, 4)**

(1): INRA, UMR EMMAH, Avignon, www.umr-emmah.fr

(2): IRD, UMR G-Eau, Montpellier, www.g-eau.net

(3) : SupAgro-M, UMR G-Eau, Montpellier, www.supagro.fr

(4) : SYMCRAU, Istres, www.symcrau.com

Résumé:

Dans la région de la Crau, les prairies permanentes bénéficiant d'une AOC « foin de Crau » sont irriguées de façon gravitaire par submersion, à partir d'eau prélevée dans la Durance. Ce système d'irrigation participe très majoritairement (entre 66% et 80% selon les estimations) à la recharge de la nappe souterraine, ressource importante pour l'eau potable, l'agriculture et l'industrie. Face à une possible pénurie d'eau pour l'agriculture à cause des changements climatiques ou des changements d'affectation de la ressource hydrique prélevée dans la Durance, des scénarios d'optimisation pour l'irrigation gravitaire des prairies ont été réalisés à l'aide d'un modèle à base physique (modèle CALHY, [7]) et ont été évalués selon différents critères (coût, consommation d'eau) afin de réduire les quantités d'eau apportées, minimiser le temps d'irrigation et améliorer l'homogénéité de la quantité d'eau drainée à l'échelle de la parcelle. Nous avons modélisé un critère d'arrêt automatique de l'irrigation en fonction de la longueur de la parcelle. Ce critère automatique a été appliqué à l'ensemble des scénarios testés. Un scénario optimal est identifié : l'injection successive du débit d'irrigation en deux points de la parcelle (en amont et à mi longueur) peut réduire de 50% les quantités d'eau apportées par rapport au mode traditionnel pour un faible coût d'aménagement.

Mots clés : irrigation gravitaire, prairie, Crau, modèle d'irrigation, scénario d'optimisation, drainage, infiltration, conductivité hydraulique à saturation, coefficient de Manning.

Abstract:

In the Crau region (southern of France), the permanent grassland benefitting of AOC « foin de Crau » are irrigated by flooding irrigation, with water taken from the Durance river. This system of irrigation participates mainly in the recharge of the Crau aquifer (between 66% and 80% depending on the estimations) which is an important resource for drinking water, agricultural water and water for industry. Facing a lower availability of water for agriculture because of climate change or allocation changes of the Durance water resource, optimization scenarios for the irrigation system were conducted using a physically based model (Calhy model, [7]). They were evaluated according to different criteria (cost, water consumption) in order to decrease the irrigation time and the amount of drained water and to improve its homogeneity at the plot scale. First we modeled an automatic criteria to stop the irrigation depending on the plot's length. This criteria was applied to all tested scenarios. An optimal scenario was identified : supplying water irrigation at two successive points of the plot (upstream and middle of the plot) could save close to 50% of water compared to the traditional irrigation with a low cost of management.

Keys words: flooding irrigation, Crau, irrigation model, optimization scenario, drainage, infiltration, saturated hydraulic conductivity, Manning coefficient.

Comment citer ce document :

1. INTRODUCTION

L'irrigation gravitaire est un système traditionnel largement répandu au niveau mondial, reconnu comme étant fortement consommateur d'eau. Des volumes conséquents sont apportés à la parcelle, qui génèrent des flux d'eau importants aux limites de la parcelle (drainage, ruissellement en aval de la parcelle). Ces flux sont considérés comme des pertes à éviter bien que ces flux d'eau non utilisés sur la parcelle puissent générer des externalités positives (alimentation de zones humides, recharge de la nappe souterraine).

Dans la région de la Crau située dans le sud de la France, près de 14 000 ha de prairies permanentes sont arrosées par submersion. Le foin produit bénéficie d'une AOC indissociable du mode d'irrigation utilisé. L'eau utilisée est prélevée dans la Durance au niveau du barrage de Serre-Ponçon. A partir de la ville de Salon de Provence, plusieurs réseaux de canaux distribuent l'eau directement aux exploitations agricoles. Ils sont gérés par des Associations Syndicales Autorisées (ASA) qui contrôlent le respect des droits d'eau, des tours d'eau, les quantités utilisées par rapport la taille de l'exploitation [1] [2] [3] [4].

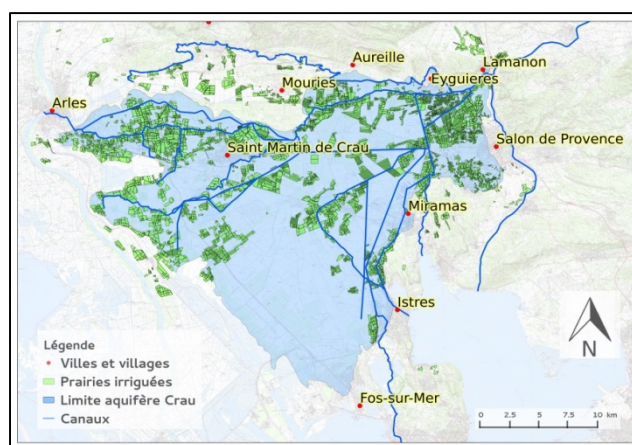


Figure 1 : la plaine de la Crau, la limite de la nappe souterraine, les prairies irriguées et le réseau des canaux principaux de distribution de l'eau d'irrigation aux exploitations agricole.

Dans ce système agricole, les quantités d'eau apportées en tête de parcelle sont très importantes, de l'ordre de 15000 à 20000 m³ ha⁻¹ an⁻¹ [6]. L'irrigation gravitaire participe majoritairement à la recharge de la nappe de la Crau, entre 66% et 80% selon les estimations [8], qui est considérée comme une importante ressource pour l'alimentation en eau potable (250 000 habitants), pour alimenter des activités industrielles et enfin comme eau d'irrigation en particulier pour les autres productions agricoles [4] [5].

Ce système d'irrigation traditionnel peut être remis en cause dans le futur du fait d'une moindre disponibilité en eau dédiée à l'irrigation. Les changements climatiques futurs vont modifier le régime hydraulique de la Durance [1] [9], ce qui peut modifier les ressources disponibles. Des changements d'affectation de la ressource hydrique de la Durance en direction d'autres systèmes d'activités (tourisme, production d'énergie) ou en vue d'augmenter la restitution au milieu naturel [10] peuvent être décidés. Des contraintes politiques et réglementaires peuvent également s'exercer sur les agriculteurs pour les inciter à diminuer les quantités d'eau utilisées [10]. Par ailleurs, une diminution trop importante des quantités d'eau drainées sous les prairies pourraient conduire à diminuer l'exploitabilité de l'aquifère. De plus, l'AOC foin de Crau rend actuellement obligatoire l'irrigation des parcelles par submersion [11]. Au niveau des exploitations, la tendance actuelle vise le

regroupement et l'allongement des parcelles afin de limiter le temps de travail de l'arrosant, le coût de la main d'œuvre étant considéré comme un facteur important pour la durabilité économique des exploitations. Ces évolutions cadastrales peuvent impacter le bilan hydrique au niveau de la parcelle ou de la région, sans que cela soit clairement documenté.

L'objectif de ce travail est de tester différents scénarios de changement des pratiques d'irrigation à l'échelle de la parcelle et de quantifier, à l'aide d'une représentation mécaniste de l'irrigation gravitaire, leurs impacts sur plusieurs critères portant sur (i) le bilan hydrique et le temps d'irrigation à l'échelle de la parcelle, (ii) l'homogénéité du drainage, (iii) le nombre d'interventions de l'arrosant considéré comme un indicateur du temps de travail, (iv) une estimation qualitative du coût d'aménagement des infrastructures à réaliser.

2. MATERIELS ET METHODES

Le modèle d'irrigation

Nous avons utilisé un modèle d'infiltration ruissellement qui simule l'irrigation d'une parcelle par submersion. Il s'agit du modèle CALHY [7]. Ce modèle, basé sur l'approximation d'onde cinématique des équations de Saint Venant, utilise l'équation de Manning-Strickler pour décrire le ruissellement et l'équation de Green et Ampt pour décrire l'infiltration. Les paramètres utilisés et les variables calculées sont décrits dans le tableau 1. Ce modèle a été testé et validé sur de nombreuses parcelles expérimentales dans différents conditions [12]. La figure 2 montre la capacité du modèle à reconstituer la dynamique de la lame d'eau en entrée et sortie de parcelle, après ajustement des paramètres.

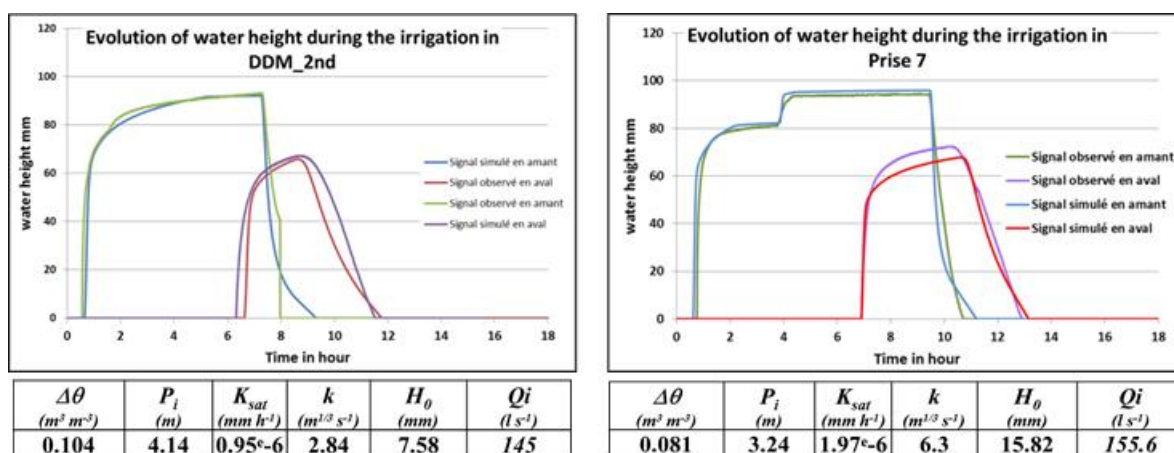


Figure 2 : Reconstitution de la dynamique de la lame d'eau en entrée et en sortie de parcelle avec Calhy, et estimation des paramètres pédologiques et hydrauliques pour deux irrigations sur deux différentes parcelles.

Nous avons utilisé les paramètres hydrauliques et pédologiques moyens issus dans nos simulations (les valeurs sont données dans le tableau 2).

Détermination d'un critère d'arrêt automatique de l'irrigation

Dans un premier temps, nous avons modélisé l'arrêt automatique de l'irrigation en fonction de la longueur de la parcelle afin de définir une durée optimale d'irrigation afin (i) de remplir toute la réserve utile du sol sur toute la parcelle, (ii) de minimiser les quantités d'eau perdue par ruissellement en aval de la parcelle. Cette étude a été réalisée pour 3 valeurs différentes

de la conductivité à saturation du sol K_{sat} qui correspondent aux gammes de valeurs trouvées sur le terrain. La durée optimale d'irrigation a alors été appliquée à tous les scénarios testés.

Les scénarios testés

Nous avons testés 6 scénarios que nous avons appliqués à des parcelles virtuelles de longueur croissante, le 1er scénario étant le scénario de référence correspondant aux pratiques actuelles. Le tableau 3 décrit les différents scénarios utilisés.








Tableau 1 : Les différents paramètres du modèle Calhy nécessaires pour lancer une simulation et les variables de sortie générées par le modèle

Les paramètres d'entrée										Les variables de sortie			
$K_{sat} (m.s^{-1})$	$k (m^{1/3}.s^{-1})$	$\Delta\theta (m^3.m^{-3})$	$Z (mm)$	$P_i (m)$	$H_0 (mm)$	$Q_i (l.s^{-1})$	$L (m)$	$L (m)$	$I (\%)$	$f (mm.s^{-1})$	$F (mm)$	$H (mm)$	$Q (m^3.m^{-1}.s^{-1})$
Conductivité hydraulique à saturation	Coeff. friction hydraulique	Déficit de teneur en eau du sol	Épaisseur du sol	Potentielle succion	Eau retenue en surface du sol	Débit injectée	Longueur	Largeur	Pente	Flux d'infiltration	Infiltration cumulée	Hauteur d'eau à la surface du sol	Débit ruisseau par unité de largeur

Tableau 2 : valeurs moyennes des paramètres du Calhy utilisées pour réaliser les scénarios

$K_{sat} (m.s^{-1})$	$k (m^{1/3}.s^{-1})$	$\Delta\theta (m^3.m^{-3})$	$Z (mm)$	$P_i (m)$	$H_0 (mm)$	$Q_i (l.s^{-1})$	$L (m)$	$L (m)$	$I (\%)$
$2 \cdot 10^{-6}$	4	0.1	600	3	10	140	445	49	0.003

Tableau 3 : description des différents scénarios d'optimisation et évaluations de chacun d'eux selon différents critères

N°		scénario d'optimisation	Aménagement nécessaire	Drainage Homogénéité	Temps d'arrosage	Coût aménagement	Synthèse qualitative
1		Traditionnelle (Scénario de référence)	/	6	6	1	Moins bien
2		Augmentation de la pente (pour le 1er 1/3 de la parcelle)	Nivellement le 1 ^{er} tiers de parcelle	4	5	4	Moins bien
3		2 points d'injection consécutifs (75% X 25%), Q_i	Construire un canal latéral	2	2	3	Mieux
4		2 points d'injection consécutifs (50% X 50%), Q_i	Construire un canal latéral	1	1	2	Mieux
5		2 points d'injection simultanés (50% X 50%), $Q_i/2$	Const. canal latéral+ Partiteur de débit	6	6	5	Moins bien
6		Changer les dimensions et la sens de la pente	Nivellement	2	3	6	bien

3. RESULTATS

3.1 Détermination du Critère d'arrêt automatique de l'irrigation

Normalement l'arrêt de l'irrigation a lieu avant que la lame d'eau arrive au bout de la parcelle, l'inertie de la lame d'eau présente à la surface de la parcelle permettant d'irriguer le bas de la parcelle. La durée optimale d'irrigation est très corrélée à la longueur de la parcelle. Elle est modulée par la valeur de K_{sat} : plus la conductivité du sol est faible plus le critère intervient rapidement (figure 3a), et pour la valeur du déficit d'humidité du sol $\Delta\theta$: le critère augmente lorsque la valeur de $\Delta\theta$ augmente (figure 3b).

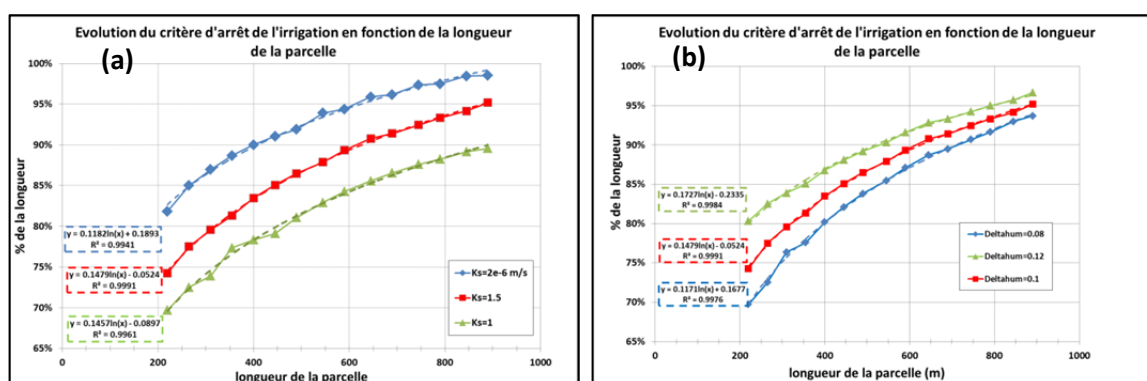


Figure 3 : modélisation du critère d'arrêt en fonction de la longueur de la parcelle pour trois valeurs différentes de K_{sat} (3a) et trois valeurs différentes de $\Delta\theta$ (3b)

3.2 Tests des scénarios

L'impact des scénarios a été quantifié sur plusieurs critères.

3.2.1 Le temps nécessaire pour irriguer toute la parcelle

Cet indice augmente, pour tous les scénarios testés, de façon très fortement non linéaire avec la longueur de la parcelle (figures 4a et 4b). En effet, la lame d'eau présente à la surface du sol durant l'irrigation à un instant donné diminue d'amont en aval du fait de l'infiltration dans le sol. Ainsi, la vitesse d'avancée de la lame d'eau qui dépend de la hauteur de celle-ci (équation de Manning Strickler) va diminuer d'amont en aval : le temps nécessaire pour irriguer une longueur unitaire de parcelle est faible en amont de la parcelle et élevé en aval. Cette évolution sera d'autant plus marquée que la longueur de la parcelle est importante, ce qui explique l'allure des courbes présentées.

Les scénarios 2 (cassure de pente) et 5 (alimentation en eau de la parcelle en deux points simultanément avec partage du débit) sont très proches du scénario de référence : ils ne permettent pas un gain de la durée de l'irrigation. Inversement, les scénarios 3 et 4 d'une part (alimentation en deux points consécutivement) et le scénario 6 d'autre part (arrosage latéral de la parcelle) montrent un gain réel dans la durée d'irrigation, pouvant aller jusqu'à une diminution de 50% par rapport au scénario de référence.

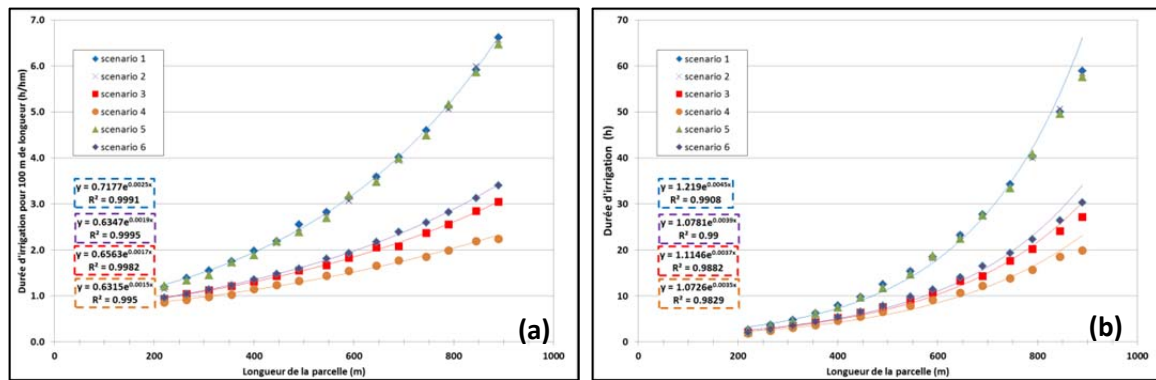


Figure 4 : évolution du temps d'irrigation selon les différents scénarios en fonction de la longueur de la parcelle. (4a) : temps nécessaire pour 100m de parcelle ; (4b) : temps nécessaire pour toute la parcelle

3.2.2 Lamme d'eau injectée figure (voir figure 5)

La valeur de la lamme d'eau injectée se calcule comme le produit de la durée d'irrigation par le débit injecté rapporté à la surface de la parcelle. Les quantités injectées augmentent fortement avec la longueur de la parcelle quel que soit le scénario étudié. Pour le scénario de référence, la lamme d'eau passe d'environ 120 mm pour irriguer une parcelle de 225 m de long, à 260 mm pour une longueur de 445 m et à plus de 500 mm pour une parcelle de 800m.

Comme pour le critère précédent, on peut distinguer deux groupes de scénarios : les scénarios 1, 2 et 4 d'une part, les scénarios 3, 4 et 6 d'autre part qui se traduisent par une forte diminution de la dose injectée. Le scénario 4 est optimal sur ce critère, comme pour le critère précédent.

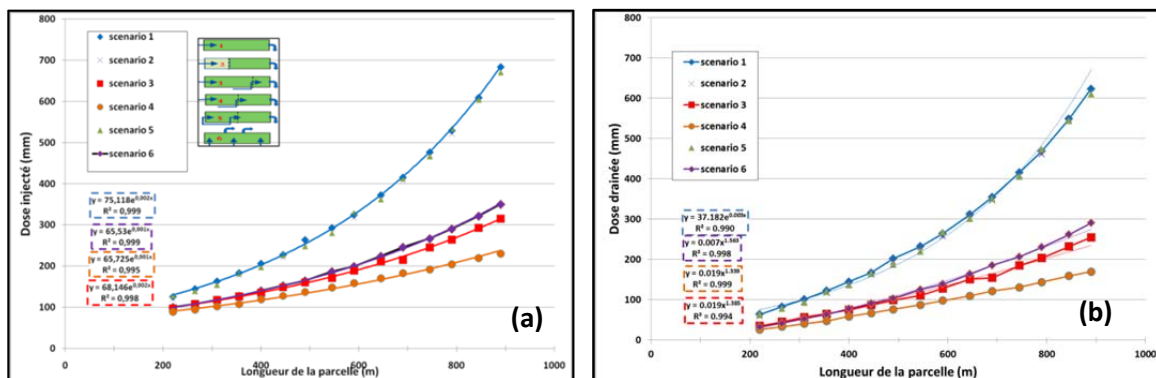


Figure 5 : (5a) Lamme d'eau injectée en fonction de la longueur de la parcelle selon les différents scénarios ; (5b) pourcentage de l'eau injecté perdu en forme de drainage.

3.2.3 Quantité d'eau perdue sous forme de drainage

La quantité d'eau perdue sous forme de drainage est considérée globalement à l'échelle de la parcelle (voir figure 5b). Nous pouvons également caractériser son homogénéité intra-parcellaire (voir figure 6). A l'échelle globale de la parcelle, le classement des scénarios est similaire aux classements obtenus sur les deux critères précédents. Si l'on examine l'homogénéité intra parcellaire pour les scénarios 3, 4 et 5, on observe que le drainage le plus homogène correspond au scénario 4, qui est également le scénario optimal sur les autres critères. Inversement, le scénario 5 conduit à la plus forte hétérogénéité.

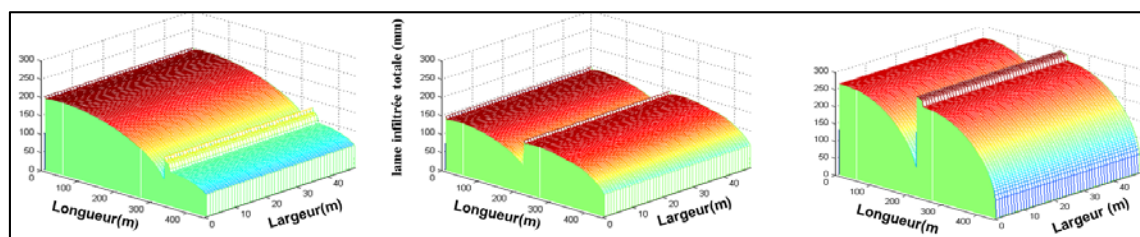


Figure 6 : illustration de l'homogénéité de la distribution de drainage sur toute la parcelle pour les scénarios 3, 4 et 5.

3.3 L'évaluation des scénarios testés et la synthèse de travail

Dans le tableau 3, nous avons porté le classement des scénarios selon les différents critères évalués. Le scénario 4 (où l'eau d'irrigation est injectée consécutivement en amont et au milieu de la parcelle) est le scénario optimal sur les critères purement hydriques, il correspond à une légère augmentation du temps de travail et à des coûts d'évolution d'infrastructures qui sont estimés comme peu élevés, contrairement au scénario 6 qui nécessite un nivellement complet de la parcelle. Le scénario 1 (représentatif de l'état actuel) est fortement consommateur d'eau. Le scénario 2 qui suppose un nivellement complet de la parcelle afin de mettre en place une rupture de pente, n'impacte qu'à la marge les critères hydriques par rapport au scénario 1.

4. CONCLUSIONS

À l'aide d'un modèle à base physique qui simule la dynamique d'irrigation par submersion, nous avons défini et modélisé un critère d'arrêt qui optimise l'irrigation dans les pratiques actuelles ou futures. Nous avons évalué l'impact de 6 scénarios d'irrigation gravitaire, ce système d'irrigation étant requis par l'AOC « foin de Crau ». La division de la parcelle en 2 parties et l'injection du débit consécutivement va réduire les quantités d'eau injectées jusqu'à 50% par rapport au scénario traditionnel. L'évaluation de l'impact de ces scénarios sur la ressource en eau souterraine à l'échelle de la Crau doit cependant être réalisée.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - OLIOSO A., LECERF R., BAILLIEUX A., CHANZY A., RUGET F., BANTON O., LECHARPENTIER P., TROLARD F., COGNARD-PLANCQ A.-L. . 2013 - Modeling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analyzing impact of global change on aquifer recharge. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 691–700
- [2] - GÂȘTESCU P., MARSZELEWSKI W., BRETCAN P., 2011 – Groundwater in the plain of the Crau (South-East of France): between historical abundance and modern vulnerability. *In Proceeding of 2nd International Conference Water Resources and Wetlands, Tulcea (ROU) 2014/09/11-13, ISSN: 2285-7923, 245-249*
- [3]- MÉROT A., BERGEZ J.E., WALLACH D., DURU M., CHARRON F., CAPILLON A., WERY J., ISBERIE C., MAILHOL J.C., 2011 - Gestion de l'eau en Crau : comment s'adapter aux tensions sur la ressource en eau à l'échelle des exploitations agricoles. *Science Eaux et Territoires, Hors Série 2011, 2-7*

- [4] - MAILHOL J.C., MEROT A., 2008 - SPFC: a tool to improve water management and hay production in the Crau region. *Irrigation Science*, 26, 289–302
- [5] - BALLAND, P., HUET, P., LAFONT, E., LETEURTROIS, J.P., PIERRON, P., 2002 - Rapport sur la Durance: Propositions de simplification et de modernisation du dispositif d'intervention de l'Etat sur la gestion des eaux et du lit de la Durance – Contribution à un Plan Durance. *Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Ministère délégué à l'Industrie, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et des Affaires Rurales, Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, Paris*, 98 pp
- [6] - MÉROT A., WERY J., ISBÉRIE C., CHARRON F., 2007 - Response of multispecies grassland to border irrigation regulated by tensiometers. *Eur J Agron*, 28, 1–8
- [7] - BADER J-C, SAOS J-L, CHARRON F., 2010 - Modèle de ruissellement, avancement et infiltration pour l'irrigation à la planche sur un sol recouvrant un sous-sol très perméable. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 55, 177-191
- [8] - SYMCRAU (Syndicat Mixte d'Etude et de Gestion de la Nappe de la Crau), 2009 - Diagnostic qualitatif / quantitatif et analyse de l'évolution des risques sur la nappe de la Crau. *[Rapport de Synthèse] SYMCRAU, Istres, France. 81 pp*
- [9] - OLIOSO A., LECERF R., CHANZY A., RUGET F., HUARD F., ROSSELLO P. *et al.*, 2013 - Utilisation de la ressource en eau et changement climatique. *In: Tatin L, Wolff A (CEN PACA), editors. La plaine de Crau: écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne, Paris, France: Edition Quae.*
- [10] – Le contrat de canal Crau-Sud-Alpilles <http://contratdecanalcrausudalpillles.over-blog.com/>.
- [11] – Décret du 23 septembre 1999 relatif à l'appellation d'origine contrôlée « Foin de Crau »; *J.O n° 224 du 26 septembre 1999, p 14357, Art. 5.*
- [12] – M. ALKASSEM ALOSMAN *et al.*, 2015. Monitoring of flood irrigation for the characterization of irrigation practices of grassland fields in the Crau region (south of France). *EGU2015-5982, Vienne (Autriche), 12-17/04/2015.*