

Gestion de l'irrigation à l'eau salée : étude de cas de pomme de terre et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier dans le sud tunisien

N. Ben Hassen¹, F. El Mokh¹, K. Nagaz¹, M.M. Masmoudi², N. Ben Mechli²

¹Institut des Régions Arides, 4119 Médenine, Tunisie.

²Institut National Agronomique de Tunisie, Tunisi, Tunisie

Email: Nagaz.Kameleddine@ira.rnrt.tn; nadiabenhassen1@hotmail.fr

RESUME

Ce travail porte sur l'étude de la gestion de l'irrigation à l'eau salée des cultures de pomme de terre d'automne et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier. L'objectif étant de développer une stratégie d'irrigation à l'eau salée de pomme de terre et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier permettant d'optimiser la gestion des cultures et de l'eau d'irrigation. Les expérimentations ont été menées dans une ferme de production sur la pomme de terre d'automne et le petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier sur un sol sableux et irrigués au goutte à goutte avec des eaux provenant d'un puits de surface ayant une CEi de 6 dS/m. Trois régimes d'irrigation ont été appliqués. Le premier traitement (SWB100) consiste à délivrer à la culture intercalaire 100% de l'ETc. L'autre traitement (DI60) consiste à ne délivrer que 60% des besoins réels de la culture. Le troisième traitement (FM) a été irrigué selon la conduite recommandée par l'agriculteur pour l'irrigation de pomme de terre et de petit pois.

Les résultats obtenus montrent que le régime d'irrigation SWB100 réduit la salinité du sol par rapport à celui déficitaire (DI60) et la méthode agriculteur (FM). La couverture du sol, la conductance stomatique, la photosynthèse nette, le rendement et ses composantes les plus élevés sont obtenus avec le traitement SWB100. Cependant, les traitements DI60 et FM augmentent la salinité du sol et réduisent considérablement les rendements de pomme de terre et de petit pois. La salinité du sol élevée associée avec ces traitements provoque des réductions importantes dans la couverture du sol, la conductance stomatique, la photosynthèse nette et les composantes du rendement. La productivité de l'eau (WP) est, également, affectée par les traitements d'irrigation. Les faibles efficacités ont été observées pour le traitement FM, tandis que les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec traitement déficitaire DI60. Ces résultats indiquent que le traitement SWB100 semble constituer une stratégie d'irrigation adéquate pour la production de la pomme de terre d'automne et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier. Dans des conditions de pénurie d'eau, l'irrigation déficitaire avec une réduction de 40% des besoins (DI60) est recommandée pour la conduite des cultures. Le traitement DI60 permet d'économiser de grandes quantités d'eau d'irrigation (40%) et d'améliorer la productivité de l'eau mais en acceptant une certaine chute du rendement.

Mots-clés: Eau salée, pilotage d'irrigation, pomme de terre, petit pois, rendement, productivité de l'eau, cultures associées, aride.

SUMMARY

This work is devoted to the study of irrigation management with saline water of potato and peas cultivated between the olives trees in arid areas. The objective is to develop irrigation management strategy of these crops allowing to optimize crops and irrigation water productivity management. Experiments were carried out in a commercial farm on fall potato and peas cultivated in intercropping system with olive-trees on a sandy soil and drip-irrigated with water having an ECi of 6 dS/m. Three irrigation treatments were applied: the first treatment (SWB100) consisted in providing 100% of Etc of annual crop. The second treatment is irrigated at the same frequency as treatment SWB100, but with quantities equal to 60% of crop water requirements (DI60). The third treatment (FM) was irrigated according to farmer irrigation practice. The experimental results show that SWB100 treatment reduced the soil salinity. However, DI60 and FM treatments increased soil salinity. Plant growth, dry matter, yield and its components were highest under SWB100 treatment. However, deficit irrigation treatment (DI60) increased soil salinity and reduced significantly potato and peas yields. A higher salinity associated with deficit irrigation caused important reductions in ground cover, stomatal conductance, net photosynthesis and yield components. The Water productivity was affected by irrigation treatments. Water use efficiency for potato and peas production obtained under deficit irrigation treatment (DI60) is significantly different with SWB100 and FM treatments. The low

efficiences were observed for treatment FM, while the highest values were obtained with treatment DI60.

Results indicate that SWB100 treatment seems to be an adequate irrigation strategy for potato and peas production between olive-trees under the arid conditions of Tunisia. In case of situations where water supply is limited, potato and peas irrigation water requirements could be reduced by adopting a deficit irrigation strategy DI60 with a reduction of water supply by 40%. The deficit irrigation treatment (DI60) saves large irrigation water amounts (40%) and improves water productivity but with potato and peas yield losses of about 23 and 14%, respectively.

Key words: Saline water, irrigation scheduling, potato, peas, yield, water productivity, intercropping system, arid.

1. INTRODUCTION

Dans les régions arides de la Tunisie, l'irrigation de plusieurs cultures sensibles au stress hydrique et salin se développe autour des puits de surface qui exploitent les nappes phréatiques ayant une salinité élevée. Cependant, l'utilisation des eaux salées dans ces périmètres sans aucune mesure préventive vis à vis de la salinisation des sols conduit à terme à une baisse de la productivité des terres. Ainsi, l'impératif d'économie d'eau et d'utilisation durable de ces ressources nécessite l'adoption par les agriculteurs d'une tactique de gestion de l'eau et de culture axée sur la rareté croissante de cette ressource. Les possibilités d'adaptation visant la durabilité d'utilisation des eaux salées dans des conditions des déficits hydriques marqués pourraient être axées sur l'utilisation de méthode de pilotage d'irrigation appropriée et de techniques modernes d'irrigation (goutte à goutte) et également le développement des stratégies pour la conduite de leur système de cultures permettant d'adapter l'utilisation de l'eau à sa disponibilité.

Le développement de l'irrigation dans la région s'est traduit par une extension des cultures maraîchères, cultivées notamment en intercalaire dans les plantations d'oliviers et a provoqué la surexploitation des nappes qui commence déjà à se faire sentir. La généralisation du goutte à goutte n'a pas réduit la pression sur les nappes phréatiques puisque l'efficacité élevée de ce système n'est pas toujours exploitée et la sur-irrigation constitue une aberration observée dans plusieurs situations. La nécessité d'adapter la méthode de pilotage adoptée par les agriculteurs pour qu'elle tienne compte de la demande climatique, des spécificités de culture non totalement couvrante et de la salinité élevée de l'eau d'irrigation est évidente.

L'adoption des systèmes de cultures intercalaires par les agriculteurs constitue une approche d'adaptation pour atténuer la mauvaise utilisation de l'eau d'irrigation notée dans la monoculture dans le contexte de sud tunisien où les ressources en eau sont limitées. Cependant, la gestion de l'eau d'irrigation des cultures associées reste très empirique étant donné qu'il n'a pas d'outils scientifiques et techniques concernant les pratiques de gestion de l'irrigation en système de cultures associées en milieu aride du sud tunisien.

L'adoption de cette approche technique par les agriculteurs, comme forme d'adaptation et de gestion des ressources en eau existantes, nécessite des travaux de recherche auprès des agriculteurs pour améliorer ces pratiques et de mettre en place une méthodologie opérationnelle concernant les stratégies d'irrigation des cultures associées et combler par conséquent le manque de connaissances au sujet des pratiques et de gestion de l'irrigation en système de cultures associées en milieu aride du sud tunisien. Le présent travail porte sur la gestion de l'irrigation à l'eau salée de la pomme de terre d'automne et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier en milieu aride dans le but de réduire les risques de dégradation du sol et d'améliorer la productivité de l'eau.

2. MATERIELS ET METHODES

L'expérimentation a été menée chez un agriculteur dans le Sud-est de la Tunisie (Médenine). Il s'agit, en effet, d'un verger d'olivier planté en 2003 avec une densité de plantation 24x24 m cultivé sur un sol de texture sableuse. Le sol est de type iso humique brun, formé d'un horizon moyennement profond reposant sur un encroûtement gypseux à une profondeur moyenne de 80-100 cm. La pente du terrain est faible (3 à 5 ‰). Il est constitué de 80.55% de sables, de 6.77% d'argile et de 12.68% de limon. Le sol présente par ailleurs de faibles teneurs en matière organique (< 8 g/kg). Les cultures maraîchères considérées sont la pomme de terre et le petit pois. Elles ont été cultivées en intercalaire avec l'olivier et irriguées avec des eaux qui proviennent d'un puits de surface ayant une salinité de 5.9 dS/m.

L'humidité du sol à la capacité du champ et au point de flétrissement permanent est de 11.522 et 6.758 %, respectivement. La densité apparente du sol est de 1.574 g/cm³. L'eau totale disponible, pour une profondeur de 1.00 m, est de 75 mm. La conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol (CEe) mesurée à la plantation de la pomme de terre est de 3.51 dS/m, et de 4.7, 4.9 et 5.5 dS/m à la plantation de petit pois, respectivement, pour les parcelles irriguées avec les traitements SWB100, DI60 et FM. Les cultures ont été conduites sur la même parcelle expérimentale avec des périodes de cultures différentes. Sur le plan climatique, la parcelle d'étude est située dans l'étage bioclimatique aride inférieur à précipitations annuelles situées entre 140 et 160 mm. Le régime mensuel des précipitations est irrégulier.

Une vanne et un compteur volumétrique ont été placés à l'entrée de chaque bloc élémentaire permettant ainsi de mesurer la quantité d'eau d'irrigation délivrée. L'eau d'irrigation possède les propriétés chimiques données au tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique de l'eau d'irrigation (méq/l).

| CEi (dS.m ⁻¹) | Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Co ₃ ²⁻ +HCo ₃ ⁻ | So ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | RS (g/l) |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|--|-------------------------------|-----------------|----------|
| 7,6 | 35.9 | 22.1 | 0.62 | 1.6 | 12.73 | 44 | 4.7 |

Les cultures de pomme de terre et de petit pois ont été plantées en blocks de 25 lignes entre les rangés d'oliviers et espacées de 0.8 m. Trois régimes d'irrigation ont été considérés. Partant d'un sol à la capacité au champ à la plantation, une fraction de la quantité d'eau évapotranspirée est apportée lorsque la réserve facilement utilisable dans la zone racinaire, prise 40% de la réserve utile, est épuisée. Le premier traitement (SWB100) consiste à délivrer 100 % de l'eau évapotranspirée ramenant ainsi le sol de nouveau à la capacité au champ. Le deuxième (DI60) est un traitement de restriction hydrique continue de 40% par rapport à l'irrigation totale et consiste à ne délivrer que 60% des quantités données pour le traitement SWB100. Le dernier traitement (FM) correspond à la pratique de l'irrigation adoptée par l'agriculteur avec des doses et des fréquences d'irrigation fixes.

La fertilisation a consisté à un apport homogène, avant la plantation, de 7.7 t/ha de fumure organique. Quant à la fertilisation minérale, elle a été conduite selon la pratique adoptée par l'agriculteur. Les apports ont été de 200 kg/ha d'azote, 200 kg/ha de phosphate et de 150 kg/ha de potasse pour tous les traitements. Les engrais P et K ont été apportés avant la plantation, l'azote a été fractionné et délivré dans l'eau d'irrigation durant la période allant de la levée jusqu'à l'initiation des tubercules de pomme de terre et durant la phase de développement pour le petit pois. Une quantité de 100 kg/ha de nitrate de potassium a été apportée après la phase de tubérisation pour la culture de pomme de terre.

Les apports d'eau ont été calculés par la méthode du bilan hydrique. L'évapotranspiration de la culture est estimée en utilisant la méthode de la FAO-56 (Allen et al 1998) avec le coefficient cultural (Kc). Un modèle du bilan hydrique fonctionnant au pas de temps journalier a ainsi été développé sous forme d'une feuille de calcul Excel. Le modèle estime les valeurs de la profondeur d'enracinement et du pourcentage de couverture, calcule toutes les composantes du bilan hydrique, et fournit une consigne d'irrigation lorsque 60% de la réserve utile sont épuisés (100-ETc).

Les mesures effectuées ont porté sur la couverture du sol, la conductance stomatique, l'assimilation photosynthétique nette, l'humidité et la salinité du sol à différentes périodes de cycle de la culture de la pomme de terre et de petit pois. A la récolte, le rendement et ses composantes ont été déterminés. La salinité du sol a, également, été évaluée.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Evapotranspiration de la culture (ETc)

La figure 1 présente l'évolution de l'évapotranspiration de référence (ETo) et l'évapotranspiration de la culture (ETc) de la pomme de terre d'automne et de petit pois.

Pour la pomme de terre d'automne, correspondant à une plantation en septembre (9/9/2011), l'ETo est décroissante et se stabilise en novembre à des valeurs relativement faibles. Durant la phase initiale (25 jours), et bien que la culture ne soit pas encore bien développée, les valeurs de l'ETc sont relativement élevées à cause du mouillage fréquent du sol par irrigation ou précipitation. La valeur moyenne de l'ETc durant ce stade est de l'ordre de 2,88 mm/j. L'ETc moyenne augmente durant la phase de développement et atteint sa valeur maximale au stade mi-saison (3.75 mm/j). Pendant le stade final, correspondant à la sénescence des feuilles, l'ETc diminue quoique les valeurs enregistrées restent

relativement élevées à cause de la contribution de l'évaporation directe du sol. Cette période est caractérisée par une valeur moyenne de l'ETc de l'ordre de 2,28 mm/j.

La culture de petit pois est cultivée durant une période où la demande climatique évolue d'une manière croissante. Pour cette culture l'évapotranspiration de la culture est faible durant la première phase correspondant au mois de février et suit celle de l'ETo par la suite. Durant la phase initiale, la valeur moyenne journalière de l'ETc est de l'ordre de 1.65 mm. Au fur et à mesure que la plante se développe, l'ETc augmente et atteint une valeur moyenne de 4.96 mm/j pendant la phase mi-saison. La valeur moyenne de l'ETc durant la phase finale est de 4.78 mm/j. La valeur élevée pendant cette phase résulte des effets conjoints d'une forte demande évaporative et d'une fréquence d'irrigation élevée.

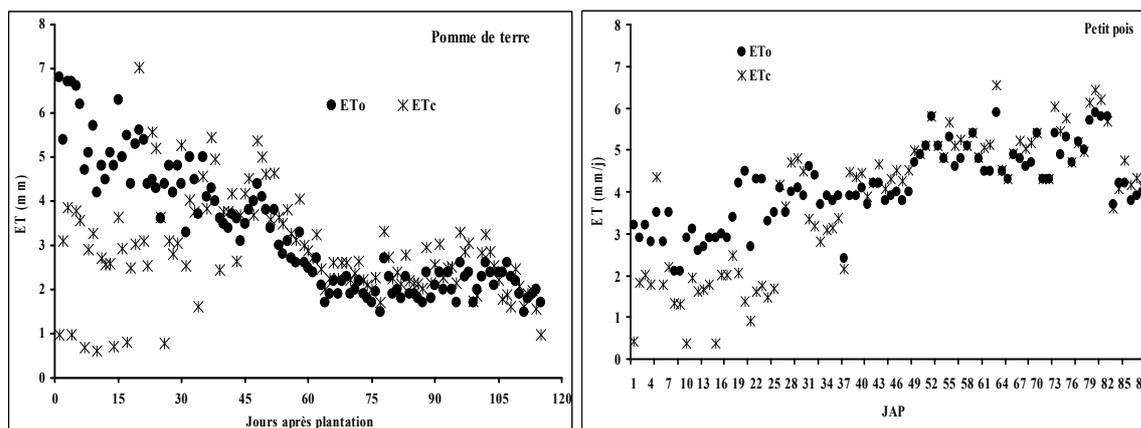


Figure 1. Evapotranspiration journalière de référence (ETo) et de la culture (ETc) de la pomme de terre d'automne (09/09/2011-01/01/2012) et de petit pois (26/01/2012-23/04/2012).

3.2. Apports hydriques

Le tableau 2 présente le nombre et l'intervalle d'irrigation ainsi que les quantités d'eau d'irrigation apportées durant les périodes de croissance des cultures de pomme de terre et de petit pois irriguées à 100 % de l'ETc (SWB100). Durant la phase initiale, le nombre des irrigations pratiquées pour la culture de pomme de terre est de 6 irrigations contre 3 pour celle de petit pois. Les quantités d'eau appliquées sont respectivement de 45 et 20 mm pour les cultures de pomme de terre et de petit pois (Tableau 2). Pour les deux cultures, les irrigations sont relativement fréquentes pendant les stades de mi-saison et final. Les quantités d'eau apportées durant la phase de développement sont de 77 et 44 mm, respectivement, pour les cultures de pomme de terre et de petit pois; tandis que pendant les phases de mi-saison et finale, les quantités d'eau d'irrigation pratiquées sont de 89 et 126, et 57 et 65 mm, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois (Tableau 2). Pour le traitement déficitaire (DI60), les irrigations ont été pratiquées à la même fréquence que celle de SWB100 mais avec des quantités réduites de 40% par rapport à l'irrigation totale pendant les différentes phases de croissance des trois cultures de pomme de terre. Avec le traitement SWB100, les apports d'eau d'irrigation ont été de 268 et 255 mm, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois.

Le suivi de l'irrigation a permis également de déterminer les apports d'eau pour la méthode agriculteur où l'irrigation a été pratiquée tous les 4 et 5 jours en apportant 20 et 16 mm, respectivement, pour les cultures de petit pois et de pomme de terre. Les quantités d'eau d'irrigation sont de 340 mm pour le petit pois et de 288 mm pour la pomme de terre.

Tableau 2. Quantité d'eau d'irrigation apportée durant les phases de croissance de la pomme de terre et de petit pois irrigués à 100% de l'ETc (SWB100)

| Phase de croissance | Pluie (mm) | Quantité d'eau (mm) | Nombre des irrigations | Dose (mm) |
|---------------------------------|------------|---------------------|------------------------|-----------|
| Pomme de terre d'automne | | | | |
| Initiale | 32 | 45 | 6 | 6-9 |
| Développement | 18 | 77 | 7 | 9-19 |
| Mi-saison | 17 | 89 | 4 | 189-21 |
| Finale | 0 | 57 | 3 | 18-19 |
| Totale | 67 | 268 | 20 | - |
| Petit pois | | | | |
| Initiale | 21 | 20 | 3 | 6-8 |
| Développement | 32 | 44 | 2 | 16-28 |
| Mi-saison | 80 | 126 | 4 | 30-34 |
| Finale | 0 | 65 | 2 | 31-33 |
| Totale | 133 | 255 | 11 | - |

3.3. Bilan hydrique du sol

Les figures 2 et 3 illustrent le tarissement de l'eau dans la zone racinaire estimé par un modèle du bilan hydrique et celui mesuré par la méthode gravimétrique durant les périodes de cultures de pomme de terre et de petit pois. Le modèle développe un bilan hydrique et fournit des informations sur le jour d'irrigation et l'apport d'eau nécessaire. Ces figures illustrent, également, l'effet de l'augmentation de la profondeur racinaire sur l'eau réellement disponible dans la zone racinaire (RAW) pour les deux cultures. Le tarissement de l'eau dans la zone racinaire à un moment particulier de la saison de culture est donné par les besoins nets d'irrigation pour la période en considération.

Généralement, les irrigations sont fréquentes, pour la culture de petit pois, durant les stades de mi-saison et final où la demande en eau de la culture est élevée, et moins fréquentes au début de son cycle de développement. Pour la culture d'automne, les irrigations sont fréquentes pendant le stade initial suite à une demande évaporative élevée, et relativement fréquentes pendant le stade de mi-saison. Durant le stade final où l'ETc est relativement faible, les irrigations sont moins fréquentes. La méthode du pilotage selon le bilan hydrique du sol maintient le tarissement de l'eau dans la zone racinaire entre la valeur seuil et la capacité au champ. Le déficit hydrique léger observé le jour précédant l'irrigation est dû au fait que l'irrigation n'est pratiquée que lorsque le tarissement de l'eau dans la zone racinaire est supérieur ou égal à l'eau réellement disponible dans la zone racinaire.

Pour le traitement SWB100 (pleine irrigation), les deux cultures ont été maintenues dans des conditions hydriques optimales par la pratique des irrigations toujours avant que le tarissement de l'eau dans la zone racinaire dépasse l'eau réellement disponible (Figures 2 et 3). Dans le cas du traitement d'irrigation déficitaire DI60 (60% de l'irrigation totale), le déficit hydrique a commencé environ les 35 et 55^{ème} jours après plantation, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois, et il a été maintenu jusqu'à la récolte des deux cultures. Ainsi, un épuisement marqué des réserves du sol a été observé en fin de cycle pour le traitement DI60.

Le tarissement de l'eau dans la zone racinaire lié à la méthode de pilotage agriculteur (FM) pendant les deux périodes de culture montre qu'une sur-irrigation apparaît durant le stade initial et celui du développement où l'ETc est faible; tandis qu'une sous-irrigation se produisait durant les stades de mi-saison et final caractérisés par une demande élevée. La méthode agriculteur se caractérise par des pertes d'eau pendant les périodes où les besoins en eau sont faibles, et un manque d'eau durant les phases caractérisées par des besoins en eau élevés. Pendant les périodes où l'ET est faible, une sur-irrigation amène la zone racinaire à une teneur en eau qui dépasse celle à la capacité au champ. Durant les périodes où les besoins sont élevés, l'irrigation est appliquée à un taux inférieur à celui de l'ET et ne couvre pas totalement l'ETc. La plante cherche, ainsi, à utiliser l'eau stockée dans le sol. Cette

situation est typique au stade final de la culture de petit pois où l'eau stockée dans le sol est graduellement épuisée par ET de la culture (Figure 3).

En présence de culture intercalaire seule la partie de l'inter-rang occupée par cette culture est irriguée. On remarque que le tarissement mesuré au niveau des rangs de la pomme de terre cultivée en intercalaire avec l'olivier augmente sensiblement que celui de pomme de terre en culture pure. Cette augmentation du tarissement de l'eau est observée durant toute la saison de culture. Ainsi, l'olivier semble bénéficier d'une certaine quantité d'eau lors de l'irrigation de la pomme de terre (Figure 2), et il y a plus de pression de culture en association parce qu'on a utilisé la même densité de pomme de terre en culture pure et associée

L'évolution de tarissement de l'eau dans le sol a été comparée entre les deux méthodes (Modèle SWB et gravimétrique) (Figures 2 et 3), pour les traitements SWB100, DI60 et FM. On observe qu'il y a une bonne concordance entre les deux méthodes, le modèle développé et la méthode gravimétrique; les différences ne semblent pas être significatives. Le modèle développé est fiable pour prédire le tarissement de l'eau du sol afin de fournir des informations pour une gestion adéquate de l'eau.

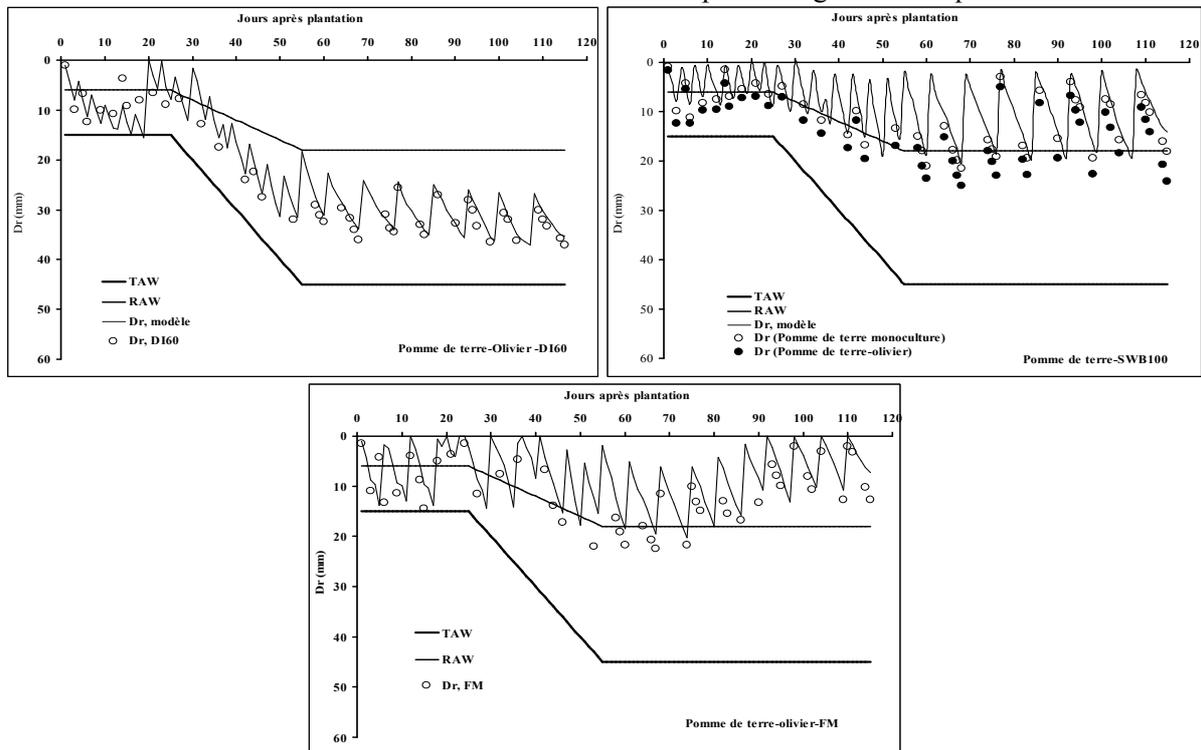
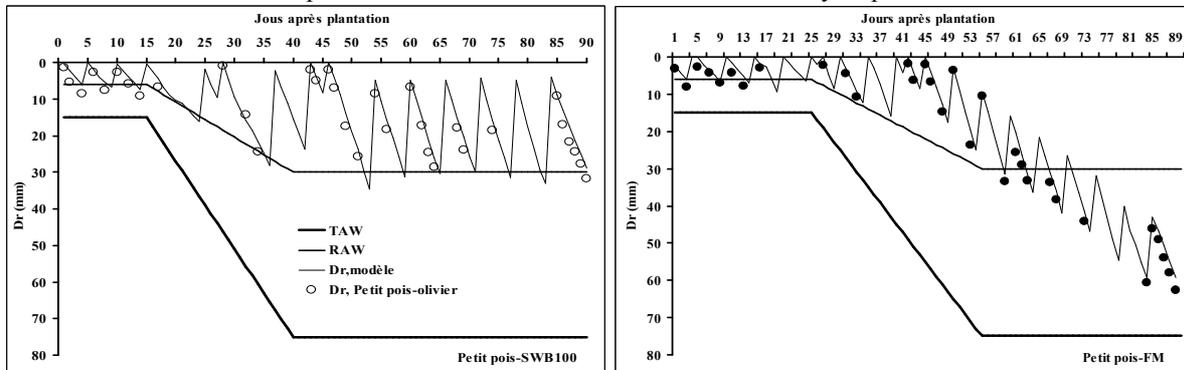


Figure 2. Tarissement de l'eau dans la zone racinaire estimé et celui mesuré durant la période de culture de pomme de terre sous les différents traitements hydriques



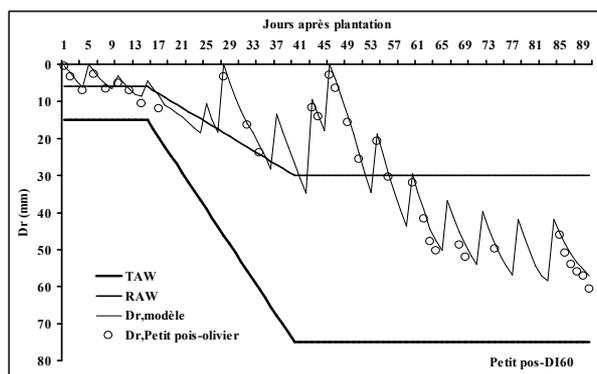


Figure 3. Tarissement de l'eau dans la zone racinaire estimé et celui mesuré durant la période de culture de petit pois sous les différents traitements hydriques

3.4. Salinité du sol

Les mesures de la salinité du sol, exprimé par la C_{Ee}, ont été effectuées à différentes périodes des cultures de pomme de terre et de petit pois. Les valeurs moyennes de la salinité du sol sous les traitements de pleine irrigation (SWB100), irrigation déficitaire (DI60) et méthode d'irrigation adoptée par l'agriculteur (FM) sont présentées dans la figure 4. Les valeurs de la salinité du sol à la plantation sont relativement élevées et elles sont de l'ordre de 3.5 dS/m pour la pomme de terre, et de 4.7-5.5 dS/m selon les traitements d'irrigation pour le petit pois. La salinité du sol mesurée sous pleine irrigation (SWB100) pendant les phases de développement (12.10.2011), de mi-saison (10.11.2011) et à la récolte de la pomme de terre (01/01/2012) sont, respectivement, de l'ordre de 2.7, 3.2 et 4.3 dS/m. Pour le petit pois irrigué avec le traitement SWB100, les valeurs de la salinité du sol sont de 2.75, 2.8 et 3.95 dS/m, respectivement, pendant les phases de développement (23.02.2012), de mi-saison (29.03.2012) et à la récolte (23/04/2012). Cependant, les traitements DI60 et FM provoquent une accumulation des sels plus élevée dans la zone racinaire. Le traitement SWB100 réduit la salinité du sol par rapport au traitement DI60. Bien que les quantités de sels apportées au sol avec le traitement SWB100 soient plus élevées que celles avec le traitement DI60, il présente une salinité du sol inférieure à celui-ci. Ce fait est probablement dû à une situation de drainage qui favorise l'évacuation des sels au delà de la profondeur étudiée. La réduction des apports d'eau réduit certes la quantité de sels apportée au sol, mais elle ne contribue pas à un lessivage efficace du sol. Les valeurs de salinité du sol les plus élevées sont observées avec le traitement FM où l'irrigation sans rapport avec les besoins de la culture et la fréquence élevée de l'irrigation semblent concentrer des sels dans la zone de racine.

Les résultats montrent une diminution de la salinité du sol pendant les phases de développement et de mi-saison des cultures de pomme de terre et de petit pois par rapport à la salinité initiale pour tous les traitements d'irrigation (SWB100, DI60 et FM). Cette réduction est due aux quantités de pluies reçues durant ces périodes de cultures de pomme de terre et de petit pois (67 et 133 mm) qui ont provoqué un lessivage des sels accumulés dans le sol. A la récolte, l'augmentation des valeurs de la salinité du sol pour tous les traitements s'explique par le fait que, durant les stades de mi-saison et final de pomme de terre et de petit pois, les apports d'eau sont principalement par irrigation. Les valeurs de la C_{Ee} élevées à la récolte de petit pois s'expliquent, également, par les dates de prise des échantillons qui correspondent à la période de forte demande évaporative.

Les valeurs de la salinité du sol sous les différents traitements sont généralement inférieures à celle de l'eau d'irrigation utilisée. Singh et Bhumbra (1968) ont montré que l'accumulation des sels dans le sol dépend de sa texture et que pour les sols dont la teneur en argile est moins de 10 %, les valeurs de la C_{Ee} restent inférieures à celle de l'eau d'irrigation utilisée. Ces faibles valeurs s'expliquent également par la nature sableuse du sol qui semble contrebalancer la médiocrité de l'eau d'irrigation et le lessivage du sol par les pluies enregistrées durant les périodes de cultures de pomme de terre et de petit pois qui ont garanti un lessivage du sol.

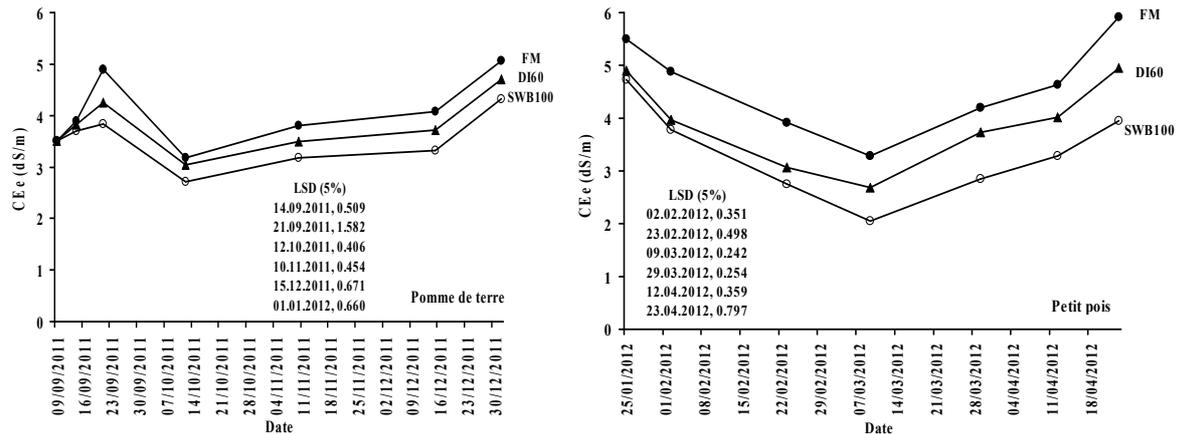


Figure 4. Evolution de la salinité du sol (CEe, dS/m) sous les différents traitements d'irrigation mesurée à différentes périodes de cultures de pomme de terre et de petit pois.

3.5. Etat hydrique de la plante

La figure 5 présente les valeurs de la conductance stomatique exprimées en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ pour tous les traitements d'irrigation à différentes périodes du cycle de développement de la pomme de terre. Les mesures ont été effectuées à midi où la demande évaporative est maximale. Les facteurs conditionnant la demande évaporative sont la température et l'intensité de radiation solaire. Les valeurs de la conductance stomatique les plus élevées sont obtenues avec le traitement SWB100. Cependant, les traitements d'irrigation déficitaire (DI60) et la méthode agriculteur (FM) provoquent une réduction de la conductance stomatique par rapport au traitement SWB-100. Cette baisse est de l'ordre de 5.4-8.9, 9.6-15, 11.4-17.2, 14.8-23.2 et 16.7-30.7%, respectivement, pour les traitements DI60 et FM pendant les périodes de mesures (48, 63, 69, 76 et 84 JAP). La réduction de la g_s est plus importante avec la méthode adoptée par l'agriculteur. Pour le traitement déficitaire DI60, un déficit hydrique provoqué par l'irrigation en continue avec des apports d'eau réduits et des conditions de demande évaporative relativement élevée se sont traduites par des valeurs de g_s les plus faibles. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Scochet al. (1989) et Eraslan et al. (2007) qui ont montré que la conductance stomatique diminue avec l'importance de la contrainte hydrique. D'après Clavet (2000), la diminution de la conductance stomatique semble être étroitement liée à la diminution de la disponibilité de l'eau dans le sol. Ainsi, l'état hydrique du sol semble conditionner les valeurs de la conductance stomatique sous les conditions de demande évaporative observées. La méthode agriculteur a conduit à une augmentation de la salinité dans la zone racinaire. Par ailleurs, La chute de conductance stomatique est probablement due à la salinité du sol élevée associée à la méthode courante d'agriculteur.

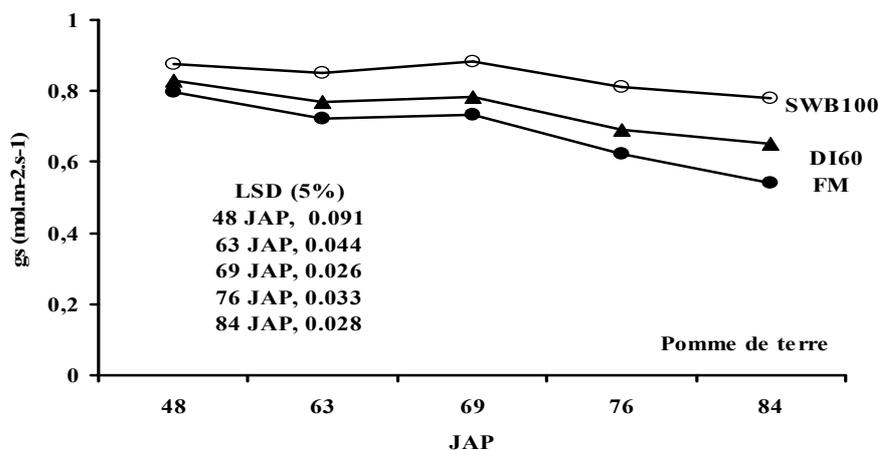


Figure 5. Conductance stomatique g_s ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) mesurée à midi du 48, 63, 69, 76 et 84 ème jour après plantation de la pomme de terre sous les différents traitements d'irrigation.

Les valeurs de la photosynthèse nette exprimées en $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ sous les différents traitements sont présentées dans la figure 6. D'une façon générale, les valeurs de la photosynthèse nette obtenues avec le traitement SWB100 sont plus élevées que celles obtenues avec les traitements DI60 et FM pour

toutes les périodes de mesure. Ainsi, le traitement déficitaire DI60 et la méthode agriculteur provoquent des baisses de la photosynthèse nette. A titre d'exemple, les valeurs de la photosynthèse nette mesurées à midi de la 76^{ème} JAP sont 14.76, 13.44 et 11.23 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ correspondants, respectivement, pour les traitements SWB100, DI60 et FM. Par conséquent, au niveau des traitements FM et DI60 correspondent la photosynthèse nette la plus basse. Holstein et al. (1977), Gallardo et al. (1996) et Younes et al. (2008) ont montré que l'activité photosynthétique baisse avec une restriction hydrique sévère. La diminution de la photosynthèse nette observée avec les traitements DI60 et FM s'explique par l'influence combinée du déficit hydrique et de la salinité du sol qui conduit à une réduction de la photosynthèse. Ainsi, l'activité photosynthétique chez la pomme de terre baisse avec une restriction hydrique sévère et un niveau de salinité du sol élevé. En effet, la quasi-totalité de la diminution de photosynthèse est due principalement à la réduction de la pénétration du CO_2 limitée par une fermeture des stomates avec pour conséquence une augmentation de la résistance de la feuille à la diffusion du CO_2 .

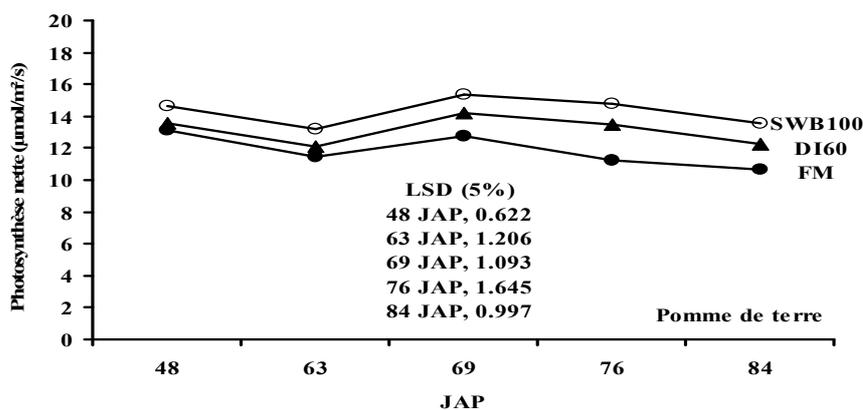


Figure 6. Photosynthèse nette ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) mesurée à midi des 48, 63, 69, 76 et 84^{ème} jours après plantation de la pomme de terre sous les différents traitements d'irrigation.

3.6. Croissance de la plante

La figure 7 présente les valeurs de la couverture du sol mesurée à différentes périodes de cycle de développement de la pomme de terre. Nous constatons que cette culture montre un développement végétatif rapide et important. Cette formation rapide de la végétation est due à un régime thermique favorable au développement de la partie aérienne. D'ailleurs, les températures enregistrées pendant la période où la formation de la partie aérienne se produit, se sont maintenues supérieures à 20 °C, et par conséquent elles sont à l'origine de ce développement rapide et important de la partie végétative. Les températures élevées favorisent la croissance du feuillage et augmentent également l'élongation, le nombre et le poids des tiges.

Pour tous les traitements, la couverture du sol atteint sa valeur maximale vers le 48^{ème} JAP et s'est maintenue constante pour une période d'environ trois semaines. Cela met en évidence que cette période dite de "tubérisation" est marquée essentiellement par la croissance des tubercules bien que la formation de la végétation existe même en période de tubérisation. La chute des valeurs de la couverture du sol a débuté vers le 79^{ème} jour après la plantation et elle est due au dessèchement des feuilles les plus âgées et à l'arrêt de l'émission et de l'élongation des feuilles plus jeunes.

L'évolution de la couverture du sol varie selon les traitements d'irrigation. Le traitement SWB100 présente la masse foliaire la plus importante; tandis que les traitements d'irrigation déficitaire (DI60) et d'agriculteur (FM) réduisent significativement les valeurs de la couverture du sol pendant les périodes de mesure. Les différences observées sont attribuées à la chute accélérée des feuilles des plantes moins irriguées. Steyn et al. (1992) ont montré que le stress hydrique retarde le taux de croissance et conduit à une petite couverture du sol par le feuillage. En effet, le stress hydrique réduit la surface foliaire en favorisant la sénescence des feuilles âgées.

Les valeurs différentes de la salinité et de l'humidité du sol peuvent expliquer les réductions de la couverture du sol entre les traitements. Doorenbos et Kassam (1980) et Haverkort (1987) ont rapporté que la pomme de terre est sensible au stress hydrique durant les périodes de formation de stolons, d'initiation et de formation des tubercules. Un stress hydrique, causé par le déficit hydrique ou la salinité, se produisant durant l'initiation de tubercules peut réduire le développement des tiges et des

feuilles. Il en résulte une diminution de la surface foliaire (Adams et al, 1987). Alors qu'un stress hydrique pendant la phase de formation de tubercules réduit la surface foliaire en favorisant la sénescence des feuilles les plus âgées. La méthode agriculteur a conduit à une augmentation de la salinité du sol. Par ailleurs, La chute de couverture du sol est probablement due à la salinité du sol élevée associée à la méthode courante d'agriculteur.

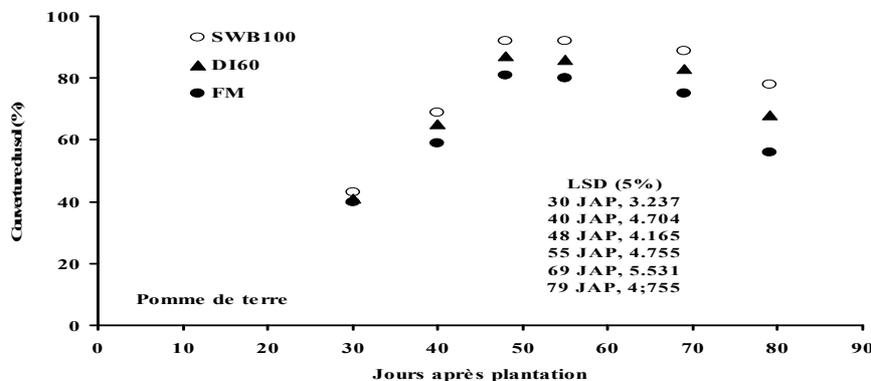


Figure 7. Couverture du sol mesurée par la méthode de traitement d'image à différentes périodes de cycle de développement de la pomme de terre d'arrière saison

3.7. Rendement et ses composantes

Les conséquences des traitements d'irrigation sur le rendement ont été appréciées à partir des critères analysés à l'échelle de la plante à savoir le rendement en tubercules frais, le nombre des tubercules par m² et le poids par tubercule pour la culture de pomme de terre, et le rendement en gousses fraîches, le nombre des gousses par plante et le nombre des graines par gousse pour la culture de petit pois. Les données concernant le rendement et ses composantes sont présentées dans la figure 8 et le tableau 3. Les composantes du rendement étudiées ont été soumises à une analyse statistique en utilisant le test de moindre différence significative "LSD" à un seuil de 5 %.

- Pour les rendements en tubercules et en gousses, le traitement SWB100 est significativement différent avec celui déficitaire DI60 et la méthode agriculteur (FM). Ces deux derniers le sont entre eux à un seuil de 5 %.

- En ce qui concerne le nombre des gousses par plante, le traitement DI60 et celui d'agriculteur sont significativement différents entre eux à un seuil de 5% et présentent également une différence significative avec le traitement SWB100. Cependant, la différence n'est pas significative entre les trois traitements pour le nombre des graines par gousses.

- Pour le poids de tubercules, le traitement SWB100 est significativement différent avec les traitements DI60 et FM à un seuil de 5 %. Ces deux derniers ne le sont pas entre eux. Pour nombre de tubercules/m², le traitement FM est significativement différent avec les traitements SWB100 et DI60 à un seuil de 5 %; alors que les traitements SWB100 et DI60 ne présentent pas une différence significative entre eux à un seuil de 5%.

Les résultats montrent un effet important des traitements d'irrigation sur la production de pomme de terre et de petit pois. Le traitement d'irrigation déficitaire DI60 et la méthode agriculteur sont différents de celui de pleine irrigation (SWB100) pour les critères retenus.

Les résultats obtenus montrent que les rendements obtenus varient d'un traitement hydrique à l'autre. Les rendements en tubercules et en gousses les plus élevés ont été obtenus avec le traitement SWB100. Les rendements obtenus avec le traitement SWB100 sont systématiquement différents de ceux du traitement d'irrigation déficitaire DI60 et la méthode agriculteur. La réduction des rendements de pomme de terre et de petit pois avec le traitement DI60 et celui d'agriculteur est attribuée principalement à une diminution significative des composantes du rendement comme conséquence de manque d'eau pendant les périodes où les besoins sont importants. Notons, également, que les traitements DI60 et FM conduisent à une accumulation des sels plus élevée dans la zone rainure (Figure 4). La salinité du sol élevée associée avec les traitements DI60 et FM semble causer des réductions importantes dans le rendement et ses composantes.

Les résultats supportent ainsi la pratique du traitement SWB100 pour une utilisation plus efficace des eaux salées en irrigation de la pomme de terre et de petit pois. L'utilisation optimale de ces eaux en irrigation est liée à la gestion adéquate de l'irrigation qui élimine les conditions du déficit hydrique du sol (Shalhevet, 1984).

Les pertes de rendements les plus élevées sont observées avec la méthode agriculteur. Elle est de l'ordre de 37.6 et 28.4% par rapport au régime SWB100, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois. Pour le traitement DI60, la chute par rapport à l'irrigation totale (SWB100) est, respectivement, de 23 et 14% pour la pomme de terre et le petit pois. Cette baisse importante du rendement est probablement due à la salinité du sol élevée associée à la méthode agriculteur. Le mode d'arrosage avec des doses fixes adopté par l'agriculteur simplifie la gestion de l'irrigation mais il provoque une chute des rendements à cause des pertes d'eau qu'il occasionne pendant les périodes de faible demande climatique et les déficits hydriques qui apparaissent durant les périodes où les besoins en eau sont élevés. Un excès d'apport d'eau en conditions de salinité peut causer le lessivage des éléments nutritifs de la zone racinaire ainsi que la salinisation du sol; alors qu'un manque d'eau, surtout durant les périodes les plus sensibles, conduit à une croissance limitée et une réduction dans le rendement et ses composantes.

Les rendements obtenus avec le traitement DI60 sont comparables à ceux du traitement SWB100. Cependant, la différence augmente significativement avec la méthode agriculteur. Ainsi, la tactique d'irrigation déficitaire avec une réduction des apports de 40% des besoins permet d'économiser de quantités relativement importantes d'eau d'irrigation sans affecter le rendement et ses composantes d'une manière significative.

Les rendements de pomme de terre montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre la culture pure et en association avec l'olivier bien que le rendement de pomme de terre obtenu avec le traitement SWB100 soit le plus élevé en monoculture qu'en culture associée. Ainsi, l'association des cultures semble mieux valoriser les apports d'eau puisque que l'on trouve un rendement de culture comparable à celui obtenu en monoculture.

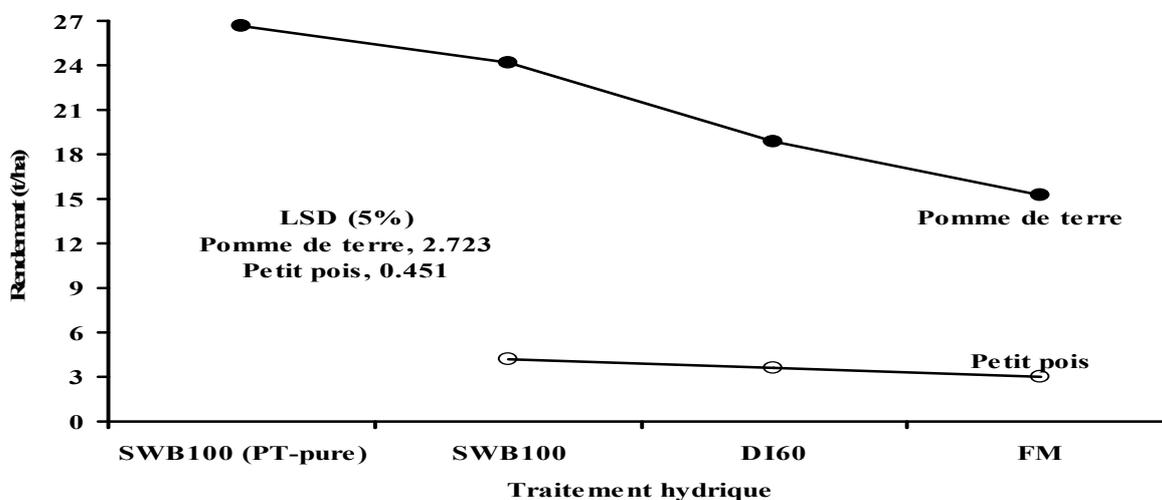


Figure 8. Rendement en tubercules frais et des gousses fraîches sous les différents traitements hydriques

Tableau 3. Composantes du rendement de pomme de terre et de petit pois sous les différents traitements hydriques

| Traitements | Pomme de terre | |
|-------------|---------------------------|---------------------------|
| | Poids de tubercule (g) | Tubercules/m ² |
| SWB100 | 110,31 | 25,75 |
| DI60 | 99,59 | 23,00 |
| FM | 90,63 | 18,75 |
| LSD (5%) | 10,492 | 2,992 |
| | Petit pois | |
| | Nombre des gousses/plante | Nombre des graines/gousse |
| SWB100 | 22,3 | 6,3 |
| DI60 | 18,1 | 5,7 |
| FM | 15,9 | 5,0 |
| LSD (5%) | 1,712 | 0,743 |

3.8. Productivité de l'eau

Les apports d'eau ont été calculés à partir du temps d'application d'irrigation en considérant que les débits des goutteurs sont constants. La pluie reçue durant la saison de culture est de 67 mm pour la pomme de terre et de 133 mm pour le petit pois. Le tableau 4 présente les quantités d'eau d'irrigation appliquées sous les différents traitements d'irrigation. Notons qu'une irrigation de 45 et 75 mm à la plantation de pomme de terre et de petit pois n'ont pas été considérées dans les quantités calculées.

Pour tous les traitements, les apports d'eau d'irrigation varient de 160 à 288 mm pour la pomme de terre et de 153 à 340 mm pour le petit pois. Les quantités d'eau totales se situent entre 227 et 355 mm et 286 et 476 mm, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) est la relation existante entre le rendement obtenu et la quantité d'eau de la plantation jusqu'à la récolte, que ce soit de l'eau d'irrigation ou celle totale apportée y compris les précipitations. Les valeurs d'efficacité d'utilisation d'eau d'irrigation et totale (IWP et TWP) sous les différents traitements d'irrigation sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4. Apports d'eau et productivité de l'eau d'irrigation (IWP) et totale (TWP) pour le rendement de pomme de terre et de petit pois sous les différents traitements d'irrigation

| Traitement | Irrigation* (mm) | Pluie (mm) | I+P (mm) | IWP (kg/m ³) | TWP (kg/m ³) |
|----------------|------------------|------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| Pomme de terre | | | | | |
| SWB100 | 268 | 67 | 335 | 9.13 | 7.30 |
| DI60 | 160 | 67 | 227 | 11.76 | 8.29 |
| FM | 288 | 67 | 355 | 5.30 | 4.29 |
| LSD (5%) | - | - | - | 1.411 | 1.028 |
| Petit pois | | | | | |
| SWB100 | 255 | 133 | 388 | 1.67 | 1.09 |
| DI60 | 153 | 133 | 286 | 2.37 | 1.27 |
| FM | 340 | 133 | 473 | 0.89 | 0.64 |
| LSD (5%) | - | - | - | 0.199 | 0.121 |

* irrigations de 45 et 75 mm à la plantation de pomme de terre et de petit pois n'ont pas été considérées dans les quantités calculées

Les résultats montrent que l'efficacité de l'utilisation de l'eau la plus élevée est observée avec le traitement déficitaire DI60 (11.76 et 2.37 kg/m³). La méthode agriculteur (FM) a donné des valeurs de productivité de l'eau les plus faibles (5.30 et 0.89 kg/m³). Ces écarts observés dans l'EUE entre les traitements sont dus à la perte de rendement en tubercules frais et gousses fraîches et les différences qui existent entre les quantités d'eau d'irrigation apportées sous les différents traitements hydriques.

Les efficacités pour le rendement en tubercules frais et en gousses fraîches (IWP et TWP) avec le traitement de pleine irrigation (SWB100) sont significativement différentes de l'efficacité obtenue avec le traitement déficitaire DI60 et la méthode agriculteur (FM). Ces deux derniers ne le sont entre eux. Il est évident que la restriction hydrique bien qu'elle ait causé une chute de rendement, elle a entraîné une amélioration considérable de la productivité de l'eau.

Les efficacités de l'eau d'irrigation et totale les plus élevées avec le traitement d'irrigation déficitaire DI60 s'expliquent par le fait que la réduction du rendement (23% pour la pomme de terre et 14% pour le petit pois) est plus faible que celle de la quantité d'eau d'irrigation; tandis que les faibles efficacités sont obtenues avec le traitement FM suite à un apport d'eau d'irrigation plus élevé. Le rendement et la productivité de l'eau relativement élevés avec le traitement DI60 montrent une réponse favorable des cultures de pomme de terre et de petit pois à un déficit hydrique modéré.

4. CONCLUSION

L'analyse globale des résultats obtenus dans cette expérimentation montre que le traitement d'irrigation déficitaire (DI60) et la méthode agriculteur (FM) provoquent une accumulation des sels plus élevée dans la zone racinaire. Le traitement SWB100 réduit considérablement la salinité du sol par rapport au traitement déficitaire DI60. Les résultats montrent également que le traitement SWB100 donne la croissance, la conductance stomatique et la photosynthèse nette les plus élevées. Le traitement déficitaire DI60 provoque une réduction significative de ces paramètres par rapport au traitement SWB100 qui pourrait être due à des différences de la salinité et de l'humidité du sol entre ces traitements. La réduction de la croissance, la conductance stomatique et la photosynthèse nette est plus importante avec la méthode adoptée par l'agriculteur. Cette chute est probablement due à la salinité du sol élevée associée à la méthode courante d'agriculteur.

Les rendements les plus élevés sont obtenus avec le traitement SWB100. En effet, l'étude montre qu'il est possible d'atteindre des rendements de 24.47 t/ha pour la culture de pomme de terre et 4.22 t/ha pour la culture de petit pois. Cependant, une chute significative du rendement a été observée avec les traitements déficitaires (DI60) et agriculteur (FM). Les pertes de rendements les plus élevées sont observées avec la méthode agriculteur. Elle est de l'ordre de 37.6 et 28.4% par rapport au régime SWB100, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois. Pour le traitement DI60, la chute par rapport à celui SWB100 est, respectivement, de 23 et 14% pour la pomme de terre et le petit pois. La réduction des rendements de pomme de terre et de petit pois avec le traitement DI60 et celui d'agriculteur est attribuée principalement à une diminution significative des composantes du rendement comme conséquence de manque d'eau pendant les périodes où les besoins sont importants. La salinité du sol élevée associée avec les traitements DI60 et FM semble causer des réductions importantes dans le rendement et ses composantes. Les rendements de pomme de terre montrent qu'il n'y a pas de différence entre la culture pure et en association avec l'olivier qui semble valoriser les apports d'eau puisque que l'on trouve un rendement de culture comparable à celui obtenu en monoculture. Les résultats montrent, également, que les efficacités d'utilisation de l'eau les plus élevées sont obtenues avec le traitement DI60, tandis que les faibles efficacités sont obtenues avec le traitement FM suite à l'augmentation de la quantité d'eau. Par ailleurs, les résultats supportent la pratique du traitement d'irrigation SWB100 qui semble constituer une stratégie adéquate d'irrigation de pomme de terre et de petit pois cultivés en intercalaires avec l'olivier puisqu'il a permis d'obtenir des rendements les plus élevés et de réduire le risque de salinisation du sol. Pour des situations de disponibilité en eau limitée, le pilotage de l'irrigation des cultures de pomme de terre et de petit pois pourrait être conduit avec la stratégie d'irrigation déficitaire DI60 qui permet davantage d'économie d'eau d'irrigation (40%) et de gain de productivité de l'eau mais elle est accompagnée d'une chute du rendement de l'ordre de 23 et 14%, respectivement, pour la pomme de terre et le petit pois. u d'irrigation appliquée. Le traitement SWB100 occupe une position intermédiaire.

L'impératif d'économie d'eau et d'utilisation durable de ces ressources nécessite l'adoption par les agriculteurs de stratégies d'irrigation proposées. Ainsi, un programme de suivi de l'irrigation auprès des agriculteurs de la région doit être mis au point pour évaluer son adoption par les agriculteurs et adapter l'utilisation des stratégies d'irrigation aux conditions locales.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adams, M.J., P.J. Read, D.H. Lapwood and G.H. Hide (1987) : The effect of irrigation on powdery scab and other diseases of potatoes. *Ann. Appl. Biol.* 110: 287-294.
- Allen, R.G., L.S. Perreira, D. Raes and M. Smith (1998) : Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper N° 56, FAO, Rome, Italy, 300 p. Annual report.
- Clavet J.C. (2000) : Investigating soil and atmospheric plant water stress using physiological and micrometeorological data. *Agricultural and Forest Météo*, Vol. 103: 229-247.
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam., (1980) : Réponse des rendements à l'eau. *Bulletin FAO d'irrigation et de Drainage* N°33 : 235 p.
- Eraslan F., Inal A., Savasturk O., Gunes A. (2007) : Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia horticulturae*, 114:5-10.
- Gallardo M., Jackson L.E., Schulbach K., Snyder R.L., Thompson R.B., Wyland L.J. (1996) : Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrig. Sci.*, 16, 125-137.
- Haverkort, A. J., (1987) : La gestion de l'eau dans la production de la pomme de terre. *Bulletin d'information technique* 1, p. 97-107, Centre Internationale de la pomme de terre.
- Holstein H.M.C., Behboudian M.H., Bongers H.C.M.L. (1977) : Water relations of lettuce. effects of drought on gas exchange properties of two cultivars. *Scientia horticulturae*, 7: 19-26.
- Schoch, P., L'Hotel, J.C., Dauplé, P., Conus, G. et Fabre, M.G. (1989) : Microvariation de diamètre des tiges pour le pilotage de l'irrigation. *Agronomie*, 9 : 137-142.
- Shalhevet J. (1984) : Management of irrigation with brackish water processes and management. In: *Adv. Hort. Sci.*, 6 (1992): 3-10.
- Singh B. and D.R. Bhumbla (1968) : Effect of quality of irrigation water on soil properties. *J. Res. Punjab Agric. Univ.* 5, 166.
- Steyn, J.M., H.F. Du Plessis and P.F. Nortje, (1992) : The influence of different water regimes on Up-to-date potatoes. I. Vegetative development, photosynthetic rate and stomatal diffusive resistance. *S. Afr. J. Plant*, 9(3), 113-117.
- Younis M.E., Hasaneen M.N.A., Ahmed A.R. El-bialy D.M.A. (2008) : Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress conditions: Reversal of harmful NaCl-effects in lettuce plants by foliar application with urea. *Australian journal of crop science*. 2.2:83-95.