

Évaluation expérimentale du maintien en état de fonctionnement d'une rampe combinée d'aspersion mécanisée dans le contexte tunisien

Y. M'SADAK¹, A. MANAI¹, N. EL JANDOUBI¹, M. E. HAMZA²

(Reçu le 27/12/2016; Accepté le 23/01/2017)

Résumé

L'objectif de la présente étude est de diagnostiquer le fonctionnement au champ d'une rampe combinée (pivotante-frontale) adoptée lors de sa première campagne chez une grande exploitation privée, située dans la délégation de Borj Elamri, gouvernorat de Manouba (Nord de la Tunisie) et de mettre la lumière sur la qualité de l'irrigation obtenue. Ce travail a été consacré à l'évaluation de la répartition pluviométrique, du coefficient d'uniformité et des corrections éventuelles du plan adopté de busage selon le plan indiqué par le constructeur. D'autre part, nous avons procédé à la vérification de la conformité entre plans de busage théorique et pratique tout en plaçant les buses à leurs endroits corrects sur la rampe, ainsi qu'aux tests de l'uniformité de répartition de l'eau. Les tests d'uniformité, réalisés sur l'allée de la rampe, ont couvert une gamme de vitesses du vent dominant de 1 à 6 m/s et une gamme de pressions de 1,6 à 3,5 bars. Le diagnostic de fonctionnement a décelé que le système (pivot-rampe) étudié a présenté un simple plan de busage à double fonction (différent du plan de double busage généralement utilisé) et des buses en bon état avec un léger écart des débits, au niveau tant du pivot que de la rampe frontale. Le mode rampe frontale de ce système est moins sensible au vent et moins exigeant en énergie que le mode pivot. Ce dernier a révélé un coefficient d'uniformité globale d'environ 83%, inférieur à celui relevé pour le mode frontal (86%). Finalement, le recours futur à un tel système d'aspersion mécanisée n'est pas tout à fait la bonne solution, à cause notamment de leur complexité de conception, de montage, de fonctionnement et d'emploi.

Mots clés: Irrigation par pivot, aspersion, rampe frontale, uniformité, plan de busage, agriculture, Tunisie.

Abstract

The objective of this study is to diagnose the field operation of a combined ramp during its first campaign at a large private farm, located in the Borj Elamri delegation, governorate of Manouba (North of Tunisia), to shed light on the quality of the irrigation obtained. This work was devoted to the evaluation of the water distribution, the coefficient of uniformity and possible corrections of the adopted nozzle distribution according to the plan indicated by the manufacturer. On the other hand, we verified conformity between theoretical and actual nozzle plan by placing nozzles at their correct position on the ramp and also tested the uniform distribution of the water. The uniformity tests carried out on the side of the ramp covered a range of prevailing wind speeds of 1 to 6 m/s and a pressure range of 1.6 to 3.5 bars. The operation diagnostics detected that the studied system (pivot-ramp) presented a simple dual-function nozzles (different from the generally used double nozzle plan) with nozzles in good condition with a slight deviation of the flows at the level of the pivot and the front ramp. The linear mode of this system is less wind sensitive and less energy-intensive than the pivot mode. The latter revealed an overall coefficient of uniformity of about 83%, lower than that of the linear mode (86%). Finally, the future use of such a mechanized sprinkler system is not the optimum solution, due in particular to their complexity of design, assembly, operation and use.

Keywords: Sprinkler irrigation, center pivot, linear mode, nozzle plan, uniformity, agriculture, Tunisia

INTRODUCTION

En Tunisie, pays où les précipitations sont généralement insuffisantes et variables dans le temps et l'espace, la pluviométrie moyenne annuelle varie de moins de 100 mm dans l'extrême Sud à plus de 1500 mm dans l'extrême Nord-Ouest (MEDD, 2009). Face à cette distribution hétérogène, l'irrigation devient nécessaire pour l'agriculture, afin de régulariser la production des régions à déficit pluviométrique.

Comme dans la plupart des pays à climat aride et semi-aride, le secteur irrigué en Tunisie est le plus grand consommateur des ressources en eau. Cette consommation a présenté 83,4% du total des prélèvements d'eau (Ministère de l'Agriculture, 1994). Ce secteur participe à 32% de la production totale et 20% de l'exportation agricole (Ministère de l'Agriculture, 1997).

Face aux limites de ses ressources hydriques et pour assurer la durabilité et l'avenir des cultures irriguées, l'agriculteur doit rechercher la plus grande efficacité de l'irrigation de manière à valoriser l'eau, mieux choisir ses équipements et mieux définir sa stratégie d'irrigation en fonction du contexte de son exploitation.

L'aspersion, en Tunisie, est apparue il y a près de 40 ans (Ennabli, 1995). L'objectif principal de cette méthode d'irrigation est d'assurer une distribution d'eau aussi uniforme que possible, et par suite, garantir l'humidification adéquate de la zone racinaire des plantes (Kay, 1983). Il est désormais possible d'apporter aux cultures, outre l'eau d'irrigation, des engrais et produits phytosanitaires par le biais de la fertigation appliquée de manière extrêmement uniforme, précise et efficace (Molle, 2005 ; Scott, 2010). L'évolution technique des systèmes d'irrigation mécanisée par aspersion a été influencée par le

¹ Institut Supérieur Agronomique - BP 47, 4042 Chott-Mariem, Université de Sousse, Tunisie. Email: msadak.youssef@yahoo.fr

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

souci d'économiser de la main d'œuvre et de diminuer la pénibilité du travail (Mailhol, 2001). Plusieurs machines automatisées ont été inventées. Les systèmes de rampe pivotante et de rampe frontale sont des installations utilisées essentiellement dans les grandes exploitations. Elles possèdent un mécanisme d'entraînement programmable qui sert à déplacer les éléments (Azouggagh, 2001). Face à la contrainte de la superficie et la performance d'irrigation, plusieurs combinaisons entre ces machines ont été faites. Les rampes combinées sont des appareils hybrides entre le pivot et la rampe frontale, capables de se déplacer en rotation comme en translation (CEMAGREF, 1992). Pratiquement, pour que ces appareils tiennent une durée de vie maximale, il est essentiel que l'utilisateur connaisse leur fonctionnement, leurs performances et tienne compte de leurs contraintes spécifiques.

Dans ce cadre, ce travail a pour but d'évaluer expérimentalement le maintien en état de fonctionnement d'une rampe combinée (pivotante-frontale) adoptée lors de sa première campagne d'exploitation chez une exploitation privée dans le Nord Tunisien. Les paramètres pertinents retenus dans l'étude sont essentiellement la pression de fonctionnement et la vitesse du vent. Plusieurs combinaisons entre ces facteurs ont été testées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

L'investigation a été accomplie au sein d'une grande exploitation privée, située dans la délégation de Bourj El Amri, gouvernorat de Manouba, Nord de la Tunisie (Figure 1).

Les relevés à Manouba de température journalière moyenne et de pluviométrie annuelle moyenne sont respectivement de 18,7 °C et de 450 mm.

Le dynamisme économique s'y distingue par l'implantation des activités agricoles et le savoir-faire des agriculteurs de la région, conjugués à un potentiel en irrigué d'environ 26 mille ha (APII, 2015).



Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Caractérisation technique du système d'aspersion mécanisée étudié

L'étude a été réalisée sur une rampe combinée (pivotante-frontale) de type «BAUER» qui a les caractéristiques techniques relatives dans le tableau 1. Les essais ont été conduits avec un matériel neuf, au cours de sa première campagne d'emploi.

Les essais ont été entrepris dans des conditions conformes à la Norme ISO 11545 (ISO, 2001) et aux recommandations expérimentales du CEMAGREF, tout en faisant aussi appel à la Norme ISO 7749 (ISO, 1995), relatives au calcul de la pluviométrie moyenne.

Tableau 1: Caractérisation technique de la rampe combinée étudiée (BAUER, sd)

Descriptif technique de la rampe	
Marque & Origine	BAUER & Australie
Tour centrale	Mobile
Longueur du système (m)	223,5
Longueur du champ irrigué (m)	230,2
Diamètre de la conduite (mm)	168
Longueur du porte à faux (m)	11,7
Longueur d'une travée (m)	52,8
Nombre de buses	37 **; 74 *
Nombre de travées	4
Espacement entre asperseurs (m)	2,93 *; 5,86 **
Canne de descente flexible (m)	Calé par rapport au sol: 3,1
Puissance du groupe électrogène (kW)	0,55
Débit total d'alimentation (m ³ /h)	84,2
Pression de service (bars)	2,7
Vitesse d'avancement maximale (m/h)	105 *; 125 **
Guidage de la rampe	Par sillon

*: Mode rampe; **: Mode pivot

Appréciation de la répartition pluviométrique

La mesure de la pluviométrie a été accomplie en faisant varier deux paramètres, la vitesse du vent et la pression de fonctionnement qui ont une grande influence sur l'uniformité d'arrosage. En effet, le facteur le plus important à prendre en compte dans l'évaluation des pertes est le transport par le vent hors de la zone d'arrosage ou dérive. La dérive peut entraîner des pertes pouvant atteindre 40%, sachant que l'effet aggravant du vent est surtout sensible à partir d'une vitesse de 4,5 m/s (Huber, 1991), du fait d'une probable modification de la taille des gouttes (De Boer et Kohl, 1993).

Les récipients utilisés sont de diamètre 18 cm et d'une hauteur de 17 cm, disposés selon deux lignes transversales irriguées pour la rampe frontale et selon deux rayons irrigués pour le pivot. Les écartements sont respectivement (2,5 m x 2 m) pour la rampe frontale (Figure 2) et à 2 m pour le pivot (Figure 3).

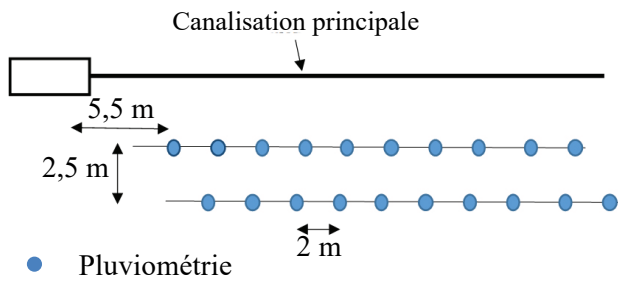


Figure 2 : Disposition expérimentale des pluviomètres sous la rampe frontale suivant la Norme ISO 11545 (ISO, 2001)

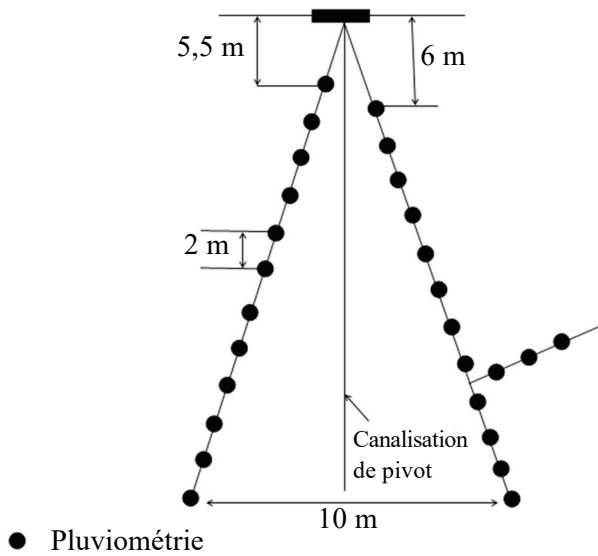


Figure 3: Disposition expérimentale des pluviomètres sous le pivot suivant la Norme ISO 11545 (ISO, 2001)

La pluviométrie moyenne P est calculée par la formule suivante:

$$P = 10 V/S$$

Avec:

P : Pluviométrie (mm)

V : Volume d'eau collecté par récipient (cm^3)

S : Section supérieure du récipient (cm^3)

Calcul du coefficient d'uniformité

Le coefficient d'uniformité s'exprime par la formule de Christiansen (1942) comme suite:

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

Avec:

Cu : Coefficient d'uniformité (%)

V_i : Volume d'eau collecté 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)

Le coefficient d'uniformité globale pour le pivot est le produit de l'uniformité radiale par l'uniformité circulaire. Pour calculer ce terme, on a décidé d'adopter une procédure aux conditions de l'expérimentation. Dans ce

cadre, on a limité l'étude sur un secteur, tout en prévoyant l'installation d'une douzaine de pluviomètres sur un rayon r , espacés chacun de 1,5 m (l'espacement entre les pluviomètres n'est pas un critère très important, puisque ce terme est évalué par la formule de Christiansen). Pendant le temps nécessaire à l'essai, on a indiqué toutes les perturbations climatiques et on a aussi évalué les pertes par évaporation à l'aide de bacs d'évaporation témoins.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Évaluation de la répartition pluviométrique

Le respect du plan de busage donné par le constructeur et l'adoption d'un programme d'entretien approprié permettent d'assurer un fonctionnement convenable des systèmes d'aspersion mécanisée mis en œuvre, et éventuellement, d'améliorer l'uniformité de la distribution des eaux d'irrigation (M'Sadak et al., 2012). Dans les deux cas de fonctionnement de la machine combinée (Pivot-Rampe) étudiée, on peut dire que les buses sont en bon état de fonctionnement, car les débits de buses du constructeur et ceux mesurés présentent un faible écart généralement attribué aux erreurs de mesure.

Cas du pivot de la rampe combinée

La figure 4 révèle que le débit des buses est croissant à l'égard du rayon irrigué.

La courbe est d'abord constante puis elle monte en escalier pour revenir à la fin à son allure initiale. Celle-ci superposée à l'allure linéaire du rayon irrigué, permet de déduire qu'au niveau de la première travée, il y aura des zones sur-arrosées, par contre, à la fin, la surface sera sous-arrosée, vu la constance des débits des buses et l'augmentation du rayon irrigué.

Au niveau de la zone intermédiaire, l'allure de la courbe va engendrer des surfaces sur-arrosées et d'autres sous-arrosées. Notons bien qu'une pluviométrie excessive risque de générer des phénomènes de ruissellement ou des zones inondées (Soutter et al., 2007).

Les courbes de la figure 5 confirment bien les déductions précédentes. On remarque que la pluviométrie est assez élevée sous les deux premières travées. Ceci est dû à la vitesse d'avancement qui reste trop faible aussi bien que la constance des débits des quatre premières buses par rapport à l'augmentation du rayon irrigué. Généralement, cette portion de terrain, toujours en surdosage, favorise les pertes d'eau par infiltration profonde et par évaporation.

On peut conclure que les diamètres de buses ne sont pas assez petits pour limiter le surdosage, alors on est tenté d'augmenter les écartements ou de diminuer les diamètres de buses.

On constate également une forte fluctuation de la pluviométrie à la fin de chaque travée, suite au montage d'une buse juste au niveau de la tour pour améliorer le recouvrement avec la buse voisine. Une telle variabilité est importante, du fait de la réception de l'eau sur l'armature de la tour, ce qui risque de provoquer des problèmes de glissement des roues.

Au niveau de la partie intermédiaire, on a une répartition pluviométrique en dents de scie, ce qui affirme bien la variation du volume reçu d'un point à l'autre.

Enfin, on constate que malgré la légère augmentation de la pression de fonctionnement précisée par le constructeur, il y a une chute brutale de la pluviométrie à la fin du pivot, d'où, la nécessité d'augmenter encore le diamètre des buses finales.

Cas du mode rampe frontale de la rampe combinée

La machine fonctionnant en mode rampe frontale, a un avancement linéaire suivant une droite. Généralement, une rampe frontale est équipée du même type de buse et une rampe combinée possède un double busage, l'un fonctionnant en mode pivot et l'autre en mode rampe, grâce à des électrovannes.

Pourtant, dans notre cas d'étude, l'appareil est équipée d'un seul plan de busage à double fonction, les buses de base sont celles du pivot, par la suite, ils ont essayé de monter des buses que l'on peut nommer d'adaptation, équipées d'électrovannes, qui vont s'ouvrir pendant le fonctionnement en mode rampe frontale.

L'allure de la courbe de la figure 6 illustre la répartition des débits des buses sur toute la longueur de la rampe. Les buses du pivot ayant un débit et un diamètre croissant du début vers la fin de la conduite (ce sont des buses de base). Entre ces buses, on trouve des buses intercalées de diamètres et débits décroissants, sauf qu'à la fin, ces derniers sont légèrement croissants. Il existe ainsi une certaine complémentarité entre les débits des deux buses voisines durant l'irrigation en mode rampe frontale.

En superposant la courbe de la moyenne des débits des deux buses voisines à la droite perpendiculaire à l'avancement de la machine d'arrosage étudiée, on peut déduire qu'au début de la rampe, on a une zone sur-irriguée, à cause de l'utilisation d'une buse ayant un débit supérieur à celui de la moyenne des débits des deux buses voisines. On a également presque une linéarité de la répartition pluviométrique, à partir de 12 m de canalisation jusqu'à 138 m, là où l'on note une légère augmentation et une constance sur une longueur de 41 m, donc jusqu'au point 179 m, où la valeur de la pluviométrie commence à avoir une allure croissante, à cause de la constance des débits des buses de base et l'augmentation de celui de ceux intercalées entre elles.

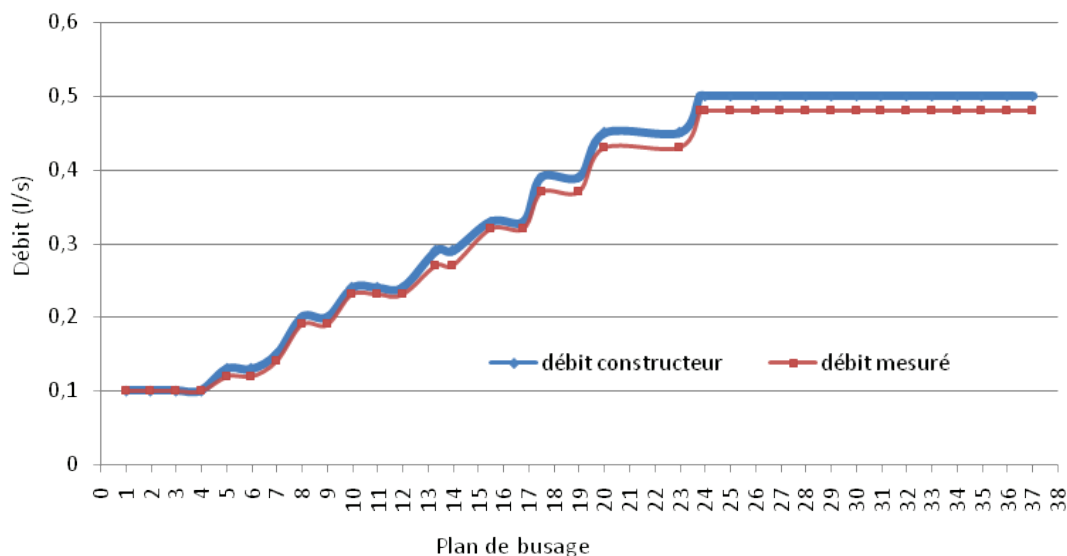


Figure 4: Conformité entre débits de busage théorique et pratique en mode pivot

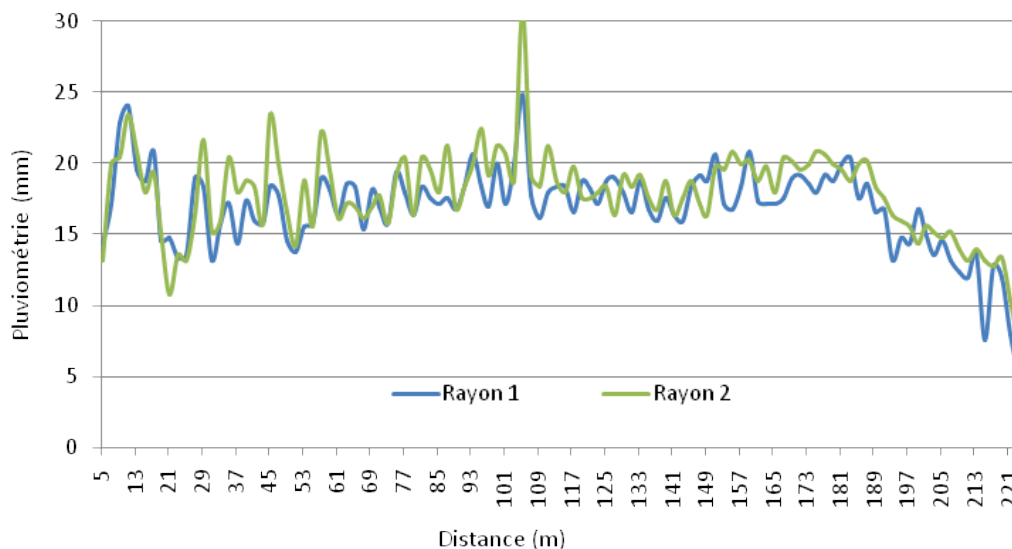


Figure 5: Répartition pluviométrique sous pivot BAUER à pression constante (3 bars) et sous vent faible

La figure 7 de la répartition pluviométrique au champ sur toute la longueur de la rampe frontale affirme bien les déductions précédentes.

Au début de la canalisation, on a une zone sous-arrosée, suite à l'emplacement des pluviomètres au niveau de la partie des deux premières buses fermées du côté de l'unité centrale. Par la suite, cette pluviométrie présente une légère augmentation au niveau de la zone de la première buse avant de se stabiliser approximativement en présentant l'allure d'une constante sous forme de dents de scie aiguës, à cause de l'utilisation de buses de diamètres et débits différents.

À partir de 138 m, on a une augmentation de la pluviométrie sous forme d'une constante avant de devenir une augmentation croissante presque à 180 m, ce qui peut être expliqué par une surestimation des pertes de charges de la part du constructeur, suite à l'augmentation des diamètres des dernières buses équipées d'électrovannes.

Le constructeur aurait pu continuer à faire baisser le diamètre des buses surtout que l'on trouve des buses de débits inférieurs à 0,098 l/s.

Enfin, en ce qui concerne les pics qui se présentent sur la courbe au niveau de certains points, ils sont dus à l'emplacement des pluviomètres juste à côté de la tour et vu la présence d'une buse juste au niveau de cette dernière, l'eau va suivre l'armature avant d'atteindre la culture, ce qui risque d'engendrer des problèmes de glissement des roues. Il semble qu'il vaut mieux diminuer le diamètre de ces buses ou bien les annuler.

Coefficient d'uniformité

Les matériels d'irrigation peuvent être classés selon leur efficacité d'irrigation, définie par Burt et al., (1997) comme le rapport entre le volume d'eau utilisable par la plante et le volume délivré à la parcelle. Le paramètre par excellence exprimant la qualité d'irrigation est le coefficient d'uniformité (Tiercelin et Vidal, 1998).

Cas du pivot de la rampe combinée

En se référant aux résultats de Keller et Blesner (1990), le coefficient d'uniformité circulaire est compris entre 90

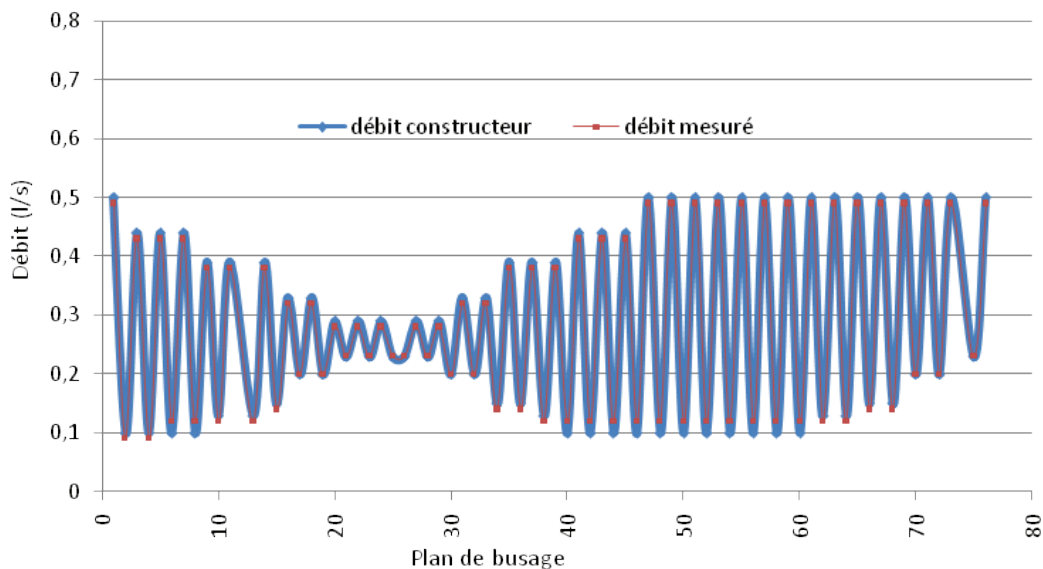


Figure 6: Conformité entre débits de busage théorique et pratique en mode rampe frontale

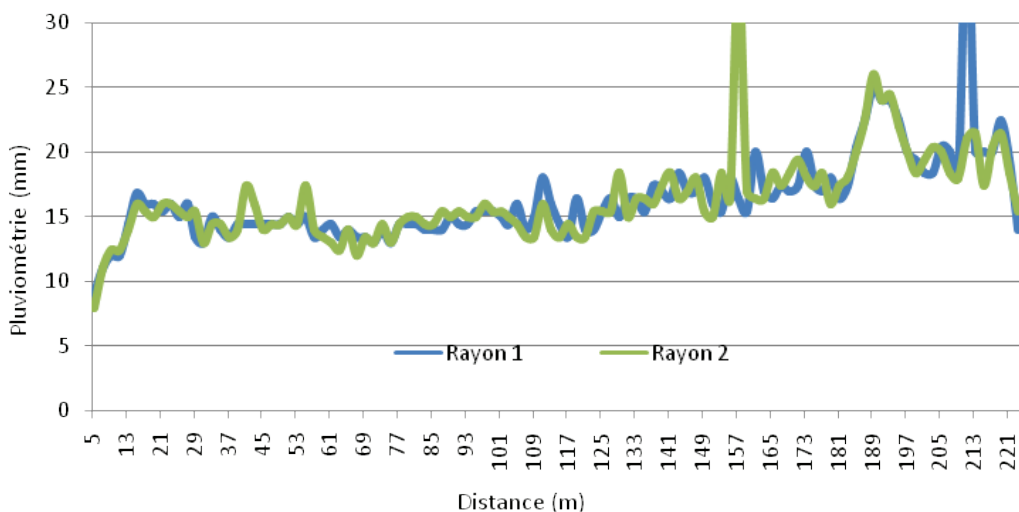


Figure 7: Répartition pluviométrique sous rampe frontale BAUER à pression constante (3 bars) et sous vent faible

et 98%, afin d'assurer une bonne répartition. Ce seuil est assuré dans le cas considéré avec un coefficient d'uniformité, fort intéressant, de 98,3%.

Cas du mode rampe frontale de la rampe combinée

La rampe frontale a enregistré un coefficient d'uniformité égal à 85,5%, supérieur à celui du mode pivot qui a présenté un coefficient d'uniformité globale égal à 82,7%. Ce résultat est en accord avec les recommandations du CEMAGREF.

Effet du vent sur la qualité de l'irrigation

Cas du mode pivot de la rampe combinée

L'analyse de la variation de la pluviométrie sous la deuxième travée du pivot, à l'égard des deux vitesses différentes du vent, montre qu'avec une vitesse faible, la variation sur la ligne des moyennes pluviométriques est presque faible tout en présentant les pics précédemment mentionnés au niveau des tours. Lorsqu'il s'agit d'un vent fort, il y a une forte dispersion entre les différents points d'une même ligne, la conséquence est une répartition hétérogène sur toute la longueur de la travée testée.

Il est évident de signaler que l'allure des courbes de la figure 8 tend vers une variation en dents de scie avec amplitudes aiguës.

L'effet du vent paraît très net. En effet, les asperseurs installés, du type à déflecteur, projettent l'eau en fines gouttelettes à faible distance. Ces gouttelettes sont très sensibles à l'action du vent (elles vont être évaporées, déviées ou transportées).

La sensibilité au vent est fonction de la taille de gouttes. Le transport est d'autant plus facile que les gouttes sont de taille réduite. La dispersion entre les gouttes au niveau de la courbe de répartition pluviométrique pour un vent fort se révèle plus accentuée au niveau de la première partie des travées là où les buses sont plus petites que celles à la fin. La figure 9 représente la variation du coefficient d'uniformité en fonction de la vitesse du vent.

Cette figure montre la détérioration du coefficient d'uniformité de l'ordre de 5% sous l'effet de l'augmentation de la vitesse du vent. Le meilleur coefficient d'uniformité correspond évidemment à une vitesse faible.

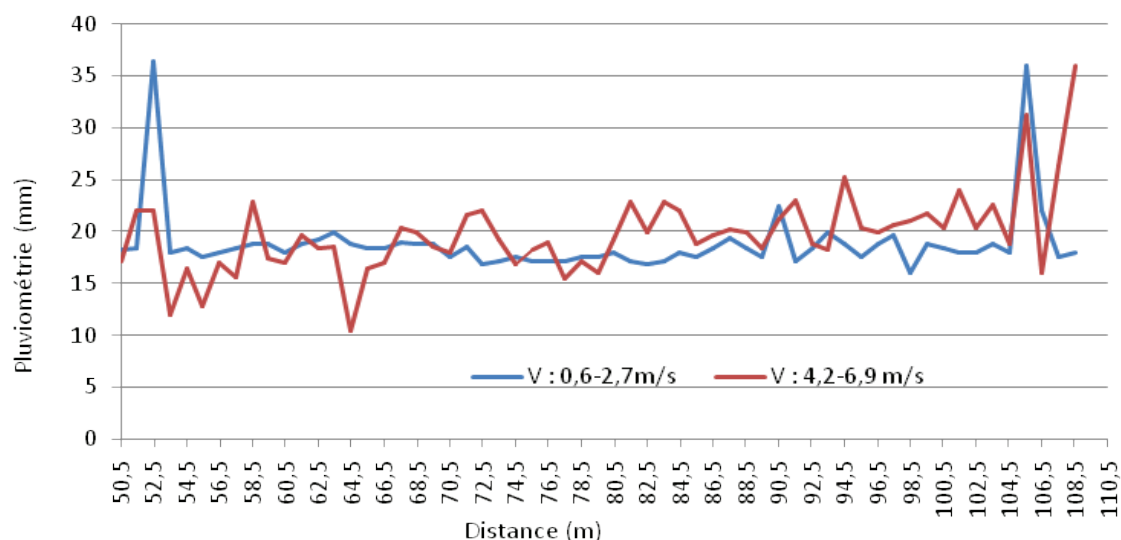


Figure 8: Effet de la variation de la vitesse du vent sur la répartition pluviométrique sous la deuxième travée du pivot BAUER à pression constante (3 bars)

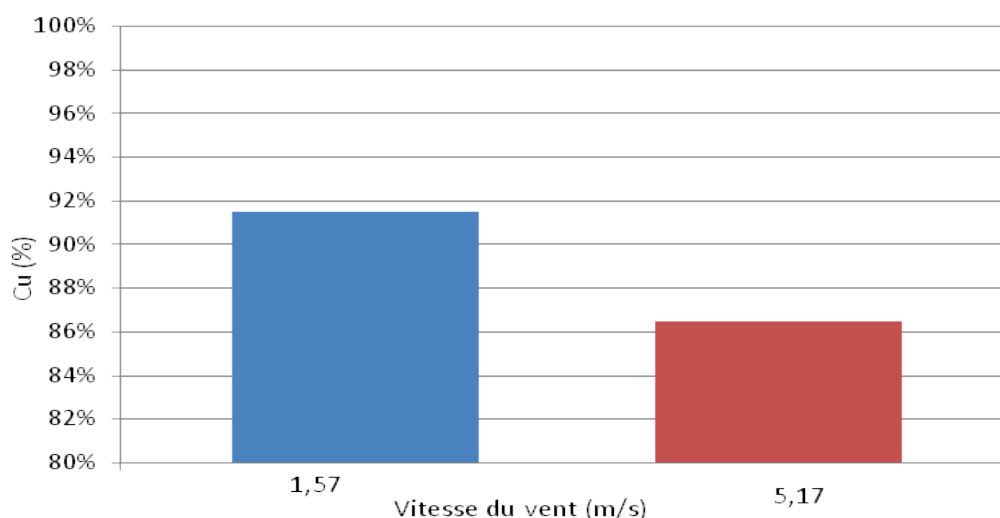


Figure 9: Effet de la variation de la vitesse du vent sur le coefficient d'uniformité de l'irrigation par pivot BAUER à pression constante (3 bars)

Cas du mode rampe frontale de la rampe combinée

La figure 10 montre qu’avec un vent faible on a quasiment une répartition pluviométrique homogène de 10 mm sur toute la travée, aussi bien que les 3 m de la première et la troisième travée.

La courbe de la répartition pluviométrique d’un vent plus élevé dévoile une dispersion entre les différentes zones irriguées d’un même trajet.

En discutant de point de vue effet de la variation de la vitesse du vent sur la répartition pluviométrique entre les deux courbes à pression identique de 2,7 bars, on constate une chute de la pluviométrie dans le cas d’un vent fort. Cet aspect est entendu, étant donné que les gouttelettes délivrées par les asperseurs installés sont assez fines et risquent d’être facilement transportées par le vent.

Devant cette situation, la solution pouvant être retenue est la diminution de la pression de fonctionnement de la machine, afin d’augmenter la taille des gouttes, et par la suite, diminuer le risque de leur déviation. Selon Douh et al., (2012), une utilisation des cannes de descente de même longueur est envisageable pour minimiser l’effet du vent.

Concernant le coefficient d’uniformité, la figure 11 montre que ce coefficient s’est bien dégradé sous l’effet de l’augmentation de la vitesse du vent. La dégradation (de l’ordre de 7%) est peu importante. Le coefficient d’uniformité, de 86,3% dans le cas d’un vent de l’ordre de 5 m/s, est acceptable et on peut juger qu’il s’agit d’un type de matériel là où l’on peut continuer l’irrigation dans le cas d’un vent fort. Selon James et Blair (1984), pour une rampe frontale, l’uniformité aurait même tendance à augmenter avec la vitesse du vent tant qu’elle ne dépasse pas 4 m/s.

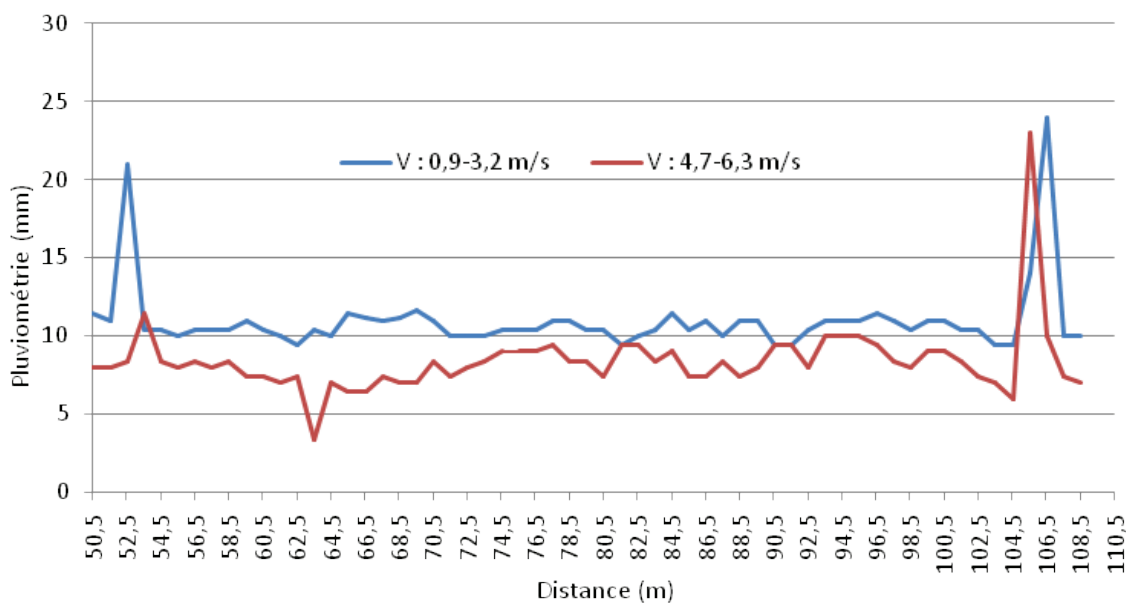


Figure 10: Effet de la variation de la vitesse du vent sur la répartition pluviométrique sous la deuxième travée de la rampe frontale BAUER à pression constante (2,7 bars)

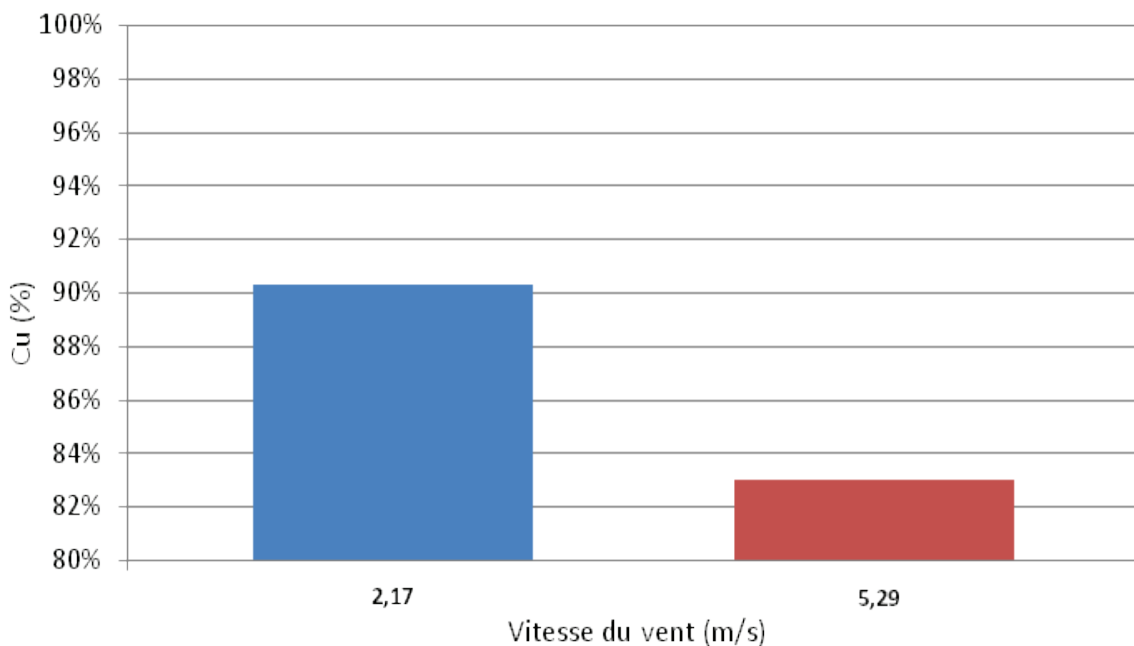


Figure 11: Effet de la variation de la vitesse du vent sur le coefficient d’uniformité de l’irrigation par rampe frontale BAUER à pression constante (2,7 bars)

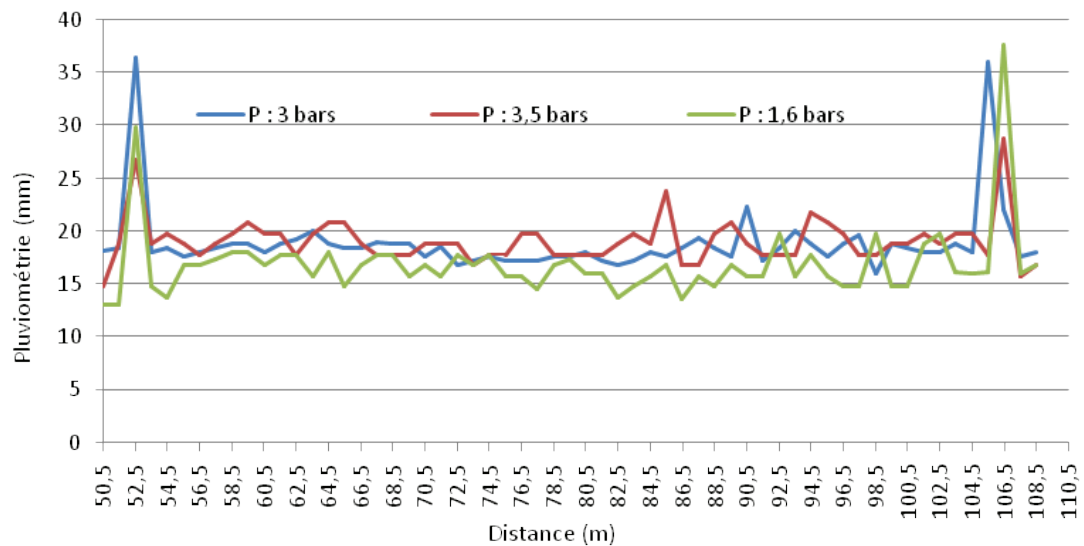


Figure 12: Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur la répartition pluviométrique sous la deuxième travée du pivot BAUER envers vitesse du vent (0,6-2,7 m/s)

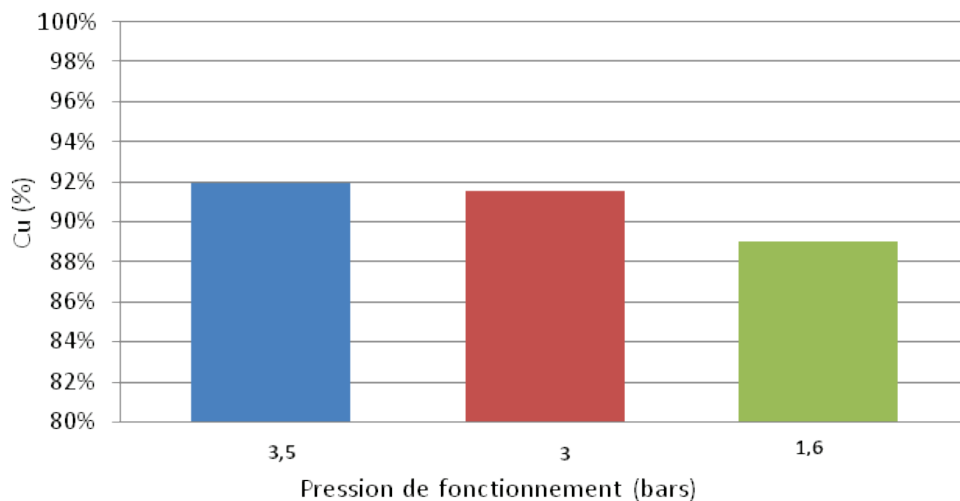


Figure 13: Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur le coefficient d'uniformité de l'irrigation par pivot BAUER envers vitesse du vent (0,6-2,7 m/s)

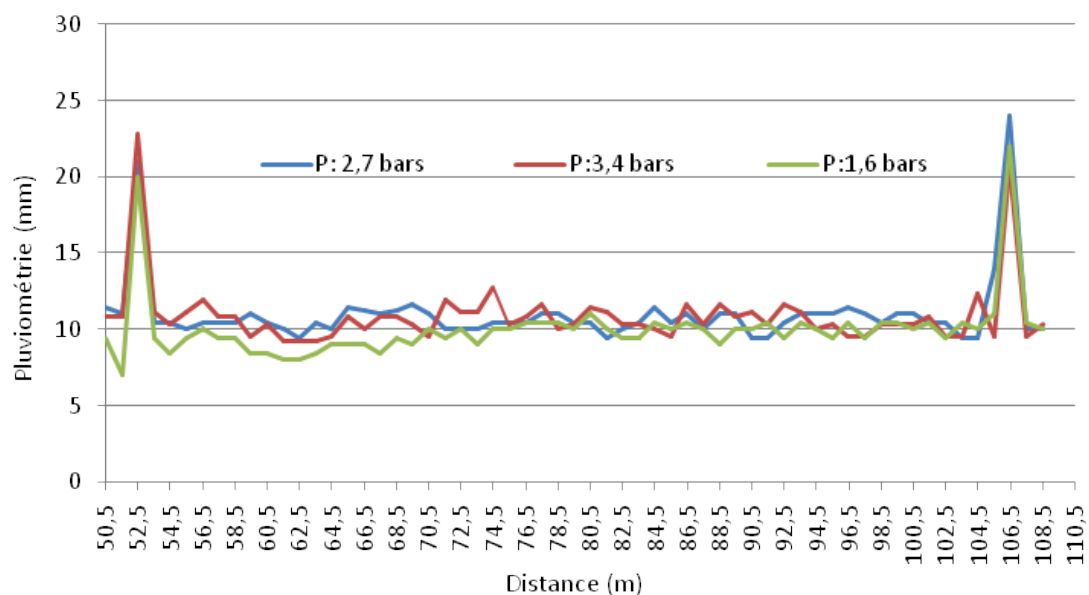


Figure 14: Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur la répartition pluviométrique sous la deuxième travée de la rampe frontale BAUER envers vitesse du vent (0,9-3,2 m/s)

Effet de la pression de fonctionnement sur la qualité d'irrigation

Cas du mode pivot de la rampe combinée

La figure 12 illustre la variation de la pluviométrie en fonction de la distance entre les pluviomètres sur la longueur de la deuxième travée pour une vitesse du vent fixée (0,6-2,7 m/s). Ces courbes présentent presque une stabilité des doses délivrées sous la travée. Ceci pourrait être expliqué par la présence d'un régulateur de pression au niveau de chaque buse.

D'après les résultats obtenus, on peut suggérer une faible sensibilité du coefficient d'uniformité à la variation de la pression de fonctionnement, ce qui est affirmé par les histogrammes de la figure 13, à partir desquels on note un passage du coefficient d'uniformité d'une valeur de 88,98% pour une pression de 1,6 bars à une valeur de 91,92% pour une pression de 3,5 bars.

Cas du mode rampe frontale de la rampe combinée

Généralement, une augmentation de la pression de fonctionnement entraîne une augmentation du volume délivré.

Les graphiques de la figure 14 et de la figure 15 dévoilent que la variation de la pression est pratiquement sans effet sur la moyenne pluviométrique délivrée, assurant ainsi une légère influence sur le coefficient d'uniformité. Ceci pourrait être également expliqué par l'existence d'un régulateur de pression au niveau de chaque buse.

CONCLUSION

Les systèmes d'irrigation par aspersion mécanisée, devenus de plus en plus habituels en Tunisie, présentent plusieurs intérêts tant de point de vue de l'adaptation, de la possibilité de pilotage de l'irrigation, de la multitude de choix offerte par les différentes marques que par «la facilité d'emploi». Il ne suffit pas de connaître leurs

caractéristiques, leurs principes de fonctionnement et de bien maîtriser leurs utilisations, mais d'apprécier les performances de chacun par rapport à l'autre.

L'investigation entreprise sur la rampe combinée (pivotante-frontale), considérée lors de sa première campagne d'utilisation, a révélé que la rampe frontale est moins sensible au vent et moins exigeante en énergie que le pivot. Auparavant, le diagnostic de fonctionnement réalisé sur ce type de matériel, a montré un plan de busage particulier et des buses en bon état, au niveau tant du pivot que de la rampe frontale, toutefois, un faible écart des débits a été observé. En effet, la particularité relevée du plan de busage provient de l'adoption d'un seul plan de busage à double fonction, alors que généralement, un double busage (fonctionnant, l'un en mode pivot et l'autre en mode frontal) est choisi par les constructeurs. Le coefficient d'uniformité trouvé est meilleur dans le cas du mode frontal.

Dans l'ensemble, les résultats acquis lors de cette étude ont dévoilé que l'aspersion mécanisée par rampe combinée est une méthode complexe malaisée pour soutenir une irrigation permanente dans les zones céréalières.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APII (2015). Études et Monographies, Monographie Régionale, Gouvernorat Mannouba. Agence de Promotion de l'Industrie et de l'Innovation (APII) Direction Régionale de Manouba. <http://www.tunisieindustrie.nat.tn/fr/doc.asp?docid=598&mcat=13&mrub=105>
- Azougghagh M. (2001). Matériel d'irrigation: choix, utilisation et entretien. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture*, 6P.
- BAUER, sd. Produits – Irrigation: Systèmes Pivot/Rampes frontales. <http://www.bauer-at.com/fr/produits/irrigation/systemes-pivot-rampes-frontales>
- CEMAGREF (1992). *Collection Guide Pratique : Irrigation*, Ouvrage Collectif, France, 324.

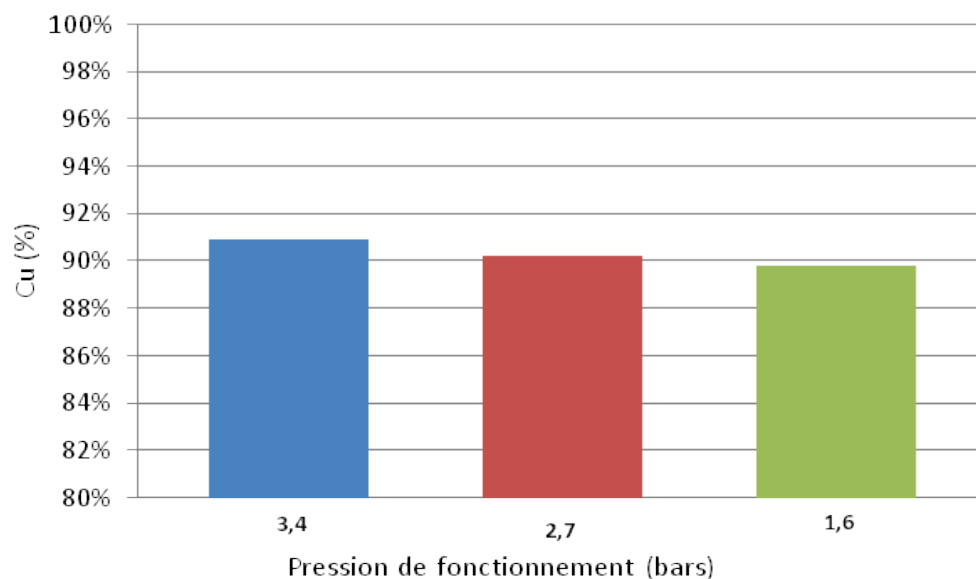


Figure 15: Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur le coefficient d'uniformité de l'irrigation par rampe frontale BAUER envers vitesse du vent (0,9-3,2 m/s)

- Burt C.M., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Solomon K.H., Howell T., Eisenhauer D., Bleisner R., 1997. Irrigation performance measures, efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123 n°6, 423- 442.
- Christiansen J.E. (1942). Irrigation by Sprinkling. *Bulletin 670, 1942*. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA.
- De Boer D.W., Kohl R.A. (1993). Performance characteristics of reduced pressure sprinklers, *ICID Fifteenth Congress*, The Hague, NLD.
- Douh B., Chehaibi S., Zouaghi M. (2012). Analyse diagnostique du maintien en état de fonctionnement des systèmes d'irrigation mécanisée par aspersion cas d'une rampe frontale dans la région de Bousselem, Tunisie. *Larhyss Journal*, n°11,47-61.
- Ennabli N. (1995). L'irrigation en Tunisie. Institut National Agronomique de Tunisie, DGREF, Tunis, 520.
- Huber L. (1991). Pertes par évaporation en irrigation par aspersion, État des connaissances et éléments d'estimation. Étude effectuée pour le Compte de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, France, 15-76.
- ISO (1995). Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers - Part 1: Design and operational requirements.
- ISO (2001). Agricultural irrigation equipment Center pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles: Determination of uniformity of water distribution.
- James L.C., Blair S.K. (1984). Effect of wind on center pivot application uniformity. *ASAE paper*, n°84, 10.
- Kay M. (1983). Sprinkler Irrigation: Equipment and Practice. Bats ford, London.
- Keller J., Bleisner R. (1990). Sprinkler and trickle irrigation, 247-385.
- Mailhol J.C. (2001). Contribution à l'amélioration des pratiques d'irrigation à la raie par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et de la saison. *Thèse de Doctorat USTL. II*, France, 260.
- MEDD (2009). Guide pour une gestion durable des ressources en eau. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD). Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), 41.
- Ministère de l'Agriculture (1994). Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE).
- Ministère de l'Agriculture (1997). IX^e Plan de développement économique et social (1997-2001): le développement agricole et les ressources naturelles.
- M'Sadak Y., Douh B., Hamza M.E. (2012). Diagnostic de fonctionnement des systèmes d'aspersion par pivot utilisé dans une grande exploitation irriguée de la Tunisie centrale. *Larhyss Journal*, n°11, 97-107.
- Molle B. (2005). Choix des matériels d'irrigation en fonction de leurs performances – Des adaptations possibles pour une meilleure maîtrise des arrosages. Colloque SIMA «Eau et Agriculture Durable».
- Scott W.W. (2010). Collector size effect on the measurement of applied water depth from irrigation systems. Master of Science, Kansas State University, 86.
- Soutter M., Mermoud A., Musy A. (2007). Ingénierie des Eaux et du Sol : Processus et Aménagements. Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 294.
- Tiercelin J.R., Vidal A. (1998). Traité d'Irrigation, édition Lavoisier, France, 470-497.