



ANALYSE EXPÉRIMENTALE DE L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT D'UN ENROULEUR D'IRRIGATION (NORD-OUEST TUNISIEN)

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE STATE OF OPERATION OF AT COIL MACHINE FOR IRRIGATION (NORTHWEST OF TUNISIA)

M'SADAK Y.¹, MANAI A.¹, BEN MABROUK A.¹, HAMZA M.E.²

¹ Institut Supérieur Agronomique - BP 47, 4042 Chott-Mariem,
Université de Sousse, Tunisie

² Institut National Agronomique - 43, Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis-
Mahrajène, Université de Carthage, Tunisie

msadak.youssef@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude concerne le diagnostic du fonctionnement au champ d'un enrouleur d'irrigation en usage dans la délégation de Bou Salem, gouvernorat de Jendouba (Tunisie) et l'appréciation de la qualité d'arrosage réalisé. Elle comporte notamment l'évaluation de la répartition pluviométrique et le testage d'uniformité. Les essais conduits ont touché une gamme de vitesses du vent dominant de 1 à 8 m/s et une gamme de pressions de 1,5 à 2,5 bars.

Le bilan de fonctionnement a révélé que l'irrigation par enrouleur assure une répartition pluviométrique assez bonne, qui est liée, d'une part, à la régularité de sa vitesse d'avancement, et d'autre part, à la performance du canon d'arrosage. Les résultats ont également dévoilé la sensibilité de ce système aux vents forts, dont la vitesse dépasse 4 m/s (coefficient d'uniformité de l'ordre 74% à une vitesse du vent égale à 4,1 m/s contre 84% à 1,6 m/s), et l'insensibilité du coefficient d'uniformité (écart de 4%) à la variation de la pression de fonctionnement dans la gamme 1,5 à 2 bars.

Nécessairement, le recours ultérieur à un tel système d'aspersion mécanisée, est une solution intéressante, étant donné sa bonne efficacité. Cependant, il faut stopper l'irrigation, en cas d'évolution du vent vers plus de 5 m/s.

Mots clés : Aspersion mécanisée, Enrouleur d'irrigation, Répartition pluviométrique, Vitesse d'enroulement, Coefficient d'uniformité.

ABSTRACT

This study concerns the diagnosis of the field operation of winder of irrigation used in the delegation of Bou Salem, governorate of Jendouba (Tunisia) and the assessment of the quality of watering carried out. It includes an assessment of rainfall distribution and uniformity testing. The tests carried out affected a range of prevailing wind speeds of 1 to 8 m/s and a pressure range of 1.5 to 2.5 bar.

The operating balance revealed that winder of irrigation provides a fairly good rainfall distribution, which is linked, on the one hand, to the regularity of its speed of advance and, on the other hand, to the performance of the cannon of watering. The results also revealed the sensitivity of this system to strong winds, whose speed exceeds 4 m/s (uniformity coefficient of 74% at a wind speed of 4.1 m / s compared to 84% at 1.6 m/s), and the insensitivity of the coefficient of uniformity (deviation of 4%) to the change in operating pressure in the range 1.5 to 2 bar.

Necessarily, the subsequent use of such a mechanized sprinkler system is an interesting solution, given its good efficiency. However, irrigation should be stopped if the wind changes to more than 5 m/s.

Keywords: Mechanized spraying, Coil machine for irrigation, Pluviometric distribution, Winding speed, Coefficient of uniformity.

INTRODUCTION

La question de l'eau en Méditerranée devient de plus en plus importante, étant donné l'accroissement des besoins qui ont entraîné à la fin du XX^{ème} siècle une pression accrue sur les ressources en eau (Louhichi et al., 2000). L'agriculture irriguée est un secteur fort consommateur d'eau. A l'échelle mondiale, elle fournit 30% de toute la production agricole (Hillel, 2000). Dans les pays en voie de développement, elle contribue auprès de 40% des besoins alimentaires (FAO, 2002). En Tunisie, le secteur irrigué couvre 400000 ha, ce qui représente seulement 7% de la surface agricole utile, mais qui contribue pour 35% de la production agricole (Al Atiri, 2005). La consommation en eau est de 1384 milliards de m³, en majeure partie dans la région du Nord, représente 83,4% du total des prélèvements (Ministère de l'Agriculture, 1994).

L'irrigation est considérée comme une des pratiques culturelles que l'agriculteur est amené à gérer (Sabatier et Ruf, 1991), surtout que le secteur agricole fait face au défi de produire plus avec moins d'eau. De ce fait, cette pratique a pris plusieurs méthodes au cours du temps, dans le but de maîtriser la demande en eau et son économie, à savoir : l'irrigation de surface, l'irrigation sous pression et l'irrigation souterraine (Kambou et al., 2014).

L'aspersion est une technique d'irrigation sous pression. Elle est née aux USA dans l'immédiat après-guerre. Cette méthode, économe en eau, ne demande que 1700 à 2300 m³/ha/an (Dunglas, 2014). En général, Les efficacités hydrauliques en irrigation sous pression sont de l'ordre de 90 à 95 % (Rieul, 1997 ; Compaoré, 2006). Avec les améliorations techniques de rendement et d'abaissement de coût, l'aspersion s'est petit à petit développée dans les régions arides et semi-arides. Pour cette forme d'irrigation, il existe une large gamme de techniques plus ou moins sophistiquées, depuis les rampes d'asperseurs déplaçables manuellement à la rampe pivotante et d'autres machines d'arrosage.

Le choix d'un système d'irrigation est délicat et doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres, dont la disponibilité et la qualité des ressources en terre et en eau, les exigences financières et techniques du système d'irrigation et son aptitude à assurer convenablement l'irrigation de la culture à exploiter (Hlavek, 1992). Un des types d'irrigation mécanisée par aspersion est l'irrigation par enrouleur. Cette technique est la plus répandue dans le monde (Saiyouri, 2012).

Les enrouleurs sont des machines d'irrigation à tambour et à tuyau flexible. Ils sont classés parmi les systèmes d'irrigation les plus originaux. La simplicité de leur utilisation, et les investissements modérés qu'ils nécessitent ont favorisé leur extension dans un grand nombre de pays. Ces machines sont disponibles en différentes dimensions. La longueur et le diamètre du tuyau flexible peuvent varier respectivement de 100 à 600 m et de 50 à 140 mm et le débit peut atteindre 50 m³/h (Lamrani et al., 1992). Sans intervention pendant leur travail, ils assurent l'arrosage des parcelles en bandes successives, en grande cultures, en cultures maraîchères ou sur les terrains de sport (CEMAGREF, 2002).

L'aptitude à une distribution la plus uniforme possible de l'eau est la caractéristique essentielle d'une machine d'arrosage pour des raisons de reproductibilité et de répétabilité. Dans ce cadre, l'étude entreprise vise l'analyse diagnostique du maintien en état de fonctionnement d'un enrouleur d'irrigation, adopté au site expérimental du Centre Technique des Céréales (CTC) de Bou Salem, gouvernorat de Jendouba, qui constitue un pôle de rayonnement technique, notamment en matière d'irrigation. Les paramètres pertinents, retenus lors de cette étude, sont essentiellement la pression de

fonctionnement et la vitesse du vent. Plusieurs combinaisons entre ces facteurs ont été testées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Données générales sur la mécanisation de l'aspersion en Tunisie

Situation régionale

En Tunisie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions du Nord et du Centre. La superficie équipée avec des systèmes d'aspersion est de 111160 ha, qui représente environ 30% de la superficie totale irrigable, dont 10000 ha sont équipés en machines d'aspersion mécanisée (9% de la surface totale irriguée par aspersion) (Ministère de l'Agriculture, 2003).

C'est vers la fin des années 1970 que ces machines ont commencé à apparaître sur des exploitations agricoles irriguées. Parmi les facteurs qui se sont opposés à leur propagation, on peut citer le morcellement des terres et le niveau d'instruction des agriculteurs qui préfèrent utiliser un système simple.

La figure 1 montre que le gouvernorat de Jendouba est la région du pays où l'irrigation par aspersion mécanisée est la plus développée, avec à peu près 30% des surfaces équipées. On remarque aussi qu'un nouveau pôle prometteur est en train de s'implanter dans le Centre du pays, sur les plaines de Kairouan.

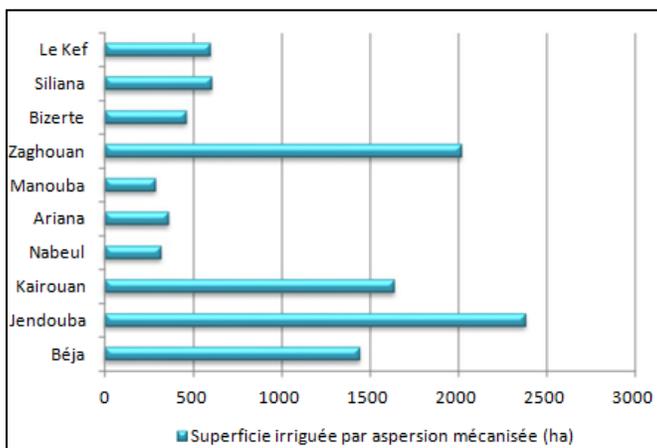


Figure 1 : Répartition de la surface irriguée par aspersion mécanisée par région

Taux d'utilisation par type de machine

La figure 2 révèle que le pivot reste le plus employé et le plus privilégié par les agriculteurs (49%), suivi par la rampe frontale qui présente un taux de 22%.

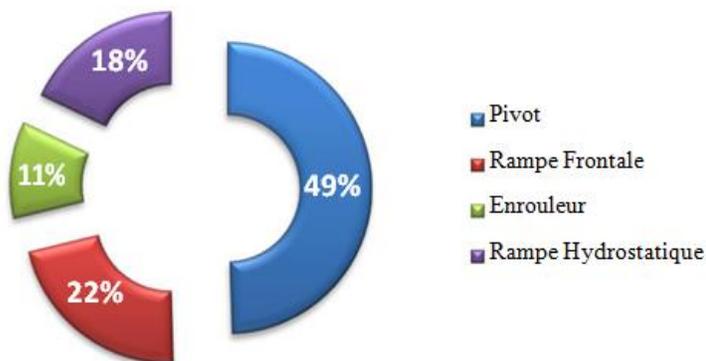


Figure 2 : Répartition de la surface irriguée par aspersion selon le matériel

Les surfaces couvertes par les rampes hydrostatiques et l'enrouleur se dévoilent réduites par rapport aux deux machines précédentes. En effet, les enrouleurs équipent 11% du total des surfaces équipées par aspersion mécanisée dont 3% se localisent au gouvernorat du Kef (figure 3).

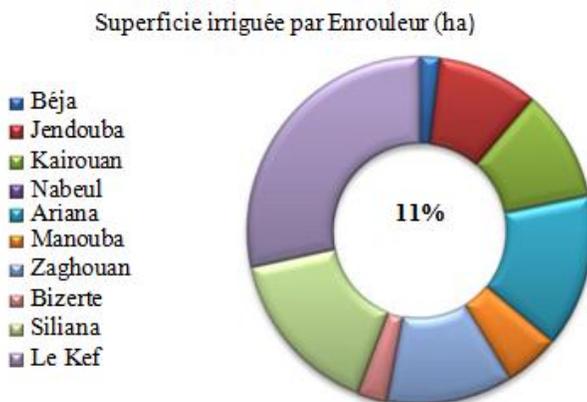


Figure 3 : Répartition de la surface irriguée par enrouleur suivant la région

Caractérisation de la zone d'étude

L'investigation a été accomplie au sein du site expérimental du CTC de Bou Salem, gouvernorat de Jendouba, Nord-Ouest de la Tunisie (figure 4).

Le gouvernorat de Jendouba est considéré le château d'eau de la Tunisie. Il comprend 170000 ha de surface agricole utile, dont 40000 ha périmètres irrigués, ainsi que 120000 ha de forêts. Le gouvernorat de Jendouba est situé dans l'étage bioclimatique humide tant à hiver doux qu'à hiver tempéré. La délégation de Bou Salem appartient à l'étage subhumide à hiver tempéré (Ministère de l'Équipement, 2014).



Figure 4 : Localisation de la zone d'étude

L'ensemble du gouvernorat de Jendouba est caractérisé par une pluviométrie importante. Les moyennes dépassent parfois 1000 mm, et peuvent atteindre 1500 mm, toutefois, la répartition des pluies n'est pas régulière, tant dans le temps que dans l'espace, exigeant souvent le recours à l'irrigation de complément.

Le mois le plus froid est le mois de Janvier où la température est souvent inférieure à 9°C. Le mois de Juillet est considéré comme le mois le plus chaud

et où la température est comprise entre 24°C et 28°C (Ministère de l'Équipement, 2014).

Bien que le gouvernorat de Jendouba soit considéré parmi les zones les plus ventées du territoire national, surtout au niveau des zones formant sa façade maritime (Tabarka), les zones intérieures sont relativement protégées grâce au relief qui les encadre.

Présentation du système d'aspersion mécanisée étudié

Descriptif et schéma de principe de l'enrouleur d'irrigation

L'enrouleur d'irrigation est un système d'arrosage par aspersion avec canon entraîné par un enrouleur, dénommé parfois enrouleur à canon arroseur (Tichoux, 1999) ou simplement canon-enrouleur (Granier et al., 2003) ou enrouleur-canon (Anonyme, 2015). Il est formé des éléments suivants : le canon, le tambour (ou bobine), le châssis, le mécanisme d'enroulement, l'asperseur et le porte-asperseur, le flexible en polyéthylène (PE), un système de régulation de la vitesse d'avancement, un système d'enroulement uniforme du flexible et un système de sécurité de fin de course (Azouggah, 1995). La figure 5 illustre une description technique d'un tel appareil.

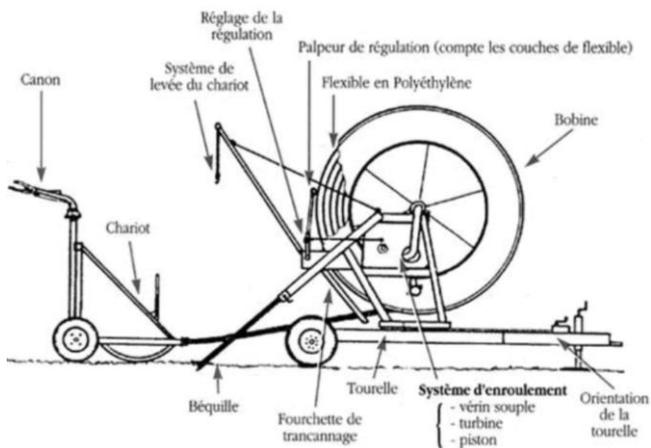


Figure 5 : Schéma de principe de l'enrouleur d'irrigation (Granier et al., 2003)

L'enrouleur est tout d'abord placé et ancré à une extrémité de la parcelle. Le tuyau est ensuite déroulé avec le canon vers l'autre extrémité de la parcelle par traction avec un tracteur. Après ouverture de l'alimentation d'eau, l'irrigation

commence et l'enrouleur enroule lentement la conduite flexible autour de la bobine. Lorsque la bande est terminée, le canon vient en butée contre un dispositif d'arrêt d'enroulement. L'enrouleur peut alors être déplacé latéralement pour réaliser l'irrigation d'une nouvelle bande (CEMAGREF, 2002). Le processus de mise en route de l'arrosage se reproduit.

Caractérisations technique et hydraulique

L'étude a été réalisée sur un enrouleur d'irrigation de marque « BAUER » qui détient les caractéristiques techniques et les spécifications hydrauliques relatées dans les tableaux 1 et 2.

Les essais se sont déroulés sur une parcelle préparée et non semée pour éviter la perturbation des cultures et ont été conduits avec un matériel en cours d'utilisation et en bon état de fonctionnement.

Tableau 1 : Caractérisation technique de l'enrouleur étudié (BAUER, sd)

Modèle	BAUER 50 – 150 Ts
Longueur (mm)	3515
Largeur (mm)	650
Hauteur (mm)	1350
Longueur du tube (PE) (m)	150
Diamètre du tube (PE) (mm)	50
Largeur de la voie (mm)	1175
Dimensions Pneus	145 R 15

Tableau 2 : Spécifications hydrauliques de l'enrouleur (BAUER, sd)

Diamètre de la buse (mm) : 14 (SR 20)				
	Pression à la buse (bars)	2	3	4
	Débit d'alimentation (m ³ /h)	10,4	12,8	14,7
	Largeur de la bande (m)	52	58	63
Durée d'enroulement par bande (h)	Vitesse d'enroulement (m/h)	Pluviométrie (mm)		
25	6	33	37	39
18.3/4	8	25	28	29
15	10	20	22	23
12.1/2	12	17	18	19
10	15	13	15	16
7.1/2	20	10	11	12
5	30	7	7	8

Appréciation de la répartition pluviométrique

Pour recueillir le volume d'eau délivré, 130 pluviomètres ont été utilisés, ayant chacun un diamètre de 18 cm et une hauteur de 17 cm. Ce nombre a été corrigé par excès ou par défaut suivant la portée du canon au moment de l'essai.

Les pluviomètres ont été disposés selon deux lignes transversales. Les écartements sont de (1 m x 2 m) comme indiqué sur la figure 6. Il est nécessaire aussi de rapporter sur les fiches de contrôle la position de la machine par rapport aux lignes de pluviomètres, et d'indiquer la vitesse du vent et sa direction toutes les 15 mn. Le volume d'eau recueilli a été mesuré dans une éprouvette. Les pertes par évaporation ont été négligées, puisque le temps de mesure du volume est relativement faible.

Selon Burt (2000), l'accroissement des rendements serait le plus souvent dû à une amélioration des uniformités d'arrosage, d'où l'importance de cet indicateur de performance. Les indicateurs les plus utilisés des paramètres sont l'uniformité de distribution (UD) et le coefficient d'uniformité (CU) (Heermann et al., 1990).

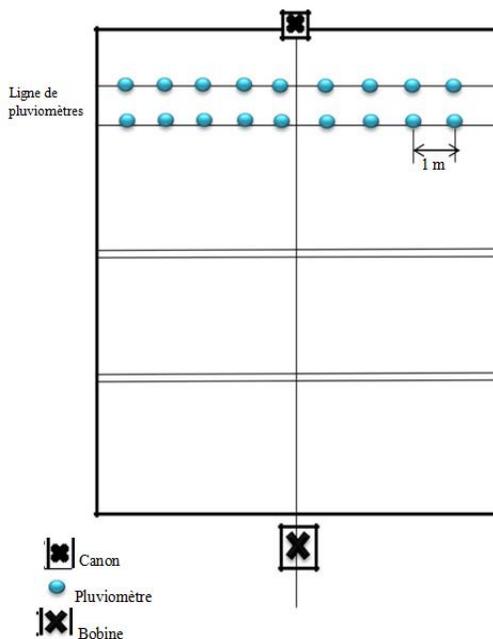


Figure 6 : Implantation des pluviomètres pour la détermination de la courbe de distribution pluviométrique

Détermination de la vitesse d'enroulement

En vue d'avoir une distribution uniforme de l'eau par l'enrouleur, Jensen (1983) a indiqué que la variation de la vitesse d'avancement de plus de 10% n'est pas recommandée. Mais, il n'a pas énoncé, en conséquence, le fait que l'excès de vitesse de plus de 10% est à proscrire.

Selon la dose apportée (D) par l'irrigant, la vitesse (V) d'avancement ou d'enroulement est calculée par la formule suivante :

$$V \text{ (m/h)} = (1000 \times Q) / (D \times I_p)$$

Avec :

Q : débit d'alimentation (m³/h)

D : dose apportée (mm)

I_p : intervalle de passage (m)

La figure 7 donne, à titre d'exemple, une méthode pour vérifier la vitesse d'avancement de l'enrouleur. Pour cette vérification, l'irrigant pourra dérouler un mètre à ruban le long du flexible et relever à partir d'une marque faite sur celui-ci, la distance parcourue en 6 mn (Anonyme, 2012).

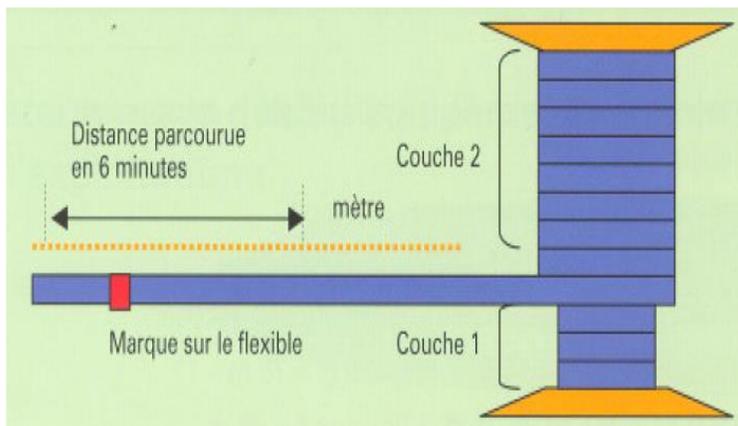


Figure 7 : Méthode du test de la vitesse d'avancement de l'enrouleur (Anonyme, 2012)

Dans le contexte expérimental considéré, on a adopté la même méthode, tout en fixant la distance parcourue à l'aide d'un triple mètre, au lieu de la mesurer en fonction d'un temps donné. A cet égard, on a déroulé pratiquement le tuyau en

polyéthylène, à l'aide d'un vérin, ensuite, on a réglé la vitesse d'avancement à 20 m/h, ce qui correspond à une dose apportée de 10 mm.

Par un marqueur, on a indiqué les longueurs correspondantes au changement de spires d'enroulement, et au sein d'une même spire, on a exécuté trois indices de marquage servant, par la suite, à mesurer la vitesse d'avancement.

À l'aide d'un chronomètre, on a mesuré le temps écoulé pour qu'un indice puisse parcourir une distance de 1 m, délimitée sur le triple mètre, à proximité de la bobine. Les valeurs obtenues sont rapportées par la suite sur un tableau.

Détermination du coefficient d'uniformité

L'uniformité est appréciée par la formule de Christiansen (1942) qui était le premier à étudier l'uniformité de distribution au moyen d'un coefficient d'uniformité.

$$C_u = 100 \left[1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V_m)}{S_i} \right] / \sum_{i=1}^n \left(\frac{|V_i|}{S_i} \right) \right]$$

Avec :

C_u : Coefficient d'uniformité (%)

V_i : Volume d'eau récolté dans le récipient i (cm^3)

V_m : Volume moyen de l'eau dans les n récipients (cm^3)

S_i : Section supérieure du récipient i (cm^2)

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Selon Nadon et al. (2016), les diagnostics effectués ne visent pas à évaluer la performance de l'équipement, mais plutôt la performance globale du système dans le contexte de son utilisation par l'exploitation. De plus, les résultats ayant trait à ces diagnostics et les recommandations qui en découlent ne sont valides que dans le contexte auxquels ils réfèrent.

Évaluation de la répartition pluviométrique

Letey et al. (1984) indiquent que le fait d'ignorer le facteur « uniformité d'irrigation » conduit à une sous-estimation de l'apport optimal d'irrigation

nécessaire pour atteindre un rendement optimal. Plusieurs auteurs (Seginer, 1978; Solomon, 1984; Montovani et al., 1995) ont essayé de déterminer l'apport d'eau optimal par irrigation, en tenant compte de l'uniformité de l'irrigation et des contraintes économiques.

Régularité de la vitesse

La vitesse de rotation de l'enrouleur (vitesse d'enroulement réglable par un système mécanique ou électronique) est le paramètre utilisé pour régler la dose des apports (Goossens, 2005). La régulation de la vitesse de rotation du tambour assure une vitesse d'avancement du canon constante.

Les résultats de mesure de la variation de la vitesse en fonction de la longueur du tuyau enroulé reproduite dans le tableau 3 et illustrée sur la figure 8 (pour une meilleure clarté) montrent que la vitesse a tendance à augmenter au fur et à mesure que l'on s'approche de la bobine.

On remarque aussi des décrochements de la vitesse. Ces intervalles correspondent aux changements des spires d'enroulement. En effet, puisque la régulation est mécanique, la correction nécessite un certain temps qui sera perdu entre les liaisons et les transmissions.

Tableau 3 : Résultats relevés de la vitesse selon la longueur du tuyau enroulé

Numéro de spires	1			2			3			4		
Point de mesure (m)	5	15	25	35	48	62	70	85	99	110	125	140
Vitesse (m/h)	20	19	21	18	20	21	18,5	20,5	22	19	23	23

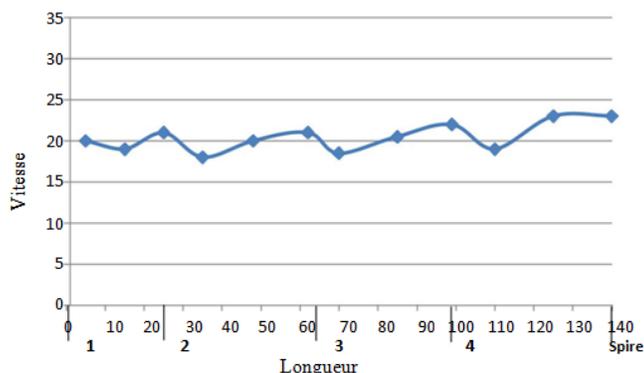


Figure 8 : Variation de la vitesse d'enroulement (m/h) avec la longueur du tuyau (m)

Si l'écart entre la vitesse minimale et la vitesse maximale mesurées n'excède pas 15%, on peut considérer que la régulation fonctionne de façon satisfaisante. Si cet écart est supérieur à 15%, il convient de régler le système de régulation (CEMAGREF, 1992). D'après la figure 8, l'écart entre la vitesse minimale et la vitesse maximale est égal à 14%. Une telle valeur est acceptable par rapport au seuil limite de régulation rapporté.

Il est aussi important de signaler que la vitesse d'avancement au sein d'un même enroulement est presque constante, ce qui est justifié par la présence de palier pour chaque spire. A ce propos, on peut affirmer que l'efficacité de la régulation mécanique est convenable, toutefois, le recours à la régulation électronique est mieux estimé. Ainsi, les observations de terrain, réalisées par Dubalen (1993) sur des enrouleurs équipés de systèmes électroniques de régulation, ont permis de constater que par rapport à la régulation mécanique :

- Ces systèmes permettent d'obtenir une très bonne régularité d'avancement : les variations de vitesse observées sur un enroulement complet excèdent rarement 5% ;
- La dose apportée est généralement beaucoup mieux maîtrisée par les irrigants, lorsque leur enrouleur est équipé de ce type de régulation.

Variation de la dose entre les spires

D'après la figure 9, on remarque que la variation de la pluviométrie entre les trois spires observées est faible.

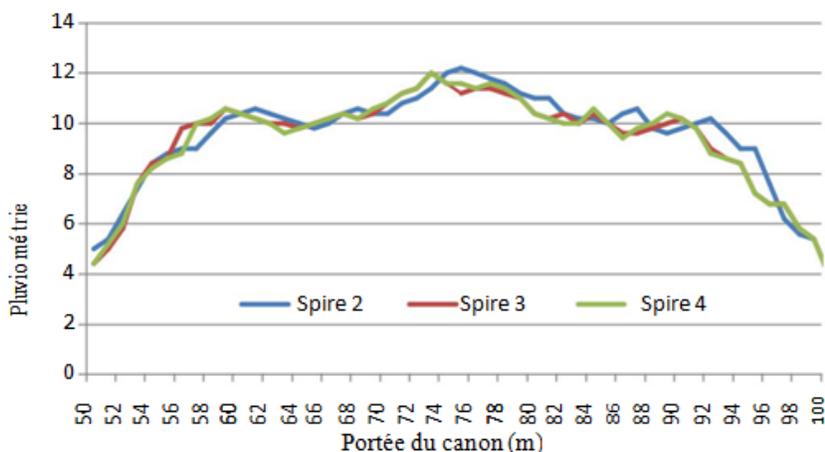


Figure 9 : Variation de la pluviométrie (mm) pour trois spires de l'enrouleur à pression constante (2 bars)

On constate aussi que la modification au sein d'une même spire est négligeable, vu que la distance entre les deux rayons est faible (2 m). De même, les mesures correspondent en général au palier de fonctionnement, c'est-à-dire la vitesse d'enroulement peut être considérée constante.

Le tableau 4 révèle l'effet de l'augmentation de la vitesse d'enroulement sur la variation de la dose apportée.

Tableau 4 : Variation de la dose (mm) en fonction du numéro de spires

Spire 2	Spire 3	Spire 4
9,18	9,25	9,38

En se basant sur les affirmations précédentes, on peut dire que la dose apportée est proportionnelle à la longueur du tuyau de flexible.

Effet du vent

L'effet du vent est déterminant. Cet effet est mis en relief en illustrant les données recueillies sur la figure 10. Cette dernière montre une déformation de la répartition pluviométrique selon la direction du vent et sa vitesse. D'une manière générale, il convient de réduire l'écartement pour éviter d'augmenter l'hétérogénéité, et par la suite, de faire chuter le rendement agricole. Si la vitesse du vent dépasse une certaine intensité, il faut stopper l'arrosage.

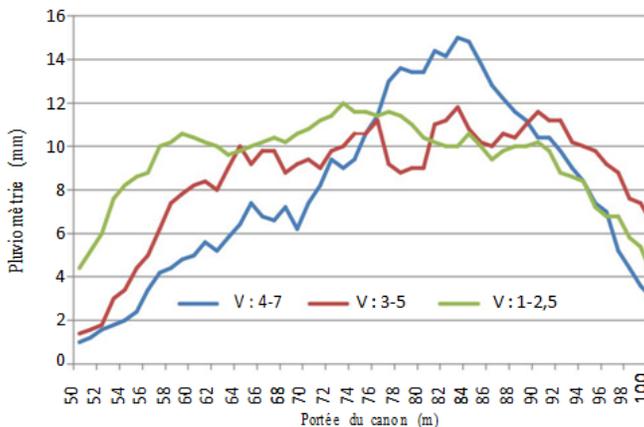


Figure 10 : Effet de la variation de la vitesse du vent (m/s) sur la répartition pluviométrique à pression constante (2 bars)

La figure 11 montre une dégradation de l'uniformité de répartition de l'eau lorsque la vitesse du vent dépasse 4 m/s. L'homogénéité de répartition de l'eau sur la parcelle en conditions ventées est relativement sensible aux réglages portés au niveau du canon (choix de l'angle du canon, du diamètre de la buse, de l'angle du secteur arrosé) et à la période d'irrigation dans la journée (Goossens, 2005).

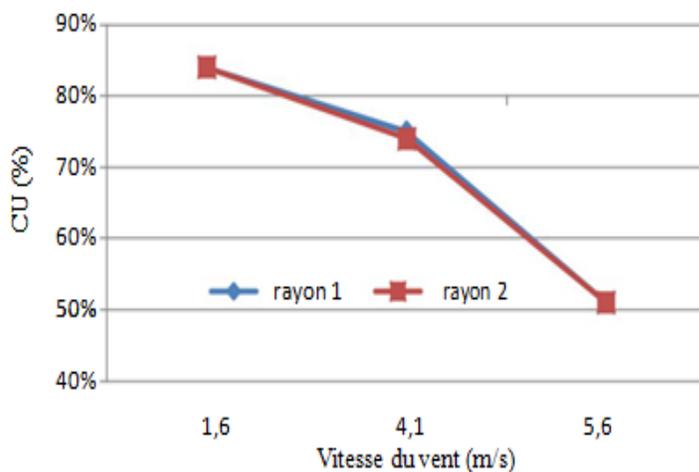


Figure 11 : Effet de la variation de la vitesse du vent sur le coefficient d'uniformité de l'irrigation par enrouleur à pression constante (2 bars)

Effet de la pression de fonctionnement

La pression de fonctionnement constitue le critère d'évaluation le plus commode (Dubalen, 1993). La qualité de l'irrigation est conditionnée en majeure partie par cette pression. Chaque canon dispose d'un abaque spécifique à ses caractéristiques de fabrication. En effet, une pression trop faible occasionne la réduction de la portée du jet, et l'augmentation de la taille des gouttes qui peut endommager la culture et la structure du sol, alors qu'une pression trop élevée augmente le risque d'effet « brumisation » avec des gouttes trop fines, aussi la sensibilité au vent accroît et cause une usure prématurée du canon (Gabriel et Nedellec, 2012).

La variation de la pression entraîne une variation de débit, qui causera une mauvaise uniformité. Dans ce cas, la vitesse doit varier en fonction de la pression de l'asperseur (Azzougah, 1990). Dans les conditions réelles de

fonctionnement hydraulique du réseau, la pression est variable, à cause de la déficience de régulation.

La figure 12 dévoile des allures différentes des courbes pluviométriques. Ces courbes ont été établies par temps calme. Cette figure montre particulièrement que pour une faible pression (1,5 bars), la portée du jet est faible (18 m).

L'observation du jet sur le terrain révèle que celui-ci ne s'éclate pas assez tôt et sa trajectoire s'incline rapidement. Par ailleurs, l'eau est aspergée sous forme de grosses gouttelettes, d'où le risque de destruction de la structure du sol.

A l'opposé, les courbes pluviométriques obtenues avec des pressions assez élevées (2 à 2,5 bars) montrent que la portée du jet atteint 25 m pour une pression de 2 bars puis atteint 30 m, lorsque la pression devient égale à 2,5 bars.

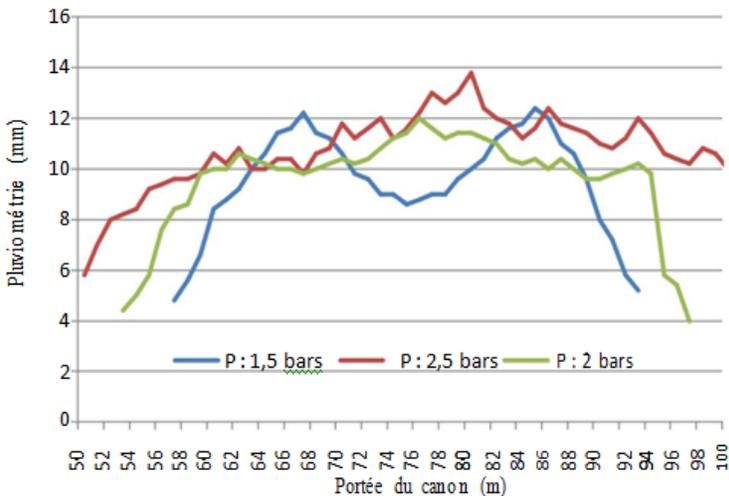


Figure 12 : Effet de la variation de la pression sur la répartition pluviométrique avec vitesse du vent (1-2,5 m/s)

L'observation du jet montre aussi que l'éclatement est prématuré et se produit dès la sortie de la buse. L'eau est aspergée sous forme de fines gouttelettes au voisinage de l'asperseur.

On remarque aussi que la dose du côté droit est légèrement supérieure à celle du côté gauche, constatation généralisée dans tous les cas examinés.

Par temps calme, l'influence de la pression sur le coefficient d'uniformité est manifestée par la figure 13, qui révèle que la pression 2,5 bars permet d'atteindre une valeur maximale de coefficient d'uniformité égale à 87%.

Les courbes obtenues traduisent aussi une insensibilité du coefficient d'uniformité à la variation de pression dans la gamme 1,5 à 2 bars.

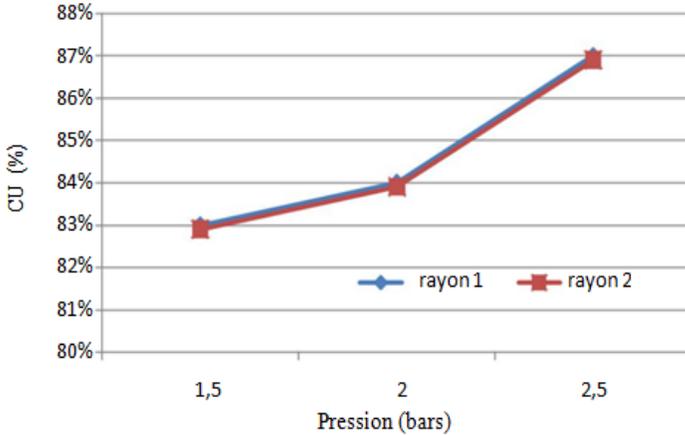


Figure 13 : Effet de la variation de la pression sur le coefficient d'uniformité de l'irrigation par enrouleur avec vitesse du vent (1-2,5 m/s)

CONCLUSION

L'étude diagnostique, entreprise au niveau de l'enrouleur-canon, muni d'un système de régulation mécanique, a montré une bonne régularité de répartition pluviométrique. Celle-ci est liée, d'une part, à la régularité de la vitesse d'avancement retenue, et d'autre part, à la performance du canon d'arrosage. Malgré les résultats satisfaisants acquis avec une régulation mécanique, il est toujours préférable de s'équiper avec des enrouleurs munis d'une régulation électronique pour un meilleur réglage de la vitesse de déplacement du canon, ainsi que pour plus de précision et de gain de temps.

L'évaluation de ce système d'aspersion mécanisée a dévoilé aussi une dégradation de l'uniformité de distribution de l'eau, lorsque la vitesse du vent dépasse 4 m/s, d'où, une sensibilité de la machine aux vents forts. Par contre, l'étude a révélé l'indifférence relative du coefficient d'uniformité à la variation de pression de fonctionnement dans la gamme 1,5 à 2 bars.

En définitive, les résultats de cette investigation ont prouvé que l'aspersion mécanisée par enrouleur est une technique efficace susceptible de concourir à une application d'eau uniforme sur des parcelles en bandes successives, particulièrement, en grandes cultures. Sauf en cas de vent fréquent, l'axe du

passage devrait être perpendiculaire à la direction du vent dominant. Si la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s, on devrait arrêter l'irrigation. L'espacement entre passages est fonction de la portée du canon annoncée par le constructeur et de l'importance du vent dans la région. A cet effet, il faut maintenir l'équidistance des intervalles de passage pour améliorer la régularité des apports d'eau. En outre, certaines améliorations techniques peuvent être apportées au niveau du canon. A titre indicatif, l'ajout d'un brise-jet pourrait assurer la réduction des pertes d'eau en bouts de parcelle.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AL ATIRI R. (2005). Analyse des politiques hydrauliques. Cas de la Tunisie. In Bachta M.S. (ed) Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués, 21-22, Sousse, Tunisie, 22 p.
- ANONYME (2012). Maîtriser l'irrigation par enrouleur. Plaquette, Programme Régional d'Appui Technique aux Irrigants d'Aquitaine, Chambre d'Agriculture d'Aquitaine, France, 4 p.
- ANONYME (2015). Irrigation par enrouleur-canon. Mes Fiches Irrigation. Chambre Agriculture de la Vendée, France. Service Pôle Irrigation et Stockage de l'Eau, 7 p.
- AZZOUGGAH M. (1990). Uniformity of a hose Reel Irrigator. Thesis. Institut Agronomique et vétérinaire Hassan, Morocco, p. 26-33.
- AZZOUGGAH M. (1995). Éléments de base pour le choix d'un enrouleur. Hommes Terres et Eaux 99, 4 p.
- BAUER (sd). Produits – IRRIGATION : Rampes pour Enrouleurs, Modèles. <http://www.bauer-at.com/fr/produits/irrigation/rampes-pour-enrouleurs#cmsTabs-13307>
- BURT CM. (2000). Selection of irrigation methods for agriculture. On-Farm Irrigation Committee. ASCE, 125 p.
- CEMAGREF (1992). Collection Guide Pratique : Irrigation, Ouvrage Collectif, France, 324 p.
- CEMAGREF (2002). Fiches sécurité machines agricoles et forestières, Collections Études sécurité, France, 164 p.
- CHRISTIANSEN JE. (1942). Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA.
- COMPAORE ML. (2006). Panorama des techniques d'irrigation et éléments de choix. Lavoisier, Paris, p 489-512.
- DUBALEN J. (1993). Utilisation des matériels d'irrigation par aspersion. Diagnostic de fonctionnement au champ. La Houille Blanche, n° 2/3, 6 p.

- DUNGLAS J. (2014). Les techniques d'irrigation. Groupe Eau Notes de travail n° 6, Académie d'agriculture de France, 6 p.
- FAO (2002). Crops and drops: Making the best use of water for agriculture. Rome, Italy, 22 p.
- GABRIEL H., NEDELLEC J. (2012). Maîtriser l'irrigation par enrouleur. Plaquette, Chambre d'Agriculture de Tarn, France, 4 p.
- GOOSSENS X. (2005). La maîtrise de la demande en eau et en énergie en agriculture irriguée : de l'évaluation des enjeux à la proposition d'actions ciblées. Thèse, Université Sciences et Technologies- Bordeaux I, France, 265 p.
- GRANIER J., MOLLE B., DEUMIER JM., LACROIX B. (2003). Optimisation des réglages et de l'utilisation des systèmes d'irrigation par canon enrouleur. Ingénieries n° Spécial, 16 p.
- HEERMANN DF, WALLENDER WW., BOS MG. (1990). Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. p. 125-149.
- HILLEL D. (2000). Salinity Management for Sustainable Irrigation. Integrating Science, Environment and Economics. Environmentally and socially sustainable development. The World Bank, Washington, 102 p.
- HLAVEK R., (1992). Critères de choix des systèmes d'irrigation. New Delhi : ICID.
- JENSEN ME. (1983). Design and operation of farm irrigation systems. Revised printing. ASAE, 829 p.
- KAMBOU D., XANTHOULIS D., OUATTARA K., DEGRE A. (2014). Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique), BASE, Université de Liège, V 18 No 1, p. 108-120
- LAMRANI H., TOUZANI M., AZOUGAR M. (1992). Les techniques et la rentabilité de l'irrigation d'appoint. Hommes Terre et Eaux 22, p. 35-48.
- LETEY J., VAUX HJ., FEINERMAN E. (1984). Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. Agron. J., 76 : 435-441.
- LOUHICHI K., FLICHMAN G., COMEAU A. (2000). L'amélioration de l'efficience de l'irrigation pour une économie d'eau: cas d'un périmètre irrigué en Tunisie. Medit, Vol 11, n°3, p. 21-29.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE (1994). Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), Tunisie.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE (2003). Aspersion mécanisée, Statistiques. Direction Générale du Génie Rural, Tunisie.
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT (2014). Atlas Numérique du Gouvernorat de Jendouba. Rapport provisoire, Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, Tunisie, 112 p.

- MONTOVANI EC., VILLALOBOS FJ., ORGAZ F., FERRERES E. (1995). Modelling the effects of sprinkler irrigation on crop yield. *Agricultural Water Management*, 27 : 243-257.
- NADON S., BERGERON D., BOIVIN C., VALLEE J. (2016). Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte en champ. Rapport final remis au RLIO. IRDA, 64 p.
- RIEUL L. (1997). Techniques d'irrigation de l'avenir et leur coût. In : Dupuy B., ed. *Aspects économiques de la gestion de l'eau dans le bassin méditerranéen*. Bari, Italie, CIHEAM, p. 233-251.
- SABATIER JL., RUF T., LE GOULVEN P. (1991). Dynamiques des systèmes agraires irrigués anciens: représentations synchroniques et diachroniques. L'exemple d'Urcuqui en Équateur. *Les Cahiers de la Recherche-Développement* 29 : 30-43.
- SAIYOURI N. (2012). Méthodes d'irrigation en milieu aride. Rapport, 57 p. <https://nicolabarbisian.files.wordpress.com/2014/.../rapport-mc3a9thodes-dirrigations...>
- SEGINER I. (1978). A note on the economic significance of uniform water application. *Irrig. Sci.*, 1: 19-27.
- SOLOMON KH. (1984). Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. *Irrig. Sci.*, 5: 161-172.
- TICHOUX H. (1999). Model comparison of three irrigation systems for potato production in Quebec. Thèse, Macdonald Campus, McGill University Montreal, Quebec, 151 p.