



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADRPM/DERD

• Janvier 2005 •

PNNTA

La Conduite et le Pilotage de l'Irrigation Goutte à Goutte en Maraîchage

Introduction

Durant ces dernières décennies, les zones de productions maraîchères marocaines ont souffert du manque d'eau, dû principalement à la sécheresse et à la sur-exploitation de la nappe phréatique. Cette rareté de l'eau rend presque impossible l'irrigation du maraîchage en sols sablonneux par le système gravitaire, d'où l'intérêt porté sur l'utilisation de l'irrigation localisée (appelée aussi le "goutte à goutte").

Au Maroc, l'irrigation goutte à goutte des cultures maraîchères a occupé en 2002, une superficie de l'ordre de 20.000 ha dont 17.500 ha en maraîchage d'exportation et 2.500 ha en cultures maraîchères industrielles. Le développement de l'irrigation localisée des cultures maraîchères d'exportation et industrielles a induit une extension de ce type d'irrigation au maraîchage de saison et à la culture du maïs fourrager destiné à l'ensilage.

L'irrigation localisée est caractérisée par un apport d'eau localisé, fréquent et continu utilisant des débits réduits à de faibles pressions. Seule la fraction du sol exploitée par les racines est continuellement humectée. Le réseau d'irrigation (figure 1) est composé d'une station de tête (figure 2) qui comprend les systèmes de filtration et d'injection ainsi que des accessoires relatifs à la régulation de pression et à la protection du système, et d'un réseau de distribution. Celui-ci est composé de conduites d'amenée et de secteurs d'irrigation. Chaque secteur est contrôlé par une vanne et comprend des gaines ou des rampes portant des distributeurs. Les rampes sont branchées sur un porte rampe (ou antenne).

Le goutte à goutte permet une économie de l'eau (50 à 70 % par rapport au gravitaire et 30% par rapport à l'aspersion) et une utilisation de la fertigation. Il contribue à une augmentation des rendements, de l'ordre de 20 à 40%, et à l'amélioration de la qualité des productions maraîchères. Ce système de ferti-irrigation localisé assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau et des engrais entraînant ainsi une réduction des pertes de solutions nutritives par lessivage et par conséquent une diminution de la pollution des nappes phréatiques par les engrais. Par rapport aux autres systèmes d'irrigation, le goutte à goutte permet une baisse des dépenses en énergie utilisée dans le pompage, une réduction du coût de la main d'œuvre impliquée dans les opérations de l'irrigation et de la fertilisation, et une baisse des quantités d'eau et d'engrais utilisées.

Cet apport d'eau continu et localisé en bande, obtenue par le goutte à goutte en maraîchage, permet une réduction de l'évaporation, une diminution de la percolation de l'eau, une atténuation des effets du vent de chergui (vent chaud et sec) sur la culture, une meilleure conservation de la structure du sol, un accès facile aux parcelles pour la réalisation des différentes opérations culturales, et une réduction des mauvaises herbes. Ce système permet aussi d'exploiter des champs à topographie et configuration irrégulières, des sols lourds qui se fissurent en été, et des sols légers filtrant à forte percolation. La fréquence élevée des arrosages permet une dilution des sels présents dans la solution du sol sous le distributeur et un maintien des sels à la périphérie du bulbe humecté.

Pour une utilisation efficace de l'irrigation goutte à goutte, on doit maîtriser la technique de conduite d'un réseau d'irrigation bien conçu et correctement installé. Ce mode

- Dimensionnement du réseau d'irrigation.... p.1
- Exigences de la culture..... p.2
- Pilotage de la ferti-irrigation..... p.2
- Conduite, contrôle et entretien du réseau.... p.5
- Précautions à prendre..... p.6

de conduite doit tenir compte du risque potentiel posé à ce système, à savoir le problème de colmatage ou de bouchage des distributeurs. En effet, le colmatage entraîne une mauvaise répartition de l'eau dans le sol ce qui affecte la croissance et le développement des plantes. D'après des études réalisées au Maroc, plus de 80% des exploitations micro-irriguées souffrent de ce problème. En vue de lutter préventivement contre ce problème, nous vous proposons dans le présent bulletin des techniques pratiques de conduite et de pilotage de l'irrigation goutte à goutte. Pour bien illustrer ces techniques, on prendra comme exemple la conduite des irrigations dans une exploitation de tomate industrielle située sur un sol limoneux dans le Gharb.

Éléments de l'étude de dimensionnement nécessaires à la conduite de l'irrigation

Les éléments issus de l'étude du dimensionnement du réseau d'irrigation localisée de l'exploitation choisie portent sur les caractéristiques de la source d'eau, de la culture, du sol et du matériel d'irrigation. Ces informa-

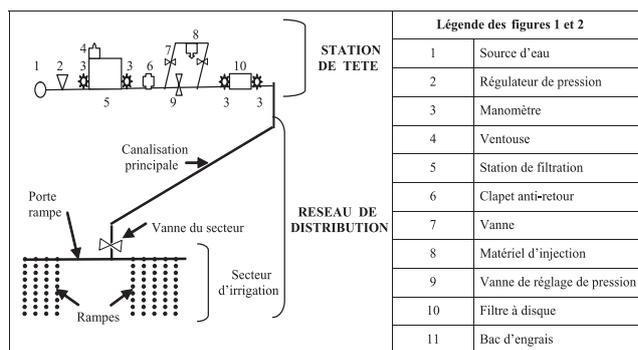
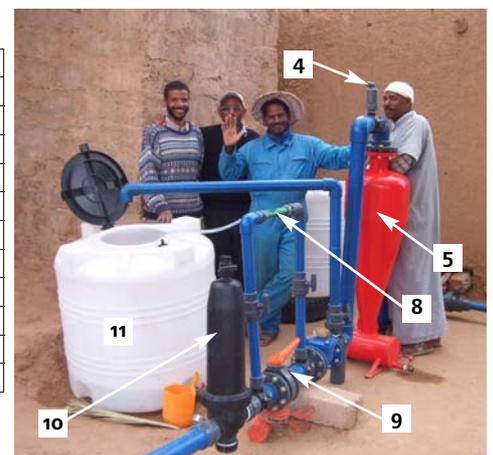


Figure 1. Schéma d'un réseau d'irrigation localisée (en haut)
Figure 2. Station de tête dans la région du Tafilalet (ci-contre)



tions doivent être disponibles à tout moment pour les utiliser en cas de contrôle ou de problèmes de conduite de l'irrigation. La superficie de l'exploitation de tomate (figure 3) prise comme exemple est de 10,4 ha. Sa longueur est de 595 m et sa largeur est de 175 m. L'étude a défini un nombre de secteurs d'arrosage (Ns) de 8. Chaque secteur a une superficie $S_s = 1,2$ ha dont la longueur $L_s = 145$ m et sa largeur $l_s = 83$ m (figure 3).

Données sur la source d'eau

La source d'eau est constituée par un forage situé en tête de l'exploitation (figure 3), dont le débit d'eau (Q_s) est de $48 \text{ m}^3/\text{h}$. La durée (d) de fonctionnement du pompage de l'eau à partir de ce forage est de 16 heures par jour. Le volume d'eau (V) disponible pendant une journée est $V = Q_s \times d = 48 \times 16 = 768 \text{ m}^3/\text{jour}$.

L'eau pompée est chargée en sable d'où le choix d'un système de filtration composé d'un hydrocyclone et d'un filtre à disques. L'eau a un pH de 7,6 et un niveau en ion bicarbonate (HCO_3^-) de 5 meq/L. Cette eau n'est pas saline et ne contient ni algues ni bactéries.

La pression de l'eau à la sortie du forage et à l'entrée de la station de tête est de 3,1 bars. Le matériel d'injection d'engrais est un *venturi* qui travaille avec une pression d'entrée de 2,8 bars et une pression de sortie de 2,2 bars. La pression à la sortie de la station de tête doit être au minimum de 2,2 bars. La pression à l'entrée du secteur doit être de 1,2 bars.

Caractéristiques du matériel d'irrigation

Chaque ligne de tomate est irriguée à partir d'une rampe d'une longueur $L_r = 36$ m (figure 3) portant des goutteurs espacés de 0,25 m (E_g) et ayant un débit $D_g = 1,5$ l/h à une pression d'un bar. Le nombre de goutteurs par rampe $N_g = L_r/E_g = 36/0,25 = 144$. Le débit de la rampe $D_r = N_g \times D_g = 144 \times 1,5 = 216$ l/h. L'écartement entre rampes $E_r = 1,5$ m. Les rampes sont placées de part et d'autre de chaque porte rampe. La largeur du secteur $l_s = 83$ m. Le nombre de paires de rampes par porte rampe $N_{prpr} = l_s/E_r = 83/1,5 = 55$, et le nombre de rampes par porte rampe $N_{rpr} = N_{prpr} \times 2 = 55 \times 2 = 110$.

Le nombre de porte rampes par secteur $N_p = 2$. Le nombre total de rampes par secteur $N_{tr} = N_{rpr} \times N_p = 110 \times 2 = 220$. La longueur totale des rampes par secteur d'arrosage est $L_{tr} = N_{tr} \times L_r = 220 \times 36 = 7920$ m. Le nombre total de goutteurs par secteur $N_{tg} = N_{tr} \times N_g = 220 \times 144 = 31680$. Le débit horaire d'un secteur d'irrigation:

$$D_s = N_{tg} \times D_g = 31680 \times 1,5 = 47520 \text{ l/h}$$

La pluviométrie horaire d'un secteur $P_s = D_s/S_s = 47.520/12.000 = 3,96$ l/h = 3,96 mm/h (où $S_s = 12.000 \text{ m}^2 =$ superficie d'un secteur).

Exigences de la culture

Dans le cas de notre exemple, la tomate industrielle a été plantée en lignes simples, le 1 Avril à une densité de l'ordre de 26.000 plants à l'hectare. Les lignes de tomates (figure 4) sont espacées de 1,50 m et l'écartement entre les plants sur la ligne est de 0,25 m. On compte un goutteur par plant.

Les besoins bruts en eau d'irrigation en période de pointe (Bbp) sont estimés à $80 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{jour}$ (8 mm/jour). Les besoins totaux en éléments fertilisants apportés ont été de 250 kg d'azote, 120 kg de P_2O_5 et 150 kg de K_2O .

Connaissant les besoin brut en eau d'irrigation et le Volume (V) d'eau disponible à la source en m^3/jour , la superficie maximale irrigable $S_m = V/Bbp = 768/80 = 9,6$ ha.

Information sur le sol de l'exploitation

La sol est limoneux, sa porosité est de 47%, sa perméabilité est de 13 mm/heure, et sa densité apparente est de 1,4. Son humidité à la capacité au champs (Hcc) en % du volume est de 30,8 soit 308 mm par mètre de profondeur; son humidité au point de flétrissement (Hpf) en % du volume est de 14 soit 140 mm par mètre de profondeur. La réserve utile est $RU = Hcc - Hpf = 308 - 140 = 168$ mm par m de profondeur.

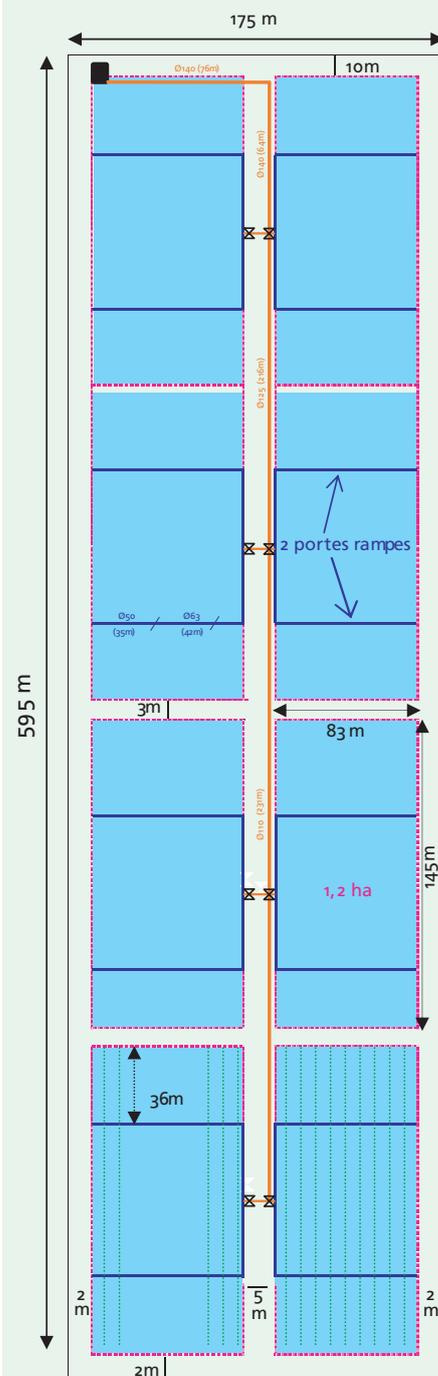
Dans le cas du goutte à goutte, seul un pourcentage de la surface et du volume du sol est effectivement mouillé en continue. Dans le cas de notre exemple, on cherchera à humecter 0,50 m de part et d'autre de la rampe, soit une bande humectée $b_h = 1$ mètre. La longueur totale des rampes par secteur d'arrosage est $L_{tr} = 7920$ m. La surface réellement humectée par secteur est $S_{rh} = L_{tr} \times b_h = 7920 \times 1 = 7920 \text{ m}^2$. La proportion réellement humectée par rapport au secteur d'arrosage est égale à $Pr_h = S_{rh}/S_s = 7920/12000 = 66\% = 0,66$ (où S_s est la superficie totale du secteur en m^2).

La dose nette maximale (en mm) d'arrosage est égale à $DNM = RU \times f \times Z \times Pr_h$. La réserve utile $RU = 168$ mm par m de profondeur. La fraction pratique de la RU $f = 0,3$. La profondeur (Z) des racines actives de la tomate industrielle à arroser est de 0,40 m. La $DNM = 0,3 \times 168 \times 0,40 \times 0,66 = 13,3$ mm. Puisque la valeur des besoins en eau de pointe (Bbp = 8 mm) est inférieure à la DNM, l'irrigation de pointe pourra être réalisée en un seul apport journalier.

Pilotage de la ferti-irrigation

Le pilotage de la ferti-irrigation concernera la conduite et le contrôle de l'irrigation fertilisante réalisée par la technique de la fertigation. Dans ce qui suit, on considérera l'alimen-

Figure 3. Plan parcellaire de l'exploitation de tomate industrielle



Légende

Echelle	1/3000	30 m
■	Station de tête	
X	Vanne du secteur d'irrigation	
■ (bleu clair)	Limites du secteur d'irrigation	
— (orange)	Limites de l'exploitation	
— (orange)	Canalisation principale	
— (bleu)	Porte rampe	
— (bleu pointillé)	Rampes	



Figure 4: Culture de tomate industrielle



figure 5: Station météo intégrée

tation en eau et en éléments fertilisants des plants de tomate industrielle au stade de fructification sur une période de dix jours (60 à 69 jours après plantation) allant du 1^{er} au 9/06.

Besoins en eau d'irrigation et en éléments fertilisants

Dans le cas de notre exemple, pour le stade de fructification considéré, $K_c = 0,9$ et $E_{To} = 5,5$ mm/jour (Evapotranspiration de référence Penman-Monteith). L'efficacité de l'irrigation localisée est $E_i = 0,90$ et le coefficient d'uniformité du réseau $CU = 0,95$. Les besoins en eau d'irrigation (Bb) sont donnés ci-dessous:

$$ET \text{ culture} = K_c E_{To} = 0,9 \times 5,5 = 4,95 \text{ mm/jour}$$

$$Bb = ET \text{ culture} / (E_i \times CU) = 4,95 / (0,9 \times 0,95) = 5,8 \text{ mm/jour} = 58 \text{ m}^3/\text{ha par jour}$$

Les valeurs de l' E_{To} de référence Penman-Monteith sont déterminées à partir de moyennes d'une dizaine d'années de données recueillies à partir de stations météorologiques bien équipées (figure 5) qu'on rencontre au Maroc dans certaines stations d'avertissement agricole des institutions d'encadrement du Ministère de l'Agriculture (ex les ORMVA).

Les besoins de la culture de tomate industrielle en éléments fertilisants durant la même période, calculés en fonction des exigences de la culture, de la richesse de l'eau et du sol en éléments nutritifs, et selon l'équilibre 1-0,5-2 sont de 20 kg/ha d'azote (14 kg/ha sous forme de nitrate et 6 kg/ha sous forme ammoniacale), 10 kg/ha de P_2O_5 et 40 kg/ha de K_2O . La conductivité électrique (CE) de la solution fille recommandée est de 2,4 dS/m (1 CE de 0,9 dS/m = 1g/l de sel).

La durée d'arrosage et le volume d'eau à apporter par secteur

Dans les conditions citées ci-dessus, le temps d'arrosage (T) d'un secteur d'irrigation (en heure par jour) durant la première décade du mois de juin (60 à 69 jours après plantation)

est de $T = \text{Besoins en eau d'irrigation (en mm/jour)} / \text{Pluviométrie horaire d'un secteur (en mm/h)} = 5,8 / 3,96 = 1,46 \text{ h/j} = 1 \text{ h } 28 \text{ min/jour}$.

Ce temps d'arrosage permet d'apporter au secteur d'irrigation le volume d'eau (V) = besoins (Bb) en eau d'irrigation (exprimés en m^3/ha par jour) \times surface (Ss) du secteur (exprimée en ha) = $58 \times 1,2 = 69,6 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Préparation de la solution mère destinée à la fertigation

La fertigation, qui permet un apport direct des éléments nutritifs dans la zone racinaire, consiste en l'injection dans l'eau d'irrigation d'une solution mère concentrée pour obtenir une solution nutritive appelée solution fille qui sera absorbée par les racines.

La quantité de solution mère préparée est généralement pour satisfaire les besoins d'une période donnée de fertigation (par exemple une dizaine de jours). Elle est préparée dans un ou plusieurs bacs, sur la base de la connaissance des besoins en éléments nutritifs de la culture et la compatibilité des engrais à utiliser (éviter de mélanger dans un même bac les engrais phosphatés ou sulfatés avec les engrais à base de calcium). Dans la confection d'une solution mère, on doit veiller à une bonne dissolution de l'engrais, d'où l'importance de connaître le degré de solubilité de l'engrais (quantité d'engrais à solubiliser par 100 litres d'eau) en fonction de la température de dissolution.

Pour satisfaire les besoins en éléments nutritifs du stade de culture considéré dans notre exemple, les engrais disponibles qui seront utilisés pour la préparation de la solution mère sont: le Phosphate mono-ammonique (MAP), l'ammonitrate, le nitrate de potasse et le sulfate de potasse. Ces engrais sont compatibles, donc un seul bac suffira.

Calcul des quantités d'engrais pour fertiliser les tomates d'un secteur

Par rapport aux besoins en éléments fertilisants pour un hectare de tomate industrielle, les quantités de fertilisants à apporter par secteur d'irrigation (1,2 ha) sont de: 24 kg d'azote (16,8 kg sous forme de nitrate $N-NO_3^-$ et 7,2 kg sous forme ammoniacale $N-NH_4^+$), 12 kg de P_2O_5 , et 48 kg de K_2O .

Pour accomplir les besoins en P_2O_5 d'un secteur d'irrigation de tomate industrielle (12 kg de P_2O_5), la quantité de MAP (12% NH_4^+ + 60% P_2O_5) à apporter est de $12 \times 100/60 = 20$ kg de MAP. Cette quantité de MAP fournit $20 \times 0,12 = 2,4$ kg de $N-NH_4^+$ (Tableau 1). Pour apporter le reste des besoins en azote

ammoniacal $N-NH_4^+$ ($7,2 - 2,4 = 4,8$ kg), on utilisera l'ammonitrate (16,5% $N-NO_3^-$ - 16,5% $N-NH_4^+$). La quantité d'ammonitrate à apporter est égale à $4,8 \times 100/16,5 = 29,1$ kg. Cette quantité d'ammonitrate apporte $29,1 \times 0,165 = 4,8$ kg d'azote sous forme de nitrate $N-NO_3^-$. Pour combler les besoins en nitrate $N-NO_3^-$ ($16,8 - 4,8 = 12$ kg), on apporte une quantité de nitrate de potassium (13% $N-NO_3^-$ - 46% K_2O) = $12 \times 100/13 = 92,3$ kg. Cette quantité de nitrate de potassium apporte $92,3 \times 0,46 = 42,5$ kg de K_2O . Pour compléter les besoins en potasse soit $48 - 42,5 = 5,5$ kg, on apportera une quantité de sulfate de potassium (50% K_2O) égale à $5,5 \times 100/50 = 11$ kg.

La quantité totale d'engrais utilisée pour la confection d'une solution mère en vue de fertirriguer un secteur de tomate industriel de 1,2 ha pendant dix jours est de 152,4 kg (Tableau 1).

Calcul des quantités d'eau pour dissoudre les engrais utilisés

La quantité totale d'eau nécessaire pour bien dissoudre les 152,4 kg d'engrais nécessaires pour la confection de la solution mère est donnée dans le Tableau 2. Le volume de la solution mère qui sera injectée durant les dix jours sera de 700 litres. Une quantité (Q) égale à 70 litres de solution mère sera injectée chaque jour dans l'eau d'irrigation.

Pour confectionner la solution mère (Figure 6), on versera 50 litres d'eau (si possible à 20-25°C) dans un bac de 1000 litres, suivi par le surnageant de chacun des engrais dissous auparavant, puis on complète avec de l'eau à 700 litres.

Tableau 2: La quantité d'eau nécessaire pour dissoudre les engrais

	Quantité d'engrais par dix jours (kg/ha) (1)	Solubilité recommandée (kg/l) (2)	Le volume d'eau pour dissoudre les engrais (en litres) (1)/(2)
MAP	20	0,25	80
Ammonitrate	29,1	1,2	24,3
Nitrate de Potassium	92,3	0,25	369,2
Sulfate de Potassium	11	0,08	137,5
Total pour le bac	152,4	-	611 (à compléter par 89 l d'eau pour obtenir une solution mère de 700 litres)

Tableau 1: Récapitulatif des éléments et des engrais (en kg par secteur de 1,2 ha) à utiliser pour la préparation d'une solution mère pour dix jours de fertigation

Quantité d'engrais en kg par secteur d'irrigation	Éléments nutritifs à apporter kg par secteur par semaine			
	$N(NO_3^-)$	$N(NH_4^+)$	P_2O_5	K_2O
Phosphate mono-ammonique = MAP (12% $N-NH_4^+$ + 60% P_2O_5)	20	2,4	12	
Nitrate d'ammonium = Ammonitrate (16,5% $N-NO_3^-$ - 16,5% $N-NH_4^+$)	29,1	4,8		
Nitrate de Potassium (13% $N-NO_3^-$ - 46% K_2O)	92,3	12		42,5
Sulfate de Potassium (50% K_2O)	11			5,5
Total	152,4	16,8	7,2	48



Figure 6: Préparation de la solution mère

Taux, débit et durée d'injection

Le taux d'injection est égal à :

$$r = Cf/Cm = 2,7/217,7 = 0,0124 = 12,4 \text{ ‰}$$

avec Cf = concentration de la solution fille = 2,4/0,9 = 2,67 = 2,7 g/l et Cm = concentration de la solution mère = 152400/700 = 217,7 g/l.

Le débit d'injection (Di) est la quantité de solution mère (litres) injectée avec l'eau d'irrigation par heure de fonctionnement en vue d'atteindre une concentration de la solution fille exigée par la culture. Il dépend de la concentration (en gr/l) des solutions mère (Cm) et fille (Cf) et du débit d'eau de la source Qs (en l/h) envoyé vers un secteur d'irrigation.

$$Di = Qs \times Cf/Cm = 48000 \times 0,0124 = 595,2 \text{ l/h}$$

(avec Qs = débit de la source d'eau = 48000 l/h et Cf/Cm = 2,7/217,7 = 0,0124).

La durée d'injection (Dinj) est :

$$Dinj = Q/Di = 70/595,2 = 0,118 \text{ h} = 0,118 \times 60 \text{ min} = 7 \text{ minutes}$$

[avec Q = quantité de solution mère à injecter dans l'eau d'irrigation chaque jour = 70 l/j et Di = débit d'injection (l/h)].

Contrôles relatifs au pilotage de la ferti-irrigation

Contrôle de l'EC et du pH de la solution fille et du percolat

Le contrôle de la concentration de la solution fille au niveau du goutteur à l'aide d'un conductivimètre portatif ('EC mètre') (figure 7). Le contrôle du pH se réalise à l'aide de papier pH à réactif coloré ou d'un pH mètre portatif. Ces appareils doivent être régulièrement étalonnés à l'aide de solution de référence. Ce contrôle de l'EC et du pH doit se faire une à deux fois par dix jours.

En cas d'utilisation d'un lysimètre, on contrôlera l'EC et le pH de la solution drainée 1 à 2 fois par semaine. Si l'EC du drainât est très supérieure à l'EC de la solution fille, on effectuera un lessivage (arrosage à l'eau) et on réduira la concentration de la solution fille.

Contrôle des quantités d'eau d'irrigation apportées

La valeur de l'ETo (Evapotranspiration de référence) intervient dans le calcul des besoins en eau d'irrigation de la culture. Elle varie d'une année à une autre. On doit alors obtenir des stations météorologiques des informations sur les ETo du jour si elles existent pour rectifier, en cas de besoin, les ETo utilisées.

Dans le cas où l'ETo a été estimée à partir de données théoriques et quelques mesures météorologiques, d'autres moyens peuvent être utilisés pour contrôler les apports. Il s'agit par exemple de l'utilisation du bac évaporant, de la cuve lysimétrique en sol légers et moyen, et des tensiomètres pour en sols moyens et lourds.

Le bac évaporant le plus utilisé au Maroc est le bac U.S. "Class A" qui est en tôle galvanisée (figure 8) mesurant 121,9 cm de diamètre et 25,4 cm de hauteur. Il est soulevé du sol, le plus souvent de 15,24 cm. L'eau du bac est maintenue entre 5 à 7,5 cm au dessous du bord limite. Ce bac permet de mesurer le pouvoir évaporant de l'air par le biais d'une surface d'eau libre. L'évaporation de l'eau du bac "Class A" est déterminée soit à

l'aide d'une règle spéciale placée à l'intérieur du bac, soit à l'aide d'un repère de niveau (pointe en métal) de l'eau dans le bac. Les valeurs de l'évaporation du bac (Eb) pourront nous renseigner sur les apports à la plante (ET culture) à condition de connaître le coefficient K'c. ET culture = K'c x Eb avec K'c = Kc x Kb où Kb = coefficient du bac qui varie en fonction de l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la situation du bac par rapport aux masses végétales et Kc = coefficient cultural fonction du stade de la culture.

Le lysimètre à drainage (figure 9) est une cuve étanche et enterrée qui a une superficie de 2m² (2m x 1m) et une profondeur de 0,50 à 0,60 mètre dont le sol est à capacité au champ. Il est placé au milieu de la culture. Pour le cas de l'exemple tomate industrielle, la cuve comprendra une ligne de 8 plants irrigués à partir de 8 goutteurs. La connaissance du débit des goutteurs et de la durée de l'irrigation permet de déterminer la quantité (A) d'eau apportée aux plants de la cuve. Le drainât (D) récupérée dans la fosse de drainage peut être mesuré 24 heures après l'apport. La quantité consommée par la plante (mm/jour) peut être estimée par C = A - D. Cette quantité C pourra être comparée aux besoins en eau d'irrigation de 5,8 mm/j utilisés dans l'exemple. Le lysimètre constitue un moyen efficace et peu coûteux pour piloter l'irrigation localisée des cultures maraîchères, surtout en sols légers à moyens.

Le tensiomètre est un moyen de conduire et contrôler l'irrigation localisée en sol lourd. Il est déconseillé en sol sableux car il décroche rapidement. Le tensiomètre est une colonne d'eau qui se termine par une bougie (figure 10). Celle-ci placée dans un sol humide assurera une connexion entre l'eau du sol et celle du tensiomètre. Donc, en présence de beaucoup d'eau dans le sol, le tensiomètre indiquera une faible tension et en cas de peu d'eau on aura une forte tension. On appelle "tension" la valeur de dépression lue sur le manomètre. La plus forte tension au niveau d'un tensiomètre est de 0,80 bar. En maraîchage, on utilise des tensiomètres de 30 cm de profondeur, placés sur la ligne de plantation entre deux plants consécutifs et à une distance de 10 cm de la rampe. L'irrigation doit être déclenchée lorsque la tension de l'eau est comprise entre 25 et 35 centibars. C'est un moyen efficace pour contrôler si les besoins en eau d'irrigation sont satisfaits. La lecture des tensiomètres doit se faire tous les jours à la même heure.

Un autre moyen de contrôler si les besoins en eau sont accomplis, est l'observation des plants. Un manque d'eau montre un enroulement des feuilles, un durcissement du feuillage et l'apparition de nécrose apicales sur les fruits.



Figure 7: Différents types d'EC mètres et pH mètres



Figure 8: Bac évaporant "Class A"

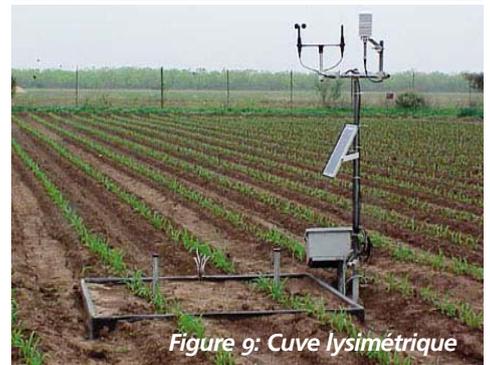


Figure 9: Cuve lysimétrique



Figure 10: Tensiomètre



Tensiomètre au champ



Manomètre du tensiomètre

Conduite de l'arrosage et opérations de contrôle, d'entretien et de nettoyage du réseau de goutte à goutte

Dans ce qui suit on signalera les différentes opérations à suivre d'une manière chronologique pour réaliser l'arrosage d'un secteur d'irrigation, ensuite on exposera les principales opérations de contrôle, d'entretien et de nettoyage du réseau d'irrigation.

Conduite de l'arrosage d'un secteur

La mise en eau de chaque secteur peut se faire en ouvrant la vanne du secteur manuellement ou automatiquement. Si l'automatisme est hydraulique, on utilisera une vanne volumétrique sur laquelle est programmée le volume d'eau correspondant aux besoins du secteur d'irrigation. En cas d'automatisme électrique, le programmateur installé en station de tête pilote l'irrigation à distance à l'aide des électrovannes installées en tête de secteurs.

Opérations à réaliser au niveau de la station de tête

- 1- Consulter la durée recommandée pour l'arrosage et la fertigation du secteur à irriguer.
- 2- Contrôler l'état des filtres. Dans le cas d'eau chargée, un entretien fréquent du filtre à lamelles doit être réalisé. On ouvre ce filtre, on contrôle sa propreté, et on le nettoie en cas de besoin.
- 3- S'assurer de la disponibilité de la solution mère dans le (ou les) bac(s).
- 4- Démarrer la motopompe et noter l'heure (la vanne du secteur à arroser doit être ouverte auparavant).
- 5- Contrôler la pression affichée par le manomètre placé à l'entrée de la station de tête.
- 6- Contrôler la pression à l'entrée et sortie du filtre à lamelles.
- 7- Ouvrir les vannes (entrée et sortie) du matériel d'injection.
- 8- Ajuster la vanne de réglage de pression pour assurer le débit d'injection de la solution mère dans le réseau d'irrigation pour la durée d'injection calculée.
- 9- Contrôler la pression à la sortie de la station de tête.

Opérations au niveau du réseau ou secteur

- 10- Contrôler la pression à l'entrée du secteur.



- 11- Contrôler l'EC et le pH de la solution fille.
- 12- Contrôler le débit de quelques goutteurs.
- 13- Contrôler la pression à l'extrémité des rampes les plus éloignées.
- 14- Après expiration de la durée de fertigation, arrêter l'injection de la solution mère en ouvrant complètement la vanne de réglage de pression et en fermant les vannes (entrée et sortie) du matériel d'injection.
- 15- Irriguer à l'eau clair pendant 5 à 10 minutes pour rincer le réseau.
- 16- Contrôler à l'aide de compteur le débit envoyé sur le secteur d'irrigation.
- 17- Ouvrir la vanne du 2^{ème} secteur et répéter les mêmes opérations d'arrosage de 1 à 16.

Opérations de contrôle du réseau d'irrigation

Contrôle de la propreté des filtres

Avant le démarrage de la motopompe, on nettoiera la purge de l'hydrocyclone et on ouvrira le filtre à lamelles pour contrôler sa propreté. Après démarrage de la motopompe, on pourra lire sur les manomètres la pression indiquée à l'entrée et la sortie du filtre à lamelles (figure 11) si la différence entre ces deux pressions est supérieure à 0,3 bars, il faut procéder au nettoyage. Ce même type de contrôle de la pression à l'entrée et la sortie peut être pratiqué pour d'autres types de filtres (filtres à sable et à tamis). Pour l'entretien de l'hydrocyclone, on nettoie la purge ou on ouvre la vanne de décharge. Le contrôle des filtres est fréquent lorsque les eaux d'irrigation sont chargées.

Contrôle pression dans le réseau

- 1- Contrôler tous les 15 jours le manomètre placé à l'entrée de la station de tête. Pour l'exemple de l'exploitation tomate, la pression doit être de 3,1 bars. Si cette pression n'est pas atteinte, ceci indique qu'un problème existe au niveau de la motopompe qui doit être réparée.
- 2- A l'aide des manomètres, contrôler la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre, si celle-ci est supérieure à 0,3 bars il faut procéder au nettoyage du filtre.
- 3- Contrôler la pression à l'entrée et à la sortie de l'injecteur pendant la période de la garantie du matériel, pour voir si l'injecteur s'adapte bien au système et au mode de son installation.
- 4- Contrôler la pression à la sortie de la station de tête: minimum de 2,2 bars. Si cette pression n'est pas atteinte, c'est qu'il faut revoir les trois premiers contrôles.
- 5- Contrôler la pression à l'entrée du secteur: doit être de 1,2 bars. Si cette pression est faible et si la pression à la sortie de la station de tête est normale contrôler les fuites le long de la conduite principale ou au niveau des accessoires (vanne,...).

Contrôle du débit de l'installation

Le débit de l'installation sous une pression donnée pourra être mesuré régulièrement à l'aide d'un compteur monté en station de tête. Le volume d'eau délivré au secteur d'ir-

Figure 11. Manomètres placés à l'entrée et à la sortie du filtre à lamelles



Figure 12. Filtre à lamelles à nettoyer

rigation par heure pourra nous permettre de s'apercevoir de la baisse des débits due au colmatage progressif des distributeurs. Ce débit de l'installation pourra être estimé en mesurant le débit d'un échantillon de goutteurs qui fonctionnent bien et le multiplier par le nombre de goutteur par secteur. Cette mesure pourra se faire une à deux fois par an.

Contrôle du bouchage des goutteurs et de l'homogénéité de leur débit

Ce type de mesure pourra se faire obligatoirement en début de campagne pour les goutteurs déjà utilisés. Il peut être réalisé plus souvent en cas où les distributeurs sont anciens et où le réseau est mal entretenu, et chaque fois qu'on constate une hétérogénéité dans les irrigations.

Pour contrôler le débit des goutteurs ainsi que le coefficient d'uniformité de leurs débits, on place un récipient sous le goutteur et à l'aide d'un chronomètre on pourra mesurer le volume d'eau délivré par le goutteur par unité de temps. Ces mesures porteront sur 4 distributeurs par rampe sur au moins 4 rampes. Les rampes choisies sont la 1^{ère} et la dernière rampes ainsi que les rampes situées au 1/3 et au 2/3 de la longueur du porte-rampe. Sur une même rampe on choisira le 1^{er} et le dernier distributeurs et les distributeurs localisés au 1/3 et 2/3 de la longueur de rampe. On classe les débits mesurés par ordre croissant. On calcule la moyenne (q_{min}) des 4 mesures de débit les plus faibles et la moyenne (q) de l'ensemble des débits mesurés. Le coefficient d'uniformité (CU) est égal à:

$$Cu = (q_{min}/q) \times 100$$

Si CU est supérieur à 90, il n'y a pas lieu d'intervenir sur le réseau. Si CU est comprise entre 90 et 70, on doit nettoyer le réseau. Si CU est inférieur à 70, on doit rechercher les causes du colmatage et traiter. Le nettoyage



Figure 13: Flashage d'un filtre à lamelles

des distributeurs se fera par purge et aussi par de l'eau de javel et de l'acide.

Contrôle de l'état des conduites et des accessoires

En cas de perte de pression à l'entrée du secteur et si la pression à la sortie de la station de tête est normale, il faut vérifier si il n'y a pas de fuite dans la conduite principale ou dans les pièces de raccordement et accessoires. On doit alors réparer et remplacer les parties défectueuses.

Opération d'entretiens et de nettoyage

L'entretien régulier des éléments du réseau s'effectue, en début, au cours et à la fin de la culture, en vue d'éviter le problème de colmatage des distributeurs. Ce colmatage est lié à la qualité et l'origine de l'eau. L'analyse de l'eau permet de déterminer les risques potentiels de ce colmatage. Il existe trois type de colmatage: le colmatage biologique causé par les algues, les bactéries, les champignons; le colmatage physique dû à la présence de dépôt de particule fine, de sable, de limon ou d'argile ainsi que des corps étrangers (plastiques,...) ; et le colmatage chimique dû au problème de précipitation calcaire, ou cimentation de limon ou d'argile.

En général, les eaux de surface (oueds, barrage, ...) renferment des algues, des bactéries, et des composés organiques responsables du colmatage biologique; et des particules très fines responsables du colmatage physique. Les eaux souterraines peuvent être chargées en sable (responsable du colmatage physique) ou en ions bicarbonates (responsables du colmatage chimique).

Pour le colmatage physique on doit prévoir un système de filtration composé d'un hydrocyclone et de filtres à tamis ou à lamelles et intervenir par des opérations de nettoyage de filtre et de réseau (purge). Pour le colmatage chimique, on doit traiter chimiquement à l'acide pour neutraliser les ions bicarbonates. Pour le colmatage biologique on doit prévoir un système de filtration composé de filtres à sable et de filtres à tamis ou à lamelles. Dans le cas d'utilisation de bassin, il faut le maintenir propre en procédant régulièrement à son nettoyage en réalisant des curages.

Traitement chimique de l'eau d'irrigation

Le traitement chimique prévoit une injection de l'eau de javel et de l'acide dans l'eau d'irrigation. Pour lutter contre le colmatage bio-

logique, on injecte de l'eau de javel (1 à 5 ppm c'est à dire 1 à 5 g/m³ d'eau). Pour le colmatage chimique, dû au problème de précipitation calcaire, ou cimentation de limon ou d'argile, on doit injecter de l'acide. Au cours de la culture, on injecte l'acide nitrique à raison de 300 ml/m³ d'eau pour traiter les eaux riches en ions bicarbonates. En fin de culture, juste avant la fin des irrigations, on traite à l'acide à 2‰ en vue de nettoyer le réseau et surtout les distributeurs.

Nettoyage des filtres

Lorsque on ouvre le filtre à lamelles et que celui-ci est sale (figure 12), on sépare les disques (ou lamelles) entre elles et on envoie un jet d'eau clair en vue d'évacuer les impuretés.

Lorsque la pression baisse à la sortie d'un filtre et la différence avec la pression à l'entrée dépasse 0,3 bars, le filtre se colmate, il est nécessaire de le nettoyer.

Le nettoyage se fait différemment suivant le type de filtres. Le nettoyage d'un filtre à sable se fait par contre lavage, en faisant passer de l'eau filtrée en sens inverse de la filtration, par un jeu de vannes. Les impuretés sont évacuées à l'extérieur par le courant d'eau. Le lavage du sable du filtre se fera une fois par an et on doit le changer une fois par deux ans. Le nettoyage du filtre à tamis se fait par brossage et rinçage des tamis. La brosse doit être souple et non métallique.

Le montage de certains filtres à lamelles permet de faire un flashage pour évacuer les impuretés en ouvrant un robinet situé à la partie basse du filtre. Ce système de flashage pourra être appliqué également pour évacuer le sable déposé dans la purge de l'hydrocyclone.

Le nettoyage des filtres à sable, à tamis ou à lamelles peut être automatique. L'automatisation est commandée soit par la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre, soit par une horloge (nettoyage à période fixe). Le nettoyage automatique est conseillé notamment lorsque la qualité de l'eau nécessite plusieurs nettoyages par jour.

Vidange et purge du réseau

La vidange ou purge du réseau doit se faire à son installation, en début et en fin de culture et chaque fois qu'on intervient ou qu'on répare le réseau. A la première mise en eau et en fin de saison, la purge du réseau se fait dans le but d'évacuer les sédiments qui se sont déposés. En cours de campagne, la purge concerne le nettoyage des rampes et antennes en vue d'assurer un bon fonctionnement des distributeurs. On doit purger les bouts de rampes 1 à 2 fois tous les deux mois.

Pour purger le réseau d'un secteur d'irrigation localisée, on ouvre les bouchons des portes-rampes ainsi que les extrémités des rampes et ensuite la vanne. on augmente momentanément la pression de l'eau dans le système lui-même ou à l'aide d'un compresseur (surpresseur). Le mélange air-eau est efficace pour déboucher les goutteurs. On laisse couler l'eau jusqu'à ce que celle-ci soit claire. Ce nettoyage du réseau se fait en vue d'éviter le bouchage des distributeurs.



En cas de fuites dues à des perforations ou casses de conduites ou détérioration des vannes ou autres pièces ou raccords on doit les réparer ou remplacer les parties défectueuses pour éviter les pertes d'eau et de pression et juste après purger le réseau.

A la fin de la campagne, après une première purge des antennes à l'eau claire; on injecte l'acide à forte dose (descendre jusqu'au pH 2,0) et on s'assure que le dernier goutteur du secteur a bien reçu la solution acide. On laisse l'acide agir pendant 24 heures, on purge et on rince avec une eau ramenée à pH 5,2.

Précautions à prendre et conclusions

Pour assurer une bonne conduite et un bon pilotage de l'irrigation goutte à goutte des cultures maraîchères on doit:

- 1- Réaliser une bonne étude de dimensionnement du réseau et une installation adéquate du matériel d'irrigation localisée.
- 2- Contrôler et entretenir régulièrement le système (filtres, réseau, distributeurs,...) pour éviter le problème de colmatage.
- 3- Maintenir l'eau d'irrigation propre en réalisant une bonne filtration.
- 4- Superviser la conduite du goutte à goutte par un technicien expérimenté.
- 5- Apporter des quantités d'eau et de fertilisants qui répondant aux besoins de la plante en vue d'obtenir une augmentation de la production et de sa qualité.

Le repérage et l'élimination des goutteurs obstrués sont lents et onéreux, c'est pourquoi il convient d'éliminer les causes d'obstructions par une filtration soignée, un traitement chimique préventif et un contrôle et un nettoyage réguliers des filtres et du réseau ■.

Dr. Hassan ELATTIR,

Professeur au Département d'Horticulture
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat
h.elattir@iav.ac.ma; Gsm: (0) 64-281506