

Evaluation de l'irrigation localisée de la vigne de table dans la région de Mornag

Zayani K., Dali N., Alouini A., Hadj Taieb M.

in

Lamaddalena N. (ed.).
Annual Meeting of the Mediterranean Network on Collective Irrigation Systems (CIS_Net)

Bari : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 31

2000

pages 105-119

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=1002079>

To cite this article / Pour citer cet article

Zayani K., Dali N., Alouini A., Hadj Taieb M. **Evaluation de l'irrigation localisée de la vigne de table dans la région de Mornag.** In : Lamaddalena N. (ed.). *Annual Meeting of the Mediterranean Network on Collective Irrigation Systems (CIS_Net)*. Bari : CIHEAM, 2000. p. 105-119 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 31)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

EVALUATION DE L'IRRIGATION LOCALISÉE DE LA VIGNE DE TABLE DANS LA RÉGION DE MORNAG

par Kemaies ZAYANI.¹, DALI N.², ALOUINI A¹ et HADJ TAIEB M³

Résumé

Cette étude s'intéresse à l'évaluation hydraulique et agronomique de l'irrigation de la vigne, cépage Muscat d'Italie, dans le périmètre irrigué de Mornag. Deux parcelles ont été sélectionnées pour l'évaluation de l'impact du mode d'irrigation sur les paramètres physiologiques et agronomiques. La première parcelle de vigne est irriguée au goutte à goutte et est conduite en pergolette à deux étages. Elle a fait l'objet d'un pilotage de l'irrigation. La seconde parcelle, représentative des vignobles irrigués à la raie, n'a fait l'objet que d'un suivi des paramètres agronomiques et physiologiques.

Les analyses effectuées au laboratoire sur les feuilles, les grappes ainsi que sur les baies mettent en évidence une amélioration de la photosynthèse associée à une amélioration de la production tant en termes qualitatif que quantitatif lorsque l'apport d'eau est assuré au goutte à goutte.

Introduction

La Tunisie a un climat aride à semi-aride marqué par des précipitations irrégulières dans le temps et désuniformes dans l'espace. Il s'ensuit que la plupart des cultures ne peuvent être conduites en régime pluviale d'où le recours inexorable à l'irrigation qui consomme 80% des ressources en eaux mobilisées en Tunisie.

Le goutte à goutte a été introduit dès 1974 en vue d'asseoir une agriculture parcimonieuse en eau. Néanmoins, la modestie des superficies équipées avec les systèmes d'irrigation localisée (6%) et la persistance, sinon l'accentuation, de la pression sur les ressources en eaux ont conduit le pouvoir public à accorder des subventions très incitatives (40% à 60%) aux agriculteurs qui adoptent des techniques d'économie d'eau.

Le présent travail a pour objectif d'évaluer la performance de l'irrigation localisée de la vigne de table d'un point de vue hydraulique et

¹ Département de Génie Rural Eaux et Forêts de l'INAT, Cité Mahrajène Tunis.

² Département des Sciences de la Production Végétale de l'INAT.

³ Agence de la Vulgarisation et de la Formation Agricole.

agronomique. Il est réalisé sur une parcelle expérimentale irriguée au goutte à goutte et sise dans le périmètre irrigué de Mornag, zone de Ouzra. Une analyse typologique des exploitations et des techniques culturales utilisées dans la région a permis d'identifier une parcelle témoin jugée représentative des vignobles de la région. Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des deux parcelles choisies :

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles témoin et expérimentale

	Parcelle expérimentale	Parcelle témoin
Conduite	Pergolette à 2 étages	Pergolette à 1 étage
Mode d'irrigation	Goutte à goutte	Raie
Variété	Muscat d'Italie	Muscat d'Italie
Age	4 ans	4 ans
Espacement	2 m x 3 m	2 m x 2.8 m
Superficie (ha)	1 ha	1 ha
Nombre de baguettes	2 au premier étage ; 3-4 au second	2-3

L'eau d'irrigation provient du canal Medjerda-Cap Bon. Dans cette région, la vigne couvre plus de 630 ha dont 330 ha de vigne de table. Il importe de souligner que dans la région, 79% de la production de raisin de table provient du cépage Muscat d'Italie. La superficie équipée de systèmes d'irrigation localisée représente 45% de la superficie totale équipée dans le périmètre irrigué de Mornag (Hadj Taieb, 1996).

Matériel et Méthodes

La parcelle expérimentale couvre une superficie d'un hectare cultivée en vignes de table. Les vignes, de cépage Muscat d'Italie, sont âgées de 4 ans et conduites en pergole à deux étages avec un espacement de 2 m x 3 m. La parcelle expérimentale est irriguée au goutte à goutte. La station de tête est dotée d'un hydrocyclone et d'un filtre à plaques muni de deux manomètres pour contrôler son état de colmatage. Un compteur volumétrique totaliseur est installé en tête de parcelle pour contrôler les volumes d'eau desservis. La porte rampe est installée au milieu de la parcelle pour réduire la longueur des rampes et assurer une meilleure uniformité d'arrosage. Les goutteurs utilisés sont du type irrifrance-Gana délivrant un débit de 4 L/h sous une pression nominale de 1 bar. Les distributeurs sont uniformément répartis sur la rampe avec un écartement de 1 m. La longueur des rampes est de 66 m. Les données climatiques, moyennes dans la région sur neuf années d'observation, sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 2: Données climatiques enregistrées dans la région de Mornag

Mois	J	F	M	A	M	J	J ^t	A ^t	S	O	N	D
T _{min} (°C)	5.9	6.4	7.2	9.5	12.5	16.1	18.4	19.2	17.1	14.1	9.9	6.6
T _{max} (°C)	15.4	16.7	18.5	20.8	25.5	30.5	33.7	33.6	29.9	25.1	19.9	17.0
HR %	75.0	75.5	76.5	73.8	64.4	59.0	56.3	66.3	72.0	75.9	78.7	75.7
P (mm)	58	44	56	42	22	4	0	4	39	77	62	62
ETP (mm)	31	41	69	98	145	192	219	191	137	93	52	49

où T_{min} et T_{max} désignent respectivement les températures minimale et maximale, HR l'humidité relative de l'air, P la pluie et ETP l'évapotranspiration potentielle mesurée sur des cases lysimétriques. Ce tableau montre que le déficit climatique ($P-ETP < 0$) se manifeste dès le mois de Mars jusqu'au mois d'Octobre et culmine à 219 mm au mois de Juillet. Le nombre de jours de pluie par an s'élève à 102 en moyenne. L'insolation moyenne annuelle est de 2902 heures et varie de 11.87 heures/jour au mois de Juillet à 5 heures/jour au mois de Décembre. Le sirocco a été observé 167 fois au mois de Juillet sur une période de 27 ans.

Les essais expérimentaux réalisés sur la parcelle expérimentale ont porté sur :

- la caractérisation physique du sol
- l'analyse chimique de l'eau d'irrigation
- la détermination de la distribution spatiale des racines
- la mesure de la surface foliaire
- la mesure des masses sèches des feuilles et des baies
- le dosage de la teneur en chlorophylles
- le dosage de l'amidon et des sucres solubles
- la mesure du pH des baies
- la mesure de l'acidité titrable
- le comptage des baies par grappes
- la mesure de la masse des baies et des grappes
- la mesure du diamètre latéral et transversal des baies

La caractérisation du système racinaire a été réalisée pendant la période de dormance en deux sites afin de ne pas perturber le cycle végétatif et reproducteur de la culture. La méthode de sondage a été utilisée à cet effet. Deux tranchées de 50 cm de large et de un mètre de long ont été creusées sur une profondeur de 60 cm. A cette profondeur, il a été constaté que les racines deviennent rares.

La première tranchée est disposée orthogonalement à la rangée de cultures et distante de 50 cm du tronc. La deuxième est disposée le long de la ligne de culture, entre deux plants successifs, et distante des troncs

de 50 cm. L'unité d'échantillonnage radiculaire est un parallélépipède de 50 cm de long, 20 cm de large et 10 cm de hauteur. Les racines recueillies dans une unité d'échantillonnage sont classées selon leur diamètres et poids frais. Trois classes ont été distinguées (Salem, 1990) :

- racines absorbantes ou fines (RF) : diamètre ≤ 1 mm
- racines moyennes ou subérifiées (RM) : $1 \text{ mm} \leq \text{diamètre} \leq 2$ mm
- racines conductrices ou grosses (RG) : $2 \text{ mm} \leq \text{diamètre}$

L'analyse granulométrique a été effectuée sur cinq profils pédologiques uniformément répartis sur toute la parcelle expérimentale. Les mêmes profils ont servi à déterminer la distribution de la densité apparente du sol en profondeur par la méthode des cylindres. Les échantillons ainsi prélevés ont permis de mesurer les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent en utilisant l'appareil de Richard (Hénin, 1976). La perméabilité saturée du sol a été mesurée in situ à l'aide d'un perméamètre Guelph qui permet d'établir la loi $K(h)$ en admettant que sa forme est exponentielle (Reynolds et al, 1985) :

$$K(h) = K_s e^{\alpha h} \quad 1)$$

où K_s et α désignent respectivement la perméabilité saturée et le nombre sortitif au sens de Philip (1991). La loi de rétention $\theta(h)$, en phase d'humidification, a été établie in situ à partir des mesures tensio-neutroniques à 40 cm de profondeur sur un site placé au milieu de la parcelle.

La surface foliaire a été mesurée par la méthode photométrique à l'aide d'un "areamètre portable" modèle LI 3000 A sur un échantillon de 40 feuilles prises au hasard sur 20 plants à raison de deux feuilles par plant. La surface foliaire éclairée, pour des vignes palissées, a été estimée par la méthode d'Argillier (1989). Le dosage des sucres solubles et de l'amidon a été réalisé par la méthode de Nelson et al (1986). La teneur en chlorophylles a été déterminée par la méthode de Mc Kiney (1941) en utilisant un spectrophotomètre de longueur d'onde 652 nm (Bruinsma, 1961).

Résultats et discussion

Le tableau suivant récapitule les résultats des analyses granulométrique, densimétrique et énergétique du sol.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du sol

Z (cm)	%A	% L	%S	ρ_d (g/cm ³)	θ_{cc} (cm ³ /cm ³)	θ_{ptp} (cm ³ /cm ³)
0-20	35.07	21.18	37.77	1.550	0.379	0.221
20-40	35.70	20.22	37.56	1.576	0.397	0.228

40-60	38.88	20.65	34.10	1.565	0.399	0.225
60-80	41.85	22.25	29.77	1.607	0.369	0.209
80-100	42.27	21.80	29.13	1.763	0.398	0.233

où A, L, S et ρ_d désignent respectivement les fractions d'argile, de limon, de sable ainsi que la masse volumique du sol à l'état sec. Les teneurs en eau volumiques à la capacité au champ θ_{cc} et au point de flétrissement permanent θ_{pfp} permettent d'évaluer la réserve utile du sol à 165 mm sur un mètre de profondeur. Le triangle textural permet de classer le sol comme étant argilo-sableux sur la tranche 0-60 cm de profondeur et franchement argileux sur la tranche 60-100 cm. La courbe de rétention du sol en phase d'humidification, ajustée sur le modèle de Van Genuchten (1980), est la suivante :

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\beta h)^n\right)^m} \quad 2)$$

où θ_r est la teneur en eau résiduelle, θ_s la teneur en eau à saturation naturelle, β , n et m des paramètres d'ajustement avec $m = 1-1/n$ selon le modèle de Mualem (1976). L'ajustement non linéaire des données discrètes (θ , h) permet de déduire les résultats suivants : $\theta_r = 0.144 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, $\theta_s = 0.360 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, $\beta = -0.149 \text{ cm}^{-1}$ et $n = 1.145$. D'autre part, les paramètres de la loi $K(h)$, exprimée par la relation (1), sont : $K_s = 1.54 \text{ cm/h}$ et $\alpha = 0.04 \text{ cm}^{-1}$. Ces dernières valeurs permettent d'estimer le rayon de la tache saturée, à l'intérieur du bulbe, à environ 17 cm en utilisant la formule de Wooding (1968).

La culture permet d'extraire le maximum d'eau ($\Delta\theta$) avec une variation de succion minimale (Δh) lorsque la capacité capillaire est maximale (Ababou, 1981). Ainsi, par simple calcul de dérivée, on peut déduire que $h_{opt} = -8.8 \text{ cm}$ et $\theta_{opt} = 0.33 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Il importe de noter que ce concept de point optimum sur la courbe de rétention est propre au sol; la culture étant complètement éludée dans ce concept.

Or, selon Taylor (1972), la succion qui permet un développement optimum de la vigne est comprise dans l'intervalle - 5 à - 4 m de colonne d'eau, ce qui correspond d'après l'équation (2) à une humidité de l'ordre de $0.34 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Curieusement, la teneur en eau optimale au sens de Taylor est quasiment identique à la teneur en eau optimale au sens énergétique du terme dans le sol. De facto, l'irrigation optimale doit maintenir en permanence une humidité voisine de $0.34 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ dans le sol.

Par ailleurs, l'analyse chimique de l'eau d'irrigation a donné les résultats suivants :

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques de l'eau d'irrigation

pH	EC _i (dS/m)	RS (g/L)	SAR	en meq/L						
				Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	HCO ₃	SO ₄ ⁻	Cl ⁻
7.3	2.08	1.33	3.79	3.25	11.45	8.3	8.25	5.7	10	0.3

Le diagramme de Piper montre que cette eau a un faciès géochimique chloruré et sulfaté calcique et magnésien. La classification d'Eaton (1958) montre que l'eau d'irrigation est de bonne qualité du moment que le taux de carbonate de sodium résiduel " RSC " est inférieur à 1.25 meq/L. Etant donné que le pH est inférieur à 8.5 et ESP inférieur à 15%, l'eau d'irrigation n'engendre ni alcalisation ni sodisation. En revanche, le modèle de production de Hoffman (1986) permet d'estimer la production potentielle, avec une telle qualité de l'eau, à 94%.

Le taux de couverture au sol, mesuré in situ pendant la période de véraison est de 33%. Les données climatiques consignées dans le tableau (2) ainsi que le taux de couverture au sol permettent d'estimer le besoin net en eau de la culture en irrigation localisée (Keller et Bliessner, 1990) :

Tableau 5 : Besoins nets théoriques de la culture de vigne dans la région de Mornag

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
K _c	0.25	0.45	0.65	0.75	0.74	0.70	0.54	0.45
B _n (mm)	9.9	25.3	54.1	82.7	93.1	76.8	42.5	24.0

où K_c désigne le coefficient cultural de la vigne, estimé par l'approche de Dorenboos et Pruitt (1975). Le besoin net annuel serait donc de l'ordre de 408 mm. Il va sans dire que l'aléa climatique confère au besoin net de la culture un caractère aléatoire qui est à l'origine de sa variation au fil des ans en fonction des conditions ambiantes.

Dans ce qui suit et pour des raisons de concision, seule la distribution bidimensionnelle des racines fines est considérée. La figure (1) représente la distribution spatiale des racines fines au niveau du profil racinaire 1.

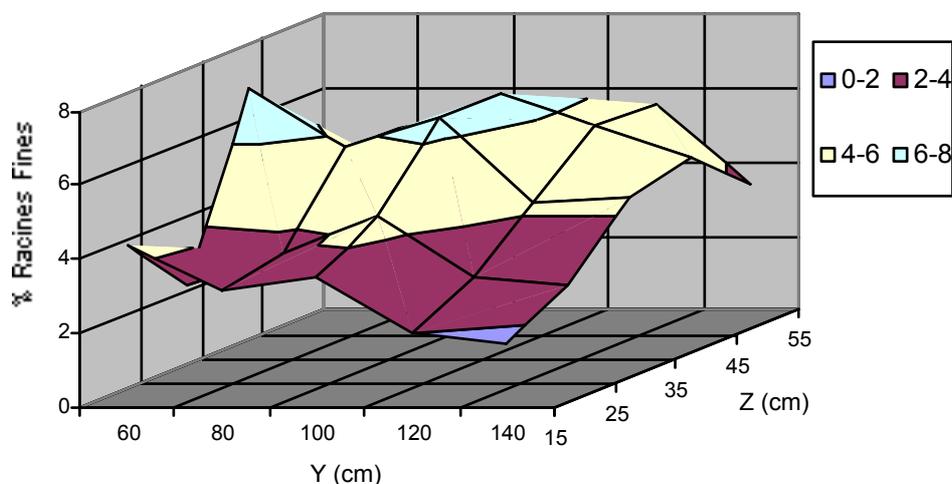


Figure 1 : Distribution spatiale des racines fines dans le profil 1

Cette figure montre que la fraction des racines fines est essentiellement comprise entre 2 et 6 % de l'ensemble des racines colonisant la tranchée. Cette fraction culmine à 7.28% dans le domaine situé entre les cotes 30 et 40 cm et à la distance radiale 50-70 cm à partir du tronc. En outre, les résultats obtenus montrent que la fraction des racines fines croît avec la profondeur. L'absence de racines dans l'horizon 0-10 cm de profondeur s'explique par le labour fréquent pratiqué par l'agriculteur.

La figure 2 illustre la variation spatiale des racines fines dans le profil racinaire 2. Les données recueillies montrent que les racines fines, cumulées sur toute la distance longitudinale x, sont les plus fréquentes (24.59 %) entre 20-30 cm de profondeur. En revanche, les racines moyennes et conductrices, cumulées sur toute la distance longitudinale, culminent entre 30 et 40 cm de profondeur, respectivement à 29.7% et 41.3%. Ces résultats sont conformes à la thèse de Keller et Karmeli (1974) qui proposent d'estimer le pourcentage de sol humecté à 30 cm de profondeur.

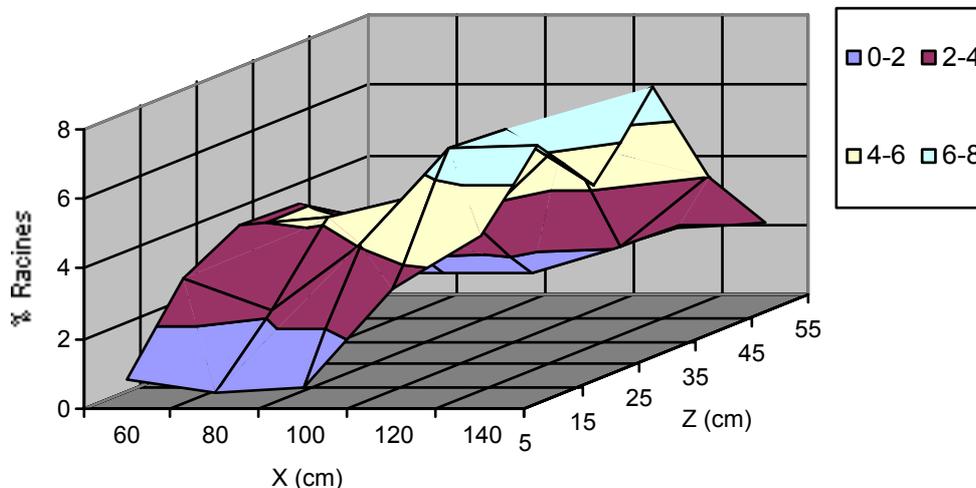


Figure 2 : Distribution spatiale des racines fines dans le profil 2

Le tableau suivant montre le coefficient de variation des racines dans les deux profils d'échantillonnage radicaire.

Tableau 6 : Coefficients de variation de la distribution racinaire dans les deux profils

Racines	CV dans le profil 1 (%)		CV dans le profil 2 (%)	
	sens latéral	en profondeur	sens latéral	en profondeur
RF	33.0	12.6	39.0	46.7
RM	34.4	20.3	43.0	55.6
RG	78.0	70.7	39.5	135.0

Dans le profil 1, la distribution d'une même catégorie de racines est plus homogène en profondeur que latéralement. Dans le profil 2, la tendance est inversée. Il importe de noter que les plus forts coefficients de variation sont souvent enregistrés pour les racines conductrices. La distribution des racines fines en profondeur est assez homogène dans le profil 1.

Le coefficient d'uniformité d'émission, évalué par la méthode de Keller et Karmeli (1974) sur 16 distributeurs est de 94%. Cette valeur dénote d'un bon fonctionnement du réseau en dépit de la valeur relativement élevée du coefficient de variation technologique de ce type de gouteur (CEMAGREF, 1990). Le dispositif d'irrigation génère une bande humidifiée, continue le long de la rampe, dont la largeur est égale à 1 m environ.

Le suivi de la succion de l'eau dans le sol aux cotes 30 et 50 cm entre 17 Juillet et 14 Août a permis de piloter les arrosages sur la base de la notion de pression de critique pour la culture de vigne (Taylor, 1972). L'apport d'eau est arrêté dès que la pression capillaire chute en deçà du seuil critique défini par Taylor (1972). Au cours de cette période, la durée d'arrosage ainsi obtenue varie entre 4 et 10 heures. La période d'arrosage est également variable de 3 à 5 jours.

La figure 3 montre que durant la période de suivi, la pression capillaire n'a pas dépassé le seuil critique (500 cm) pour les deux niveaux de mesure tensiométrique. Par ailleurs, 8 apports d'eau se sont avérés nécessaires pour subvenir aux besoins de la culture.

Le volume d'eau fourni aux cultures, sur la base du pilotage tensiométrique pendant la période de pilotage, est égal à 920 m³ alors que le volume brut théorique calculé sur la base des données climatiques est de l'ordre de 992 m³. Cette dernière valeur tient compte de la fraction de lessivage (8.7%), du coefficient d'uniformité pratique (94%) et de l'efficacité du réseau à la parcelle (90% selon Keller et Bliesner, 1990). L'accord entre les deux valeurs est plutôt acceptable et prouve que l'approche théorique est pertinente et que les données climatiques moyennes, rapportées au tableau 2, sont assez bien représentatives de l'année d'expérimentation.

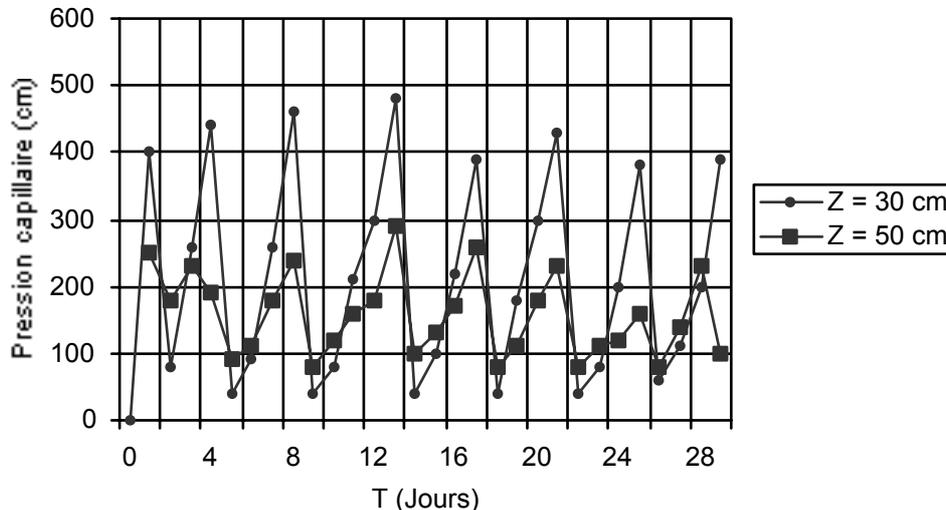


Figure 3 : Evolution de la pression capillaire dans le sol sous pilotage tensiométrique

Paramètres physiologiques et agronomiques

La surface foliaire éclairée, pour des vignes palissées, a été estimée par la méthode d'Argillier (1989). Le tableau suivant récapitule les paramètres agronomiques et physiologiques mesurés sur les deux parcelles.

Tableau 7 : Paramètres agronomiques et physiologiques mesurés sur les deux parcelles

Paramètres	Goutte à goutte	Irrigation à la raie
Conduite	Pergolette à 2 étages	Pergolette à 1 étage
Nombre de grappes/cep	35-40	20-25
Masse de la grappe (g)	834	454
Masse de la baie (g)	8.5	4.5
Nombre de baies/grappe	103	124
Surface foliaire (cm ²)	182	137
Surface foliaire éclairée (m ² /ha)	12 150	9 321
Masse sèche d'une feuille (g)	1.442	1.352
Masse sèche d'une baie (g)	1.110	0.610
Diamètre latéral d'une baie (mm)	20.54	16.4
Diamètre longitudinal d'une baie (mm)	26.8	19.5
Teneur en chlorophylles (mg/g M.S)	8.796	7.934
Sucres solubles (Millimole de glucose)	0.723	0.452
Amidon (Millimole de glucose)	0.392	0.295
Acidité titrable (g H ₂ SO ₄ /L)	4.56	5.34
pH	3.58	3.48
Rendement enregistré (Tonnes/ha)	45	16

Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus par Di Lorenzo (1986) et par Crescimanno et al (1988) sur des cépages conduits en pergola. Les résultats obtenus sur la parcelle irriguée au goutte à goutte permettent de classer la production enregistrée dans la norme extra (Baratta, 1983).

Conclusion

Les essais expérimentaux réalisés sur les parcelles expérimentales (irriguées au goutte à goutte) et témoin (irriguées à la raie) ont montré que la bonne conduite des arrosages en irrigation localisée a permis non seulement d'économiser de l'eau mais d'améliorer la production en termes quantitatifs et qualitatifs. Ainsi, l'irrigation au goutte à goutte a permis d'obtenir une production 2.8 fois plus importante que celle réalisée sur la parcelle témoin irriguée à la raie. Par ailleurs, la qualité gustative des raisins obtenus sous irrigation localisée est nettement meilleure que celle des raisins récoltés sur la parcelle témoin.

Références bibliographiques

Ababou. R, 1981 : Modélisation des transferts hydriques dans le sol en irrigation localisée. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 218 p.

Argillier. P , 1989 : Interdépendance des facteurs de la qualité : les recommandations. Chambre d'agriculture de l'Hérault, 56 p.

Baratta. G, 1983 : La normalisation des raisins de table, son importance et ses conséquences dans le commerce. Bulletin de l'IOV, Vol 56, n°629-630 : pp 545-553.

Bruinsma. J, 1961 : A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. Biochemica Acta, Vol 52 : pp 576-578.

CEMAGREF-RNED-HA, 1990 : Guide pratique, Irrigation : Edition du CEMAGREF, 319 p.

Crescimanno. F. G, R. Di Lorenzo, G. Occorso, I. Sottili, M.G Barbagallo et R. Meli, 1988 : Ricerche su combinazioni d'innesto della vite in Sicilia : Risultati ottenuti nella controspalliera et nel Tendone. Lavarò presentato al III convegno sui protinnesti della vite-pentenza, 4-5 Nov.

Di Lorenzo. R, 1986 : Osservazioni preliminari sull'andamento dei potenziali idrici del sistema terreno-pianta-bassa atmosphaera in viti allevate a controspalliera ed a tendone. Estratto dagli atti del convegno Bilancio e prospettive dello sviluppo delle irrigazioni in sicilia Catania, 23-25 Ottobre.

Doorenbos. J et W.O. Pruitt, 1975 : Les besoins en eau des cultures. Bulletin n° 24 de la FAO pour l'irrigation et le drainage, 144 p.

Eaton. F. M, 1958 : Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci., Vol 69 : pp 123-133.

Hadj Taieb. M, 1996 : irrigation localisée de la vigne : évaluation, optimisation et impact sur le rendement. Cas du périmètre de Mornag. Mémoire du cycle de spécialisation de l'INAT, 137 p.

Hénin. S, 1976 : Cours de physique du sol. Tome I, ORSTOM-EDITEST, Paris, 159 p.

Hoffman. G. J, 1986 : Management principles : salinity. In trickle irrigation for crop production, eds. F.S Nakayama and D.A Bucks, Amsterdam, Elsevier :pp 345-362.

Keller. J and Karmeli. D, 1974 : Trickle irrigation design parameters. ASAE Transactions : Vol 17, n° 4 : pp 678-684.

Keller. J et R. D. Bliesner, 1990 : Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand reinhold, New York, 652 p.

Mc Kiney. G, 1941 : Absorption of light by chlorophyll solution. J. Biol. Chem, Vol 140 : pp 315-332.

Mualem. Y, 1976 : A catalogue of the hydraulic properties of unsaturated soils. Hydrodynamics and Hydraulic Laboratory, Research Project n°442 : Technion Institute of Technology, Haifa : 100 p.

Nelson. R.S, L. Streit and J.E Harper, 1986 : Nitrate reductase from wide type and nrl-mutant soybean [Glycine max (L) Merr] leaves : II. Partial activity, inhibitor and complementation analysis. Plant Physiol, Vol 80 : pp 72-76.

Philip. J.R, 1991 : Upper bounds on evaporation losses from buried sources. Soil. Sci. Soc. Am. J., Vol 55 : pp 1516-1520.

Reynolds. W. D, E. Elrick and B. E. Clothier, 1985 : The constant head well permeameter : effect of unsaturated flow. Soil. Sci., Vol 139 : pp 172 – 180.

Salem. B, 1990 : Etude comparative de deux modes d'irrigation localisée : le goutte à goutte et le micro-jet. Cas d'une parcelle d'agrumes située à Béni Khalled. Mémoire de fin d'études du cycle de spécialisation de l'INAT.

Taylor. A.S, 1972 : Physical edaphology. The physics of irrigated and non irrigated soils. W. H. Freeman and Co. (ed), 553 p.

Van Genuchten. R, 1980 : Calculated unsaturated hydraulic conductivity with a new closed form analytical model. Princeton University, New Jersey.

Wooding. R.A, 1968 : Steady infiltration from a shallow circular pond. Water resources research, Vol 4, n°6 : pp 1259-1273.