



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



## **Influences des performances de l'irrigation par aspersion et du pilotage de l'irrigation et impact sur le rendement de la pomme de terre**

S. Yacoubi<sup>1</sup>, A. Zairi<sup>1</sup>, T. Oueslati<sup>2</sup>, A. Slatni<sup>1</sup>, H. Amami<sup>1</sup>, T. Ajmi<sup>1</sup>, B. Ben Nouna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRGREF, Ariana-Tunis, Tunisie

<sup>2</sup> Centre technique de la pomme de terre, Saïda, Tunisie

E-mail : [yacoubi.samir@iresa.agrinet.tn](mailto:yacoubi.samir@iresa.agrinet.tn)

**Résumé** - Afin d'étudier l'influence des performances des systèmes d'irrigation par aspersion et des méthodes de pilotage de l'irrigation, dans la basse vallée de la Medjerda en Tunisie, un essai a été mené en 2003 sur pomme de terre. Le protocole retenu est proche de la pratique agricole de l'irrigation par aspersion dans un réseau au tour d'eau. L'irrigation par aspersion est conduite avec un écartement de 12 x 12 m, selon deux traitements : sur la référence TD1, l'irrigation est déclenchée à l'épuisement d'une dose D1, en adoptant un coefficient de tarissement optimal ( $p = 0,5$ ); pour TD2 est apportée simultanément une dose D2, majorée de 25 % par rapport à D1. Un modèle de simulation, ISAREG, validé Tunisie et calé sur TD1, permet d'évaluer le bilan hydrique, et les simulations dégagées sont fondées sur des mesures directes du stock d'eau dans le sol. Parallèlement, sont estimées les performances du système d'irrigation (coefficient d'uniformité de distribution et efficacité d'application d'eau). Les résultats montrent une bonne homogénéité de la répartition de l'eau pour les deux traitements, en raison d'une pression suffisante et d'un bon recouvrement entre les asperseurs. Sur l'ensemble du cycle cultural, le coefficient d'uniformité de Christiansen est de 86 % avec 320 mm d'eau apportée sur TD1 et de 88 % avec 430 mm sur TD2. L'efficacité d'application de l'eau est de 82,5 % sur TD1 et de 73 % sur TD2 - valeur faible en raison des pertes par drainage estimées à 57 mm sur la saison. Les rendements, 46,2 t/ha pour TD1 et 50,7 t/ha pour TD2, sont corrélés aux doses apportées pour les deux traitements. L'analyse économique montre qu'en conditions d'eau non limitante, le traitement TD2 dégage la marge brute par hectare la plus élevée bien qu'il procure la plus faible efficacité d'application d'eau. En cas de disponibilité en eau limitée, la conduite de l'irrigation selon le traitement TD1 valorise le mieux la ressource en eau. Cette étude montre qu'en agissant sur le système d'irrigation et la conduite des arrosages, il est possible d'optimiser le rendement et de contrôler les pertes en eau. De plus, elle fournit des outils de gestion de l'eau en cas de sécheresse.

*Mots clés* : aspersion, coefficient d'uniformité, économie, efficacité d'application de l'eau, marge brute, pilotage, performances, pomme de terre, marge brute, Tunisie

## 1 Introduction

Parmi les techniques d'irrigation utilisées en Tunisie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions du nord et du centre du pays. Grâce aux efforts consentis en matière de mobilisation des ressources en eau et aux projets d'aménagements hydro-agricoles, l'irrigation par aspersion ne cesse de se développer surtout avec les encouragements financiers pour économiser l'eau d'irrigation. Actuellement, la superficie équipée avec des systèmes d'aspersion est de l'ordre de 100 000 ha, ce qui représente environ 27 % de la superficie totale irrigable (DGGREE, 2003).

La gestion optimale de l'irrigation par aspersion suppose une adéquation entre la satisfaction des besoins en eau de la culture et la maîtrise du système d'irrigation. Cette adéquation entre besoins et système d'irrigation demeure un objectif à atteindre. Souvent, lors de la conception des projets d'irrigation par aspersion et en l'absence de références régionales pour les valeurs de l'efficacité d'application, on adopte – d'une manière optimiste – des valeurs d'efficacité d'application de l'ordre de 80 %. Dans la pratique, il n'est pas certain que cette valeur soit atteinte, car l'efficacité de l'irrigation par aspersion dépend des contraintes liées au contexte local du point de vue hydraulique et pédoclimatique. La Tunisie est un pays venteux où la vitesse moyenne du vent par jour dépasse 3 m/s et son intensité est très variable – passant de 1 à 2 m/s, à 8 à 10 m/s en quelques minutes (Combremont, 1973[5]). Les performances d'un système sont souvent évaluées par deux paramètres : l'uniformité de distribution et l'efficacité d'application de l'eau. Le premier est fonction de paramètres hydrauliques (variations du débit et de la pression), de la nature du sol, de la vitesse du vent, du type du matériel et de la technicité de l'irrigant. Le second intègre, outre le système d'irrigation, la conduite des arrosages qui est largement tributaire de la durée et de la fréquence des irrigations en rapport avec le déficit hydrique du sol (Pereira, 1999[17]).

Dans d'autres pays, l'évaluation des performances de l'irrigation par aspersion a fait l'objet de plusieurs travaux qui ont abouti aux coefficients développés par Christiansen (1942[3]) et Merriam et Keller (1978[14]), caractérisant statistiquement le degré d'uniformité de distribution de l'eau. En ce qui concerne l'efficacité de l'irrigation, la littérature offre plusieurs résultats concernant l'évaluation de l'irrigation en fonction de la distribution de l'eau et le pourcentage de surface adéquatement irriguée devant recevoir une dose nette supérieure ou égale à la dose requise par la culture (Hart et Reynolds, 1965[7] ; Hart *et al.*, 1979[8] ; Heermann *et al.*, 1990[10] ; Wolters, 1992[23]).

Letey *et al.* (1984[13]) indiquent que le fait d'ignorer le facteur " uniformité d'irrigation " conduit à une sous-estimation de l'apport optimal d'irrigation nécessaire pour atteindre un rendement optimal. Plusieurs auteurs (Seginer, 1978[19] ; Solomon, 1984[20] ; Montovani *et al.*, 1995[15]) ont essayé de déterminer l'apport d'eau optimal par irrigation en tenant compte de l'uniformité de l'irrigation et des contraintes économiques.

En Tunisie, dans le cadre du projet du Cruesi (1970[6]), des études concernant l'irrigation par aspersion ont porté plus particulièrement sur l'effet de l'irrigation par aspersion d'eaux salées sur le sol, la culture et le rendement. Par ailleurs, l'évaluation des performances de l'irrigation par aspersion à l'échelle de la parcelle a été peu étudiée. En ce qui concerne les facteurs conditionnant les performances de l'irrigation par aspersion à la parcelle, Ouerfelli (1997)[16] indique que dans les périmètres publics irrigués de Silihana, la vitesse du vent altère l'uniformité alors que l'augmentation de la pression et la diminution de l'écartement des arroseurs ont des effets positifs sur la répartition de l'eau ; l'écartement 12 x 12 m associé à une pression de l'ordre de 3 bars procure la meilleure uniformité d'arrosage. Pour les périmètres publics irrigués de Jendouba, Hermi (1995[11]) indique que l'écartement 12 x 12 m associé à une pression de 3,5 à 4 bars procure les meilleures valeurs d'efficacité, et que la meilleure uniformité d'irrigation à la surface est obtenue lorsque la vitesse du vent est inférieure à 6 m/s.

Cette communication présente une étude des influences mutuelles des performances de l'irriga-

tion par aspersion et du pilotage de l'irrigation. Elle s'appuie sur une expérimentation menée en 2003 sur une culture de pomme de terre qui avait pour but d'analyser la relation entre le mode de gestion et les performances de l'irrigation ainsi que leurs effets sur le rendement de la culture de pomme de terre.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Caractéristiques du site expérimental

L'essai a été conduit au Centre technique de la pomme de terre à Saida, dans le Gouvernorat de Mannouba, situé dans la basse vallée de la Medjerda (37° de latitude, 10° de longitude, 328 m d'altitude). Le sol est de texture limono-argileuse. Les valeurs d'humidité volumique de la parcelle d'essai, – déterminées au laboratoire de l'INRGREF –, sont de 39,4 % à la capacité au champ et de 23 % au point de flétrissement permanent ce qui correspond à une réserve utile de 164 mm/m. La parcelle est localisée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré, caractérisé par une pluviométrie moyenne d'environ 400 mm/an.

### 2.2 Système d'irrigation

La parcelle d'essai est équipée d'une installation d'irrigation par aspersion "classique" avec un écartement de 12 x 12 m assurant une couverture intégrale. Le diamètre des rampes d'arrosages est de 76 mm. L'eau est pompée dans un bassin de reprise d'une capacité de 50 m<sup>3</sup>, au moyen d'une électropompe à axe horizontal. L'eau pour l'irrigation provient du canal à ciel ouvert de la Medjerda avec un résidu sec de 2 g/l en moyenne.

Sur la parcelle d'essai, les asperseurs, tous identiques, sont des asperseurs rotatifs à monobuse (de diamètre = 4,5 mm), de marque Roland, type 11C, montés sur des tiges verticales de 0,8 m de longueur. Au cours des arrosages, la pression moyenne au niveau des buses est de 3,2 bars. La conception de ce système de distribution d'eau s'approche des conditions pratiquées par l'agriculteur dans le cadre d'un réseau fonctionnant selon un tour d'eau. C'est le cas, par exemple, de l'ancien périmètre public irrigué de la Medjerda où l'eau est transportée dans des canaux à ciel ouvert jusqu'à la parcelle, et l'agriculteur qui adopte un système d'irrigation par aspersion est contraint de pomper l'eau dans un bassin de stockage. Toutefois, il faut signaler que dans les conditions des exploitations tunisiennes, le matériel d'aspersion est souvent placé en dispositif mobile ou semi-mobile de manière à assurer une couverture partielle de la superficie irriguée.

### 2.3 Protocole expérimental

L'essai a été conduit en 2003 sur une culture de pomme de terre de saison (variété Spunta). La plantation a eu lieu le 4 mars 2003 avec des écartements de 0,75 m entre les lignes et 0,3 m entre les plants.

Le protocole expérimental comprend deux traitements hydriques TD1 et TD2 (figure 1). Le traitement TD1 a été pris comme référence pour déclencher l'irrigation à l'épuisement d'une dose D1, en adoptant un coefficient de tarissement optimal ( $p = 0,5$ ) suivant Allen *et al.* (1998[2]). En parallèle, une dose D2, majorée d'environ 25 % par rapport à D1, est apportée dans le cas du traitement TD2 – cette majoration a été décidée afin de minimiser les plages sous-irriguées dans le traitement TD1.

Un modèle de simulation, préalablement validé en conditions tunisiennes (ISAREG) et calé sur le traitement TD1, a été utilisé pour l'évaluation du bilan hydrique. En outre, les simulations issues de ce modèle se sont appuyées sur des mesures directes du stock d'eau dans le sol. De même, les performances du système d'irrigation, notamment l'uniformité de distribution et l'efficacité d'application de l'eau, ont été évaluées.

### 2.3.1 Suivi de l'irrigation et détermination de l'uniformité de distribution

La répartition de l'eau sous les asperseurs a été évaluée en recueillant les hauteurs d'eau appliquées dans des pluviomètres disposés suivant une grille de 3 x 3 m d'après la norme ISO 7749/2. Ces mesures ont servi pour le calcul du coefficient d'uniformité de Christiansen (CU). Ce coefficient est largement utilisé comme indicateur des performances des systèmes d'irrigation. Il varie, suivant les performances des systèmes d'irrigation, de 0 à 100 % – plus le coefficient est proche de 100 %, plus l'uniformité est bonne.

$$CU(\%) = 100 \left( 1 - \sum \frac{|h_i - h_m|}{N \cdot h_m} \right) \quad (1)$$

Où :

- $h_i$  : hauteur d'eau au niveau du pluviomètre  $i$  (mm) ;
- $h_m$  : hauteur d'eau moyenne appliquée sur la zone arrosée (mm) ;
- $N$  : nombre d'observations.

Pour chaque traitement, l'évaluation de l'uniformité a été effectuée dans une maille de 4 asperseurs (figure 2). En outre, les hauteurs d'eau recueillies ont aussi permis la détermination de la dose d'irrigation pour chacun des deux traitements.

Une batterie de pluviomètres espacés de 1 m a été installée entre deux asperseurs voisins afin d'évaluer la courbe de distribution de la pluviométrie générée par le recouvrement sur la ligne des asperseurs (figure 2).

### 2.3.2 Détermination de l'efficacité d'application de l'eau

L'équation retenue pour l'évaluation de l'efficacité d'application d'eau est la suivante :

$$E_a(\%) = \frac{h_s}{h_a} \times 100 \quad (2)$$

Où :

- $h_a$  : hauteur d'eau délivrée au champ et mesurée au niveau de l'asperseur (mm) ;
- $h_s$  : hauteur d'eau stockée au niveau de la zone racinaire potentiellement accessible à la culture (mm).

Ainsi évaluée, l'efficacité renseigne sur les pertes en eau et ne tient pas compte de la performance du système d'irrigation du point de vue de l'uniformité de la distribution de l'eau et de l'adéquation de l'irrigation. En effet,  $E_a$  met en évidence simplement la fraction d'eau d'irrigation délivrée stockée dans la zone racinaire et potentiellement utilisée par la culture.

Pour tenir compte des conditions de gestion de l'irrigation à la parcelle, Keller et Bleisner (1990[12]) – en se fondant sur les travaux de Hart et Reynolds (1965[7]) et de Hart *et al.* (1979[8]) –, proposent de relier l'efficacité d'application à l'uniformité de l'irrigation en introduisant le concept de l'efficacité de distribution  $DE_{pa}$  (%).

$$E_{pa} = DE_{pa} R_e O_e \quad (3)$$

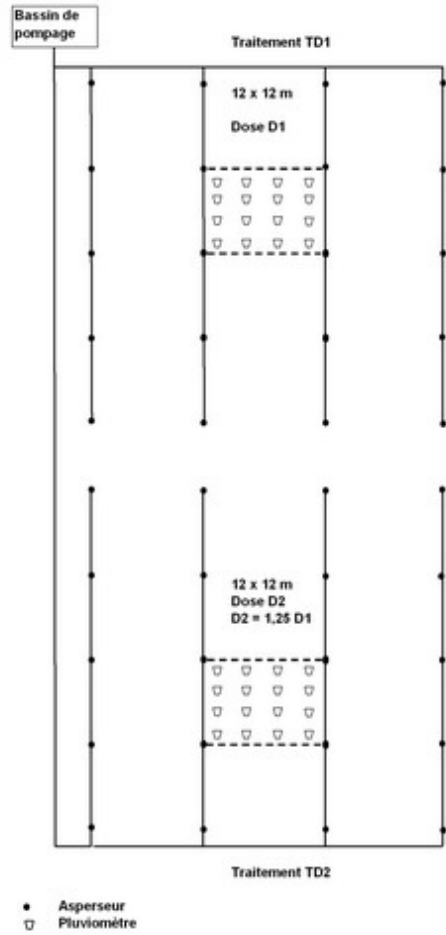


FIG. 1 – Schéma du dispositif expérimental permettant le suivi de la répartition de l'eau d'irrigation.

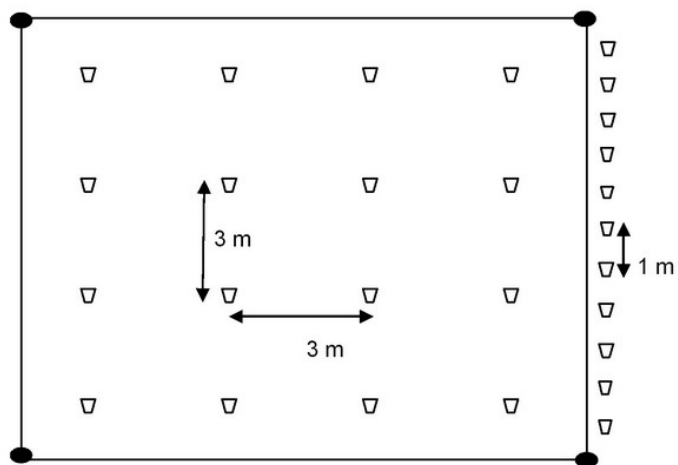


FIG. 2 – Schéma de l'emplacement des pluviomètres pour suivre la distribution de l'eau dans une maille de 12 x 12 m avec 4 asperseurs.

Où :

- $E_{pa}$  (%) : efficience d'application relative au pourcentage  $pa$  de surface adéquatement irriguée ;
- $DE_{pa}$  (%) : efficience de distribution pour irriguer adéquatement le pourcentage  $pa$  de la surface à irriguer,  $DE_{pa} = 100 + [606 - 24,9pa + 0,349pa^2 - 0,00186pa^3]x(1 - CU/100)$  ;
- $P_a$  (%) : pourcentage de la superficie adéquatement irriguée recevant une dose nette supérieure ou égale à la dose requise par la culture ;
- $CU$  (%) : le coefficient d'uniformité de Christiansen ;
- $O_e$  : rapport entre la quantité d'eau effectivement délivrée par les buses des asperseurs et le débit total du système. En d'autres termes,  $O_e$  représente les pertes d'eau dues aux fuites dans les conduites ;
- $R_e$  : portion d'eau effectivement appliquée par les asperseurs et qui rejoint la surface irriguée,  $R_e$  dépend des pertes en eau par évaporation et du transport par le vent.

### 2.3.3 Détermination de la consommation en eau de la culture

La consommation en eau de la culture a été évaluée à l'aide du calcul de l'évapotranspiration de la culture  $ET_c$  en utilisant le modèle de simulation des irrigations ISAREG (Teixeira *et al.*, 1992[22]). Le modèle est fondé sur l'équation du bilan hydrique exprimant la conservation de la masse d'eau. L'évapotranspiration maximale de la culture est obtenue par l'équation suivante :

$$ET_m = Kc \times ET_o \quad (4)$$

Avec :

- $Kc$  : coefficient cultural, calculé au moyen du programme KCISA (Rodrigues et Pereira, 1999[18]) suivant la procédure élaborée par Allen *et al.* (1998[2]) ;
- $ET_o$  : évapotranspiration de référence calculée selon la procédure de FAO-Penman-Monteith d'après Allen *et al.* (1994[1]).

Le programme KCISA a été aussi utilisé pour déterminer à chaque stade végétatif la fraction de tarissement relative à la zone non stressée c'est-à-dire la fraction d'eau du sol disponible qui peut être épuisée sans stresser la culture.

L'utilisation du modèle ISAREG et du programme KCISA a nécessité la collecte et le dépouillement de données agrométéorologiques et pédologiques :

- les paramètres climatiques comprenant les températures maximale et minimale, les humidités relatives maximale et minimale, la vitesse du vent, la pluviométrie, la durée d'insolation. Le programme EVAPOT a été utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration de référence suivant la formule de Penman-Monteith. La station de Cherfech, dans la basse vallée de la Medjerdha, fournit les données climatiques relatives à l'année de l'expérimentation 2003 et à une série de 20 années (1981-2000) ;
- les observations phénologiques, c'est-à-dire la caractérisation de la longueur des stades de développement (somme de températures), des profondeurs d'enracinement et de la hauteur maximale de la culture ;
- les observations du sol, notamment les humidités à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent et le stock d'eau dans le sol suivant les différentes couches déterminés au laboratoire de l'INRGREF.

Concernant le modèle ISAREG, la comparaison entre les rendements observés et simulés a été validée par Teixeira *et al.* (1995[22]) en conditions tunisiennes. Le modèle a été validé pour la conduite de l'irrigation du blé en station expérimentale à Cherfech et Hendi Zitoun situées respectivement au nord et au centre du pays. De même, le modèle a été validé en ce qui concerne le bilan hydrique par Zairi *et al.* (1998[24]).

### 2.3.4 Analyse économique

L'objectif de l'analyse économique est de déterminer le traitement de la parcelle de pomme de terre qui procure à l'agriculteur le maximum de revenu. La technique d'analyse adoptée est la programmation mathématique linéaire. La formulation mathématique du modèle d'analyse est la suivante (Hazell et Norton, 1986[9]) :

$$MaxZ = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (5)$$

Sous les contraintes suivantes :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \longrightarrow i = 1, \dots, m$$

Avec :

- $Z$  : fonction objectif à maximiser (revenu dégagé de la parcelle de pomme de terre).
- $X_j$  : niveau de l'activité,  $X_j \geq 0$ ;  $j = 1, \dots, n$ ;
- $C_j$  : marge brute calculée de la  $j^e$  activité;
- $a_{ij}$  : la quantité de la  $i^e$  ressource nécessaire pour produire une unité de la  $j^e$  activité;
- $b_i$  : niveau de la  $i^e$  ressource disponible.

Les traitements d'irrigation étudiés diffèrent par le volume d'eau apporté à la source (au niveau du bassin de pompage); la main-d'œuvre nécessaire pour l'irrigation et le rendement obtenu. Les autres facteurs (semence, travail du sol, fumure de fond, etc.) sont supposés être les mêmes pour les deux traitements. Les activités considérées dans le modèle représentent les alternatives de traitement d'irrigation ainsi que l'achat des facteurs de production et la vente de la production. Le prix à la production de la pomme de terre (en dinars tunisien, DT) inclus dans le modèle correspond au prix moyen enregistré sur le marché d'intérêt national de Bir El Kasâa sur une période de 10 ans. Les prix des autres facteurs (engrais, pesticides, mécanisation, main-d'œuvre, etc.) correspondent à des prix actuels (de l'année 2003); ceux-ci ne connaissent pas de fluctuations et la tendance est toujours à la hausse. Le prix de l'eau est de 0,14 DT/m<sup>3</sup>.

## 3 Résultats et discussions

### 3.1 Détermination de l'uniformité d'arrosage

Les essais d'évaluation de l'uniformité de distribution ont été effectués pour chaque irrigation. Les valeurs des coefficients d'uniformité de Christiansen sont récapitulés pour les deux traitements obtenus pour une pression de fonctionnement de l'ordre de 3,2 bars et des valeurs de vitesse du vent comprises entre 1 et 4,8 m/s (tableau 1).

Considérant qu'une valeur de CU de 75 % correspond à un système d'aspersion de performance moyenne d'après Clément et Galand (1979[4]), on peut dire que la distribution spatiale d'eau a été bonne pour les deux traitements. Cette homogénéité de répartition de l'eau est essentiellement due à une pression de fonctionnement suffisante et à un bon recouvrement entre les asperseurs avec l'écartement adopté 12 x 12 m.

Les valeurs moyennes de CU dans l'ensemble du cycle cultural sont de 86 % et de 88 % respectivement pour un total de doses apportées d'environ 320 mm pour TD1 et 430 mm pour TD2.

TAB. 1 – Coefficient d'uniformité de Christiansen en fonction des doses apportées.

Traitement TD1			Traitement TD2		
Date	D1 (mm)	CU1 (%)	Date	D2 (mm)	CU2 (%)
24/4/03	25,9	84,2	25/4/03	36,7	87
2/5/03	25,8	86,4	3/5/03	48,9	90,8
6/5/03	28,4	92,3	6/5/03	31,2	83,9
12/5/03	33,8	83,8	12/5/03	41,4	85,7
15/5/03	21,4	85,5	15/5/03	29,1	83,6
22/5/03	26,4	79,1	22/5/03	42,1	87,5
27/5/03	46,9	85	28/5/03	55,5	88,3
4/6/03	35,6	83,4	4/6/03	37,4	85,2
7/6/03	21,6	91,8	7/6/03	29,5	90,9
12/6/03	33,8	89,2	12/6/03	39,8	90,9
17/6/03	22,8	84,6	17/6/03	37,4	92,8

### 3.2 Représentation cartographique de la distribution pluviométrique

Les cartographies présentant la distribution pluviométrique obtenue pour les deux traitements étudiés sont relatives à la quatrième irrigation en date du 12 mai 2003 avec des valeurs de vitesse moyenne du vent de 2,9 m/s pour le traitement TD1 (figure 3) et 1,9 m/s pour le traitement TD2 (figure 4).

On remarque qu'en dépit de la bonne valeur du coefficient d'uniformité de Christiansen  $CU1=83,8\%$  pour le traitement TD1 et  $85,7\%$  pour le traitement TD2, une certaine hétérogénéité de répartition d'eau apparaît à l'intérieur de la maille dans les deux cas. Cette hétérogénéité est surtout due à l'effet néfaste du vent. En effet, lors de l'irrigation, le vent peut changer d'intensité mais aussi de direction affectant ainsi la distribution spatiale de la pluviométrie résultant du recouvrement entre les différents asperseurs.

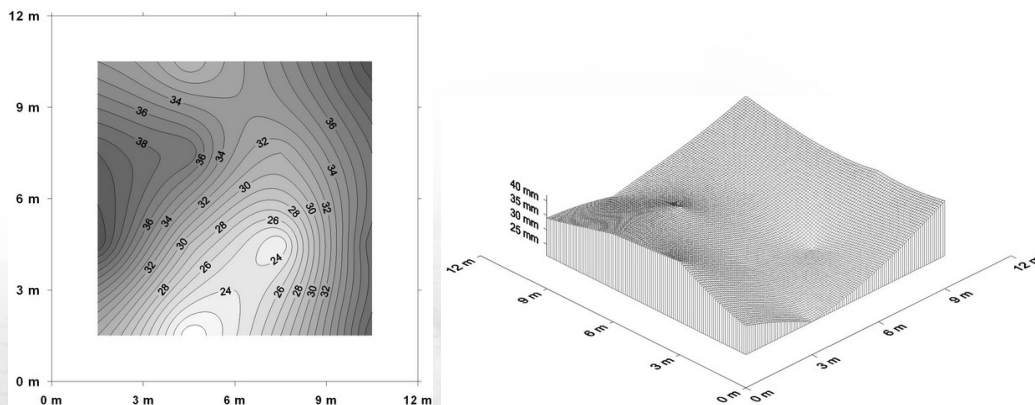


FIG. 3 – Représentation de la distribution d'eau dans le cas du traitement TD1, lors de l'irrigation du 12/5/2003, pour  $v$  (vitesse du vent) = 2,9 m/s. Dans ces conditions  $CU = 83,8\%$ .

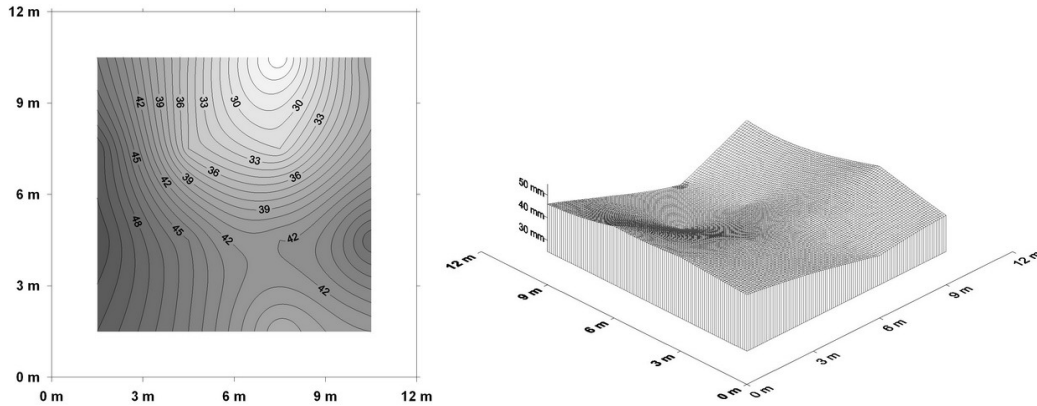


FIG. 4 – Représentation de la distribution d'eau dans le cas du traitement TD2, lors de l'irrigation du 12/5/2003, pour  $v$  (vitesse du vent) = 1,9 m/s. Dans les conditions  $CU = 85,7 \%$ .

### 3.3 Courbe de distribution de la pluviométrie générée par le recouvrement de deux asperseurs voisins

L'effet du vent se traduit sur la courbe de distribution d'eau issue du recouvrement de deux asperseurs voisins dans le cas du traitement TD1 (figures 5 et 6).

On remarque qu'en conditions de vent faible ( $v = 1$  m/s) le recouvrement des deux asperseurs donne lieu à un profil de pluviométrie assez uniforme entre les deux asperseurs voisins (figure 5). En conditions de vent assez fort ( $v = 4,7$  m/s), le profil de pluviométrie entre les deux asperseurs est hétérogène (figure 6) à cause de la déformation de la courbe de distribution de chaque asperseur sous l'effet du vent de point de vue de son intensité et de sa direction. Il faut noter que le profil de pluviométrie résultant du recouvrement entre les asperseurs ne dépend pas uniquement de la vitesse du vent, mais aussi de la variation de la pression entre les asperseurs, de l'inclinaison des asperseurs par rapport à la verticale, de l'angle de trajectoire du jet et de la vitesse de rotation des asperseurs.

### 3.4 Evaluation de l'efficacité d'application d'eau

Les valeurs de l'efficacité d'application de l'eau obtenues dans le cadre de cette étude sont de 82,5 % pour le traitement TD1 et 73 % pour le traitement TD2. La faible valeur de  $E_a$  dans le cas du traitement TD2 est essentiellement due à des pertes d'eau d'irrigation par percolation profonde, qui sont estimées à environ 57 mm pour l'ensemble de la saison d'irrigation.

Outre les pertes d'eau par percolation profonde, les résultats de l'évaluation de l'efficacité (rapport entre les hauteurs d'eau mesurées des pluviomètres et celles délivrées par l'asperseur) dénotent des pertes d'eau par évaporation et par transport du vent qui ont été en moyenne de 11,5 % pour le traitement TD1 et 8 % pour le traitement TD2. Etant donné que l'uniformité de distribution a été bonne pour les deux traitements, on peut dire que les pertes d'eau par drainage profond sont le facteur principal qui a influencé l'efficacité d'irrigation.

En tenant compte des bonnes valeurs d'uniformité obtenues pour les deux traitements étudiés, les constatations suivantes peuvent être avancées :

Pour le traitement TD2, l'augmentation de la dose d'eau appliquée a vraisemblablement minimisé les zones sous-irriguées, mais elle a en même temps réduit l'efficacité de distribution d'eau relative au pourcentage de superficie adéquatement irriguée.

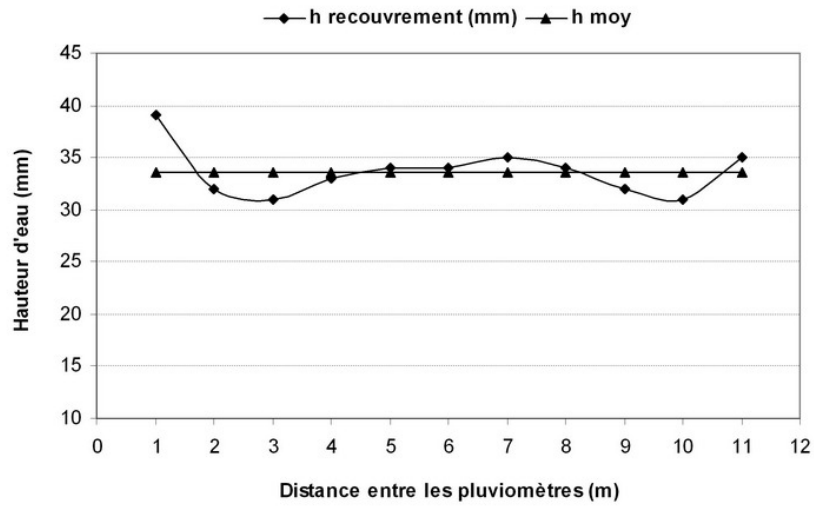


FIG. 5 – Courbe de distribution d'eau générée par le recouvrement de deux asperseurs, dans le cas du traitement TD1, lors de l'irrigation du 4/6/2003, pour  $v$  (vitesse du vent) = 1 m/s.

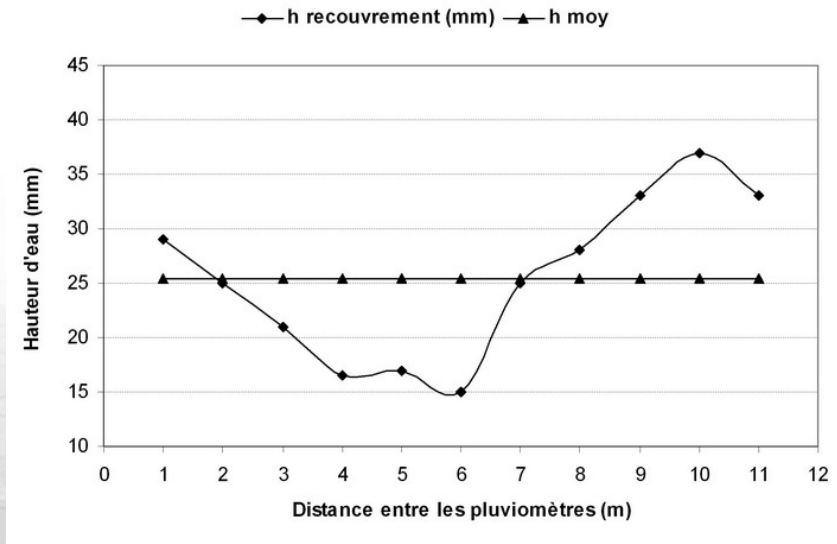


FIG. 6 – Courbe de distribution d'eau générée par le recouvrement de deux asperseurs, dans le cas du traitement TD1, lors de l'irrigation du 22/05/2003,  $v$  (vitesse du vent) = 4,7 m/s.

Pour le traitement TD1, le pourcentage de superficie irriguée serait inférieur ou égal à celui relative au traitement TD2; toutefois, la valeur de l'efficience de distribution serait nettement meilleure comparée au traitement TD2.

### 3.5 Réponse à l'eau de la culture

La consommation en eau de la culture ( $ET_c$ ) a été évaluée à partir du bilan hydrique (tableau 2).

TAB. 2 – Réponse de la culture de la pomme de terre aux traitements TD1 et TD2.

Traitement	$ET_c$ (mm)	$ET_c/ET_m$ (%)	Rendement réel (t/ha)
Traitement TD1	407	92	46,2
Traitement TD2	440	99,5	50,7

$$ET_m = Kc \times ET_o$$

La culture a été conduite dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique pour les des deux traitements étudiés (tableau 2). La consommation en eau et le rendement réel ont été donc tributaires des apports d'eau d'irrigation pour chaque traitement.

### 3.6 Résultats de l'analyse économique

L'analyse économique distingue deux alternatives suivant les disponibilités en eau : eau non limitée ou eau limitée.

#### 3.6.1 Cas de disponibilité en eau non limitée

L'analyse économique montre que si est l'eau est disponible en quantité suffisante (permettant d'obtenir le rendement maximal), le modèle propose le choix du traitement TD2 pour lequel les apports d'eau d'irrigation sont majorés d'environ 25 % par rapport au traitement TD1. En effet, le traitement TD2 permet de dégager une marge brute par hectare supérieure à celle obtenue pour le traitement TD1 (tableau 3). Dans ce cas, le facteur superficie devient limitant ; le modèle propose alors l'alternative qui valorise le mieux le facteur rare, c'est-à-dire le sol. La stratégie choisie serait donc celle qui assure le revenu par hectare le plus élevé.

TAB. 3 – Marge brute par traitement en cas de disponibilité en eau non limitée.

Traitements	Traitement TD1	Traitement TD2	Différence
Irrigation ( $m^3/ha$ )	3 200	4 300	1 100
Marge brute (DT/ha)	5 301	5 888	587

1 dollar US  $\approx$  1,2 dinar tunisien, 1 euro  $\approx$  1,5 dinar tunisien.

### 3.6.2 Cas de disponibilité en eau limitée

Si l'eau est le facteur limitant, l'analyse économique tend à privilégier une conduite de l'irrigation selon le traitement TD1. En dessous de 3 200 m<sup>3</sup>/ha, toute restriction d'eau implique une réduction de la superficie irriguée (tableau 4).

TAB. 4 – Marge brute par traitement en cas de disponibilité en eau limitée.

Eau (m <sup>3</sup> )	4 300	4 000	3 500	3 200	3 000	2 500	2 000
Superficie allouée en fonction de la disponibilité en eau	100% TD2	70% TD2 30% TD1	75% TD1 25% TD2	100% TD1	93% TD1	77% TD1	62% TD1
Marge brute correspondante	5 888	5 725	5 454	5 301	4 939	4 116	3 239

### 3.6.3 Cas d'augmentation du prix de l'eau

La sensibilité du choix optimum des traitements d'irrigation en fonction du prix de l'eau a été également étudiée dans ce travail, notamment dans l'hypothèse où la disponibilité en eau est non limitée. Les résultats montrent que pour des prix de l'eau allant de 0,14 DT/m<sup>3</sup> à 0,548 DT/m<sup>3</sup>, le revenu dégagé diminue considérablement, mais la solution optimale reste inchangée et le modèle propose toujours le traitement TD2 (tableau 5). En effet, jusqu'à ce niveau de prix (0,548 DT/m<sup>3</sup>), la valeur du revenu supplémentaire dû à l'accroissement du rendement en passant du traitement TD1 au traitement TD2 compense le surcoût dû à la majoration de la dose d'irrigation. Toutefois, au-delà de ce niveau de prix, le modèle propose le traitement TD1 qui dégage une marge brute supérieure à celle relative au traitement TD2.

TAB. 5 – Variation de la marge brute en fonction de l'augmentation du prix de l'eau (Cas de disponibilité en eau non limitée).

Prix de l'eau (DT/m <sup>3</sup> )	0,140	0,200	0,300	0,400	0,548	0,600	0,700
Traitement proposé	TD2	TD2	TD2	TD2	TD2	TD1	TD1
Superficie (ha)	1	1	1	1	1	1	1
Marge brute (DT/ha)	5 888	5 545	4 973	4 401	3 829	3 331	2 903

## 4 Conclusion

L'évaluation des performances de l'irrigation par aspersion sur une culture de pomme de terre a permis de mettre en évidence une situation où la majoration des apports d'eau, initialement prévue pour minimiser les zones sous-irrigués, a eu pour effet une réduction de l'efficacité de l'application d'eau essentiellement due à des pertes par percolation profonde. Les résultats

d'évaluation de l'efficacité d'application montrent la nécessité de nuancer ce critère par d'autres facteurs comme le pourcentage de superficie adéquatement irriguée, – qui représente la fraction de superficie irriguée recevant au minimum la dose nette requise par la culture. En outre, dans les conditions climatiques et hydrauliques de l'expérimentation, les essais d'évaluation de l'uniformité de distribution montrent une bonne homogénéité de répartition. L'augmentation de la dose d'eau apportée n'a pas eu un impact important sur l'amélioration de la distribution des hauteurs d'eau appliquées. En effet, les valeurs moyennes de CU sur l'ensemble du cycle cultural ont été de 86 % pour un total de doses apportées d'environ 320 mm pour TD1 et de 88 % pour un total de doses apportées de 430 mm pour TD2.

L'écartement adopté (12 x 12 m) et la pression de fonctionnement stable ont donc agi positivement sur la répartition de l'eau en atténuant l'effet néfaste du vent sur l'uniformité de distribution. Toutefois, l'effet du vent sur la courbe de distribution d'eau reste perceptible à l'échelle de l'irrigation singulière.

En ce qui concerne la conduite de l'irrigation, évaluée par le bilan hydrique, les résultats ont montré que la culture a été conduite dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique pour les deux traitements étudiés. Les rendements obtenus ont été tributaires des doses apportées. L'analyse économique relative à l'essai indique qu'en conditions de disponibilité en eau non limitée, le traitement TD2 procure la meilleure marge brute même si c'est aux dépens d'une réduction de l'efficacité d'application d'eau. Toutefois, si l'eau devient un facteur limitant, la tendance est vers l'adoption du traitement TD1 qui valorise mieux dans ce cas le volume d'eau apporté et procure ainsi à l'exploitant le meilleur revenu.

L'ensemble des résultats relatifs à cet essai prouve qu'une irrigation adéquate, visant l'optimisation des rendements et le contrôle des pertes d'eau, ne peut être atteinte que si on agit simultanément sur le système d'irrigation et la conduite des arrosages. En outre, ces résultats expérimentaux constituent une contribution à l'acquisition de références technico-économiques sur l'irrigation par aspersion à l'échelle de la parcelle de point de vue performances du système d'irrigation et mode de conduite des irrigations.

À l'échelle d'une gestion collective de la ressource en eau, cette étude peut apporter des outils d'aide à la gestion de l'eau en conditions de disponibilités hydriques limitées, comme c'est le cas de la sécheresse.

## Références

- [1] Allen R.G., Smith M., Perrier A., Perriera L.S., 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43 (2) : 1-92.
- [2] Allen R.G., Perriera L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration. Cuidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO 56. Bos M.G., 1985. Summary of ICID definitions on irrigation efficiency. *ICID Bulletin*, 344 (1) : 28-35.
- [3] Christiansen J.E., 1942. Irrigation by sprinkling. *California Agric. Exp. Sta. Bulletin*, 670. University of Clifornia, Berkeley, Etats-Unis.
- [4] Clément R., Galand A., 1979. Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression. Editions Eyrolle, Paris.
- [5] Combremont R., 1973. Considérations et conseils pratiques sur l'emploi de l'aspersion en Tunisie. Document de travail, CRGR-Projet PNUD-FAO, " Amélioration des techniques d'irrigation et de drainage ". AGL :TUN. 70/259. 31 p.
- [6] CRUESI, 1970. Tunisie, recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées. Tech. Rpt./Unesco/UNDP (SF) TUN. 5. 243 p. + annexes.

- [7] Hart W.E., Reynolds W.N., 1965. Analytical design of sprinkle systems. ASAE Transactions, 8 : 83-85, 89.
- [8] Hart W.E., Peri G., Skogerboe G.V., 1979. Irrigation Performance - an evaluation. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. 105 (IR3) : 275-288.
- [9] Hazell P.B.R., Norton R.D., 1986. Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. Macmillan Publishing Company, New York. Etats-Unis.
- [10] Heermann D. F., Wallander W.W., Bos M.G., 1990. Irrigation efficiency and uniformity. In : Hoffman, G. J., Howell, T. A., Solomon, K. H. (Eds), Management of Farm Irrigation Systems. ASAE. St. Joseph, Michigan, Etats-Unis. p. 125-149.
- [11] Hermi M., 1995. Etude de l'uniformité en irrigation par aspersion sous différentes conditions de vent, de pression et d'écartement. Cas des périmètres irrigués de Jendouba. Mémoire de fin d'études de l'INAT, spécialité Génie rural des eaux et forêts, Option : irrigation. 140 p.
- [12] Keller J., Bliesner R.D., 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold. New York, Etats-Unis.
- [13] Letey J., Vaux H.J., Feinerman E., 1984. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. Agron. J., 76 : 435-441.
- [14] Merriam J.L., Keller J., 1978. Farm Irrigation System Evaluation : A guide for Management. Dept. Agri. Irrig. Eng. Utah st. University. Logan. Etats-Unis.
- [15] Montovani E.C., Villalobos F.J., Orgaz F., Ferreres E., 1995. Modelling the effects of sprinkler irrigation on crop yield. Agricultural Water Management, 27 : 243-257.
- [16] Ouerfelli N., 1997. Possibilités d'amélioration des performances de l'irrigation par aspersion dans les périmètres de Siliana, Tunisie. Mémoire de fin d'étude en Génie rural de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, option irrigation. 137 p.
- [17] Pereira L.S., 1999. Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling : a discussion. Agricultural Water Management 40. Elsevier Science B.V. p. 153-169.
- [18] Rodrigues P.N., Pereira L.S., 1999. KCISA : A program to compute the time averaged crop coefficients. Application to field grown vegetable crops. Third International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops. 28 june-2 july, Estoril, Portugal.
- [19] Seginer I., 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci., 1 : 19-27.
- [20] Solomon K.H., 1984. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures ; Irrig. Sci., 5 : 161-172.
- [21] Teixeira J.L., Pereira L.S., 1992. ISAREG. An irrigation scheduling simulation model. ICID Bulletin, 41 (2) : 29-48.
- [22] Teixeira J.L., Fernando N.M., Pereira L.S., 1995. ISAREG. Irrigation scheduling alternatives for limited water supply and drought. ICID Journal, 44 (2) : 73-88.
- [23] Wolters W., 1992. Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use. JLRI Publication n ° 51, JLRI, Wageningen, Pays-Bas.
- [24] Zairi A., Nars Z., Ben Mechlia N., Pereira L.S., Achour H., Derouiche A., Slatni A., Rodrigues P.N., 1998. Optimisation de l'irrigation du blé en conditions de disponibilités en eau limitées. Gestion de l'eau en conditions de pénurie. Actes des journées scientifiques de l'INRGREF, Hammamet, Tunisie, 29-30 octobre 1998. IRESA, ministère de l'Agriculture, Tunisie.