

# DIAGNOSTIC DE FONCTIONNEMENT D'UN PIVOT ADOPTÉ DANS UNE GRANDE EXPLOITATION IRRIGUÉE DU NORD-EST TUNISIEN

M'SADAK Youssef<sup>1\*</sup>, MANAI Afoua<sup>1</sup>, BEN MABROUK Anis<sup>1</sup>  
et HAMZA Mahmoud Elies<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup>*Institut Supérieur Agronomique, 4042 Chott Mariem, Université de Sousse, Tunisie*

<sup>(2)</sup>*Institut National Agronomique, 1082 Tunis- Mahrajène,*

*Université de Carthage, Tunisie*

E-mail: [msadak.youssef@yahoo.fr](mailto:msadak.youssef@yahoo.fr)

*(Received 2 February 2017 - Accepted 10 May 2017)*

**Résumé.** - La présente étude appréhende le diagnostic de fonctionnement au champ d'une rampe pivotante, système d'aspersion mécanisée en cours d'utilisation et en bon état de fonctionnement, adoptée dans la Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) El Khir, délégation de M'Hamdia, gouvernorat de Ben Arous (Nord de la Tunisie) et l'appréciation de la qualité d'arrosage obtenu. Ce travail a touché l'évaluation de la répartition pluviométrique et du coefficient d'uniformité, ainsi que la vérification préalable du plan de busage qui a conduit à la substitution de trois buses par d'autres procurées à partir d'autres pivots. Pour accomplir enfin le testage de l'uniformité de répartition de l'eau, les tests d'uniformité, réalisés sur l'allée vers le point du pivot, ont couvert 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 rapport de fonctionnement a repéré que le système rampe pivotante étudié était capable d'assurer une bonne qualité de répartition de l'eau même sous vent fort (vitesse dépassant 5 m/s). De même, ce système mécanisé reste fonctionnel avec une faible pression à l'entrée. Sûrement, l'utilisation d'un tel système, est une alternative technologique intéressante, étant donné également sa bonne efficience (Coefficient d'uniformité de l'ordre de 84%) à faible pression (1 bar) et sous vent fort (3-5 m/s).

**Mots clés :** Aspersion mécanisée, Rampe pivotante, Plan de busage, Répartition pluviométrique, Coefficient d'uniformité.

## DIAGNOSIS OF PERFORMANCES OF A PIVOT ADOPTED IN A LARGE EXPLOITATION IN NORTHEAST OF TUNISIA

**Abstract.** - The present study includes the diagnosis of field operation of a swivel ramp, mechanized spraying system in use and in good working order adopted by the Agricultural Development Corporation (SMVDA) El Khir, delegation of M'Hamdia, Governorate of Ben Arous (northern Tunisia) and to appreciate the quality of the irrigation carried out. This work has affected the evaluation of the rainfall distribution and the coefficient of uniformity, as well as the prior checking of the bus plan which led to the substitution of three nozzles by others provided from other pivots. Finally, to test the uniformity of water distribution, uniformity tests, carried out on the aisle to the point of the pivot, covered a dominant wind speed range of 1 to 8 m / s and A pressure range of 1.5 to 2.5 bar. The operating report found that the swivel ramp system studied was able to ensure a good water distribution even under strong wind (speed exceeding 5 m / s). Likewise, this mechanized system remains functional with a low pressure at the inlet. Surely, the use of such a system is an interesting technological alternative, given also its good efficiency (uniformity coefficient of 84%) at low pressure (1 bar) and strong wind (3-5 m / s).

**Key words:** Mechanized spraying, Swivel ramp, Plan of busage, Pluviometric distribution, Coefficient of uniformity.

## Introduction

L'eau demeure le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun végétal ne peut vivre. Mais il ne pleut pas toujours au bon moment, ce qui influence les rendements des cultures et entraîne des pertes financières. En Tunisie, les précipitations sont irrégulières dans le temps et dans l'espace, en moyenne de 594 mm au Nord, de 289 mm au Centre et n'est que de 156 mm dans le Sud [1]. De plus, on a enregistré une vingtaine de sécheresses au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Au cours de ce siècle, une sécheresse sévère est enregistrée tous les six ans [2]. Pour remédier à ce déficit en eau, les agriculteurs ont pratiqué l'irrigation des cultures depuis l'antiquité. Elle est vieille comme l'agriculture [3].

Le secteur irrigué est le fort consommateur d'eau. Cette ressource rare est de plus en plus convoitée et détient 70% de la consommation en eau dans le monde [4]. Dans le contexte Tunisien, cette consommation a représenté 83,4% du total des prélevements [5], avec une contribution pour 32% de la production totale et 20% de l'exportation agricole [6].

La limite des ressources en eau et la croissance de leur demande nourrissent le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficience d'utilisation et de la productivité de l'eau [7]. L'agriculteur doit rechercher la méthode d'irrigation qui attribue des rendements élevés, une amélioration de la qualité de la récolte et une réduction de la consommation d'eau et d'énergie [8].

L'irrigation par aspersion, une des techniques fiables de l'irrigation, s'est développée après la seconde guerre mondiale, notamment en Europe et aux États-Unis [9]. En Tunisie, cette technique s'est étendue à presque tous les nouveaux périmètres irrigués en voie de réalisation ou de réhabilitation. Selon HERMI (1995), la surface irriguée par aspersion a été estimée à 50000 ha [10]. De même, en Algérie, l'irrigation par aspersion est largement répandue dans plusieurs régions et ne cesse de se développer surtout avec les encouragements financiers pour économiser l'eau d'irrigation [11].

Sur le marché, un grand nombre de matériels d'arrosage par aspersion est commercialisé. Ils diffèrent entre eux par leurs caractéristiques techniques, les conditions d'utilisation et la qualité d'arrosage qu'ils permettent d'obtenir. La technologie évolue de plus en plus vers une mécanisation rendant les travaux moins pénibles et les charges de main-d'œuvre allégées. Les machines d'arrosage les plus répandues, en matière d'aspersion mécanisée, sont les enrouleurs et les pivots.

Le pivot, également appelé rampe pivotante, est un appareil d'irrigation mobile, arrosant en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire [12]. L'intérêt essentiel de ce type de matériel est sa simplicité de mise en œuvre, ses possibilités de fonctionnement automatique et ses performances en termes d'uniformité d'apport d'eau.

Cette investigation a pour but de faire une analyse diagnostique du maintien en état de fonctionnement d'une rampe pivotante utilisée dans une Société de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) en milieu semi-aride Tunisien.

## 1.- Matériel et méthodes

L'aptitude à une distribution de l'eau la plus uniforme possible est la caractéristique essentielle d'une machine d'arrosage pour des raisons de reproductibilité et de répétabilité. L'essai correspondant doit être, de préférence, conduit au laboratoire. Cependant, certains aspects de performances ne peuvent être vérifiés qu'au champ, et c'est l'objectif des essais expérimentaux entrepris.

### 1.1.- Présentation du site d'étude

L'étude a été effectuée au sein de la SMVDA El Khir, délégation de M'Hamdia, gouvernorat de Ben Arous, Nord-Est Tunisien (fig. 1).

La région du Grand Tunis et ses quatre gouvernorats dont celui de Ben Arous jouissent d'un climat de type méditerranéen [13]. Le gouvernorat de Ben Arous appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur avec des hivers doux et humides et des étés secs et chauds. La température moyenne annuelle est de 20°C.

Ce gouvernorat connaît des précipitations annuelles allant de 275 à 515 mm. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 400 mm et 500 mm [14].

Les vents dominants sont généralement du secteur Ouest à Nord-Ouest, et du secteur Est. Les vents du Sud, le sirocco de Sud-Ouest et Sud-Est fréquents en été contribuent à la hausse des températures en été entre Juin et Aout.



**Figure 1.-** Localisation de la zone d'étude [13]

### 1.2.- Système d'aspersion mécanisée étudié

#### 1.2.1.- Caractérisation technique

L'étude a été effectuée sur une rampe pivotante dont les caractéristiques techniques sont indiquées dans le tableau I.

Les essais ont été effectués dans des conditions conformément aux normes ISO (1995, 2001) [15,16] et aux recommandations expérimentales du CEMAGREF (1992)

[12].

**Tableau I.- Caractérisation technique du pivot d'irrigation étudié [17]**

Type	Descriptif technique du pivot «LINDSAY ZIMMATIC»
Tour centrale	Immobile
Longueur du pivot (m)	394
Diamètre de la conduite (mm)	168
Longueur du porte à faux (m)	25
Longueur d'une travée (m)	61,5
Nombre de buses	170
Nombre de travées	6
Hauteur de l'asperseur (m)	1,2
Espacement entre asperseurs (m)	2
Secteur angulaire arrosé (°)	360
Puissance du motoréducteur (kW)	0,75
Débit total d'alimentation (m <sup>3</sup> /h)	97
Pression de service (bars)	1,2
Vitesse d'avancement maximale (m/h)	155
Temps de révolution (h)	14,9

### 1.2.2.- Principe général de fonctionnement

Le pivot arrose en rotation une surface circulaire ou semi-circulaire (fig. 2). Il fonctionne en général à poste fixe. Il convient bien pour les grandes surfaces de monoculture [9].

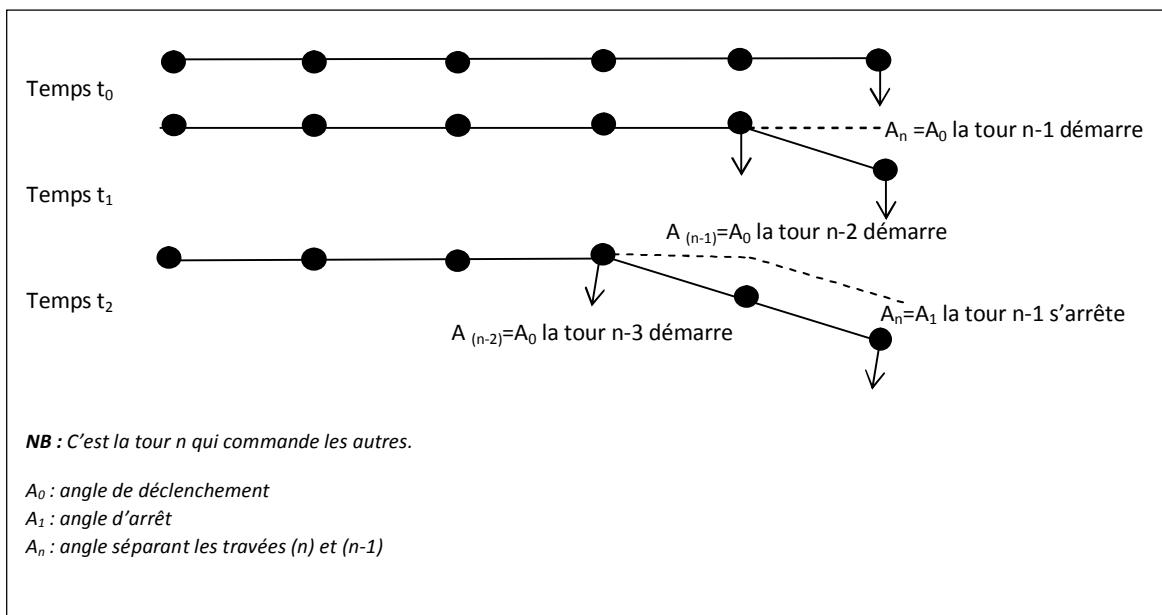


**Figure 2.- Vue aérienne des périmètres irrigués par pivot [9]**

Il est constitué par une canalisation de grande longueur, tournant autour d'un axe ou pivot par lequel se fait l'arrivée d'eau et d'électricité.

La canalisation est portée, de proche en proche, par des tours équipées de roues, animées par des moteurs électriques. Les tours séparent l'appareil en travées rigidifiées par un système de triangulation et de tirants, la canalisation tenant lieu de poutre.

L'eau est distribuée par des asperseurs ou des buses, disposés le long de la canalisation. Un canon d'extrémité, placé au bout du porte-à-faux complète souvent l'équipement.



**Figure 3.-** Principe de l'avancement du pivot [12]

Le mouvement de la rampe est discontinu, l'alignement de l'ensemble est commandé au niveau de chaque tour par des contacteurs, sensibles à l'angle formé par deux travées contigües. Le réglage de l'avancement se fait par modification du temps de fonctionnement du moteur de la dernière tour, au cours d'un cycle d'une minute.

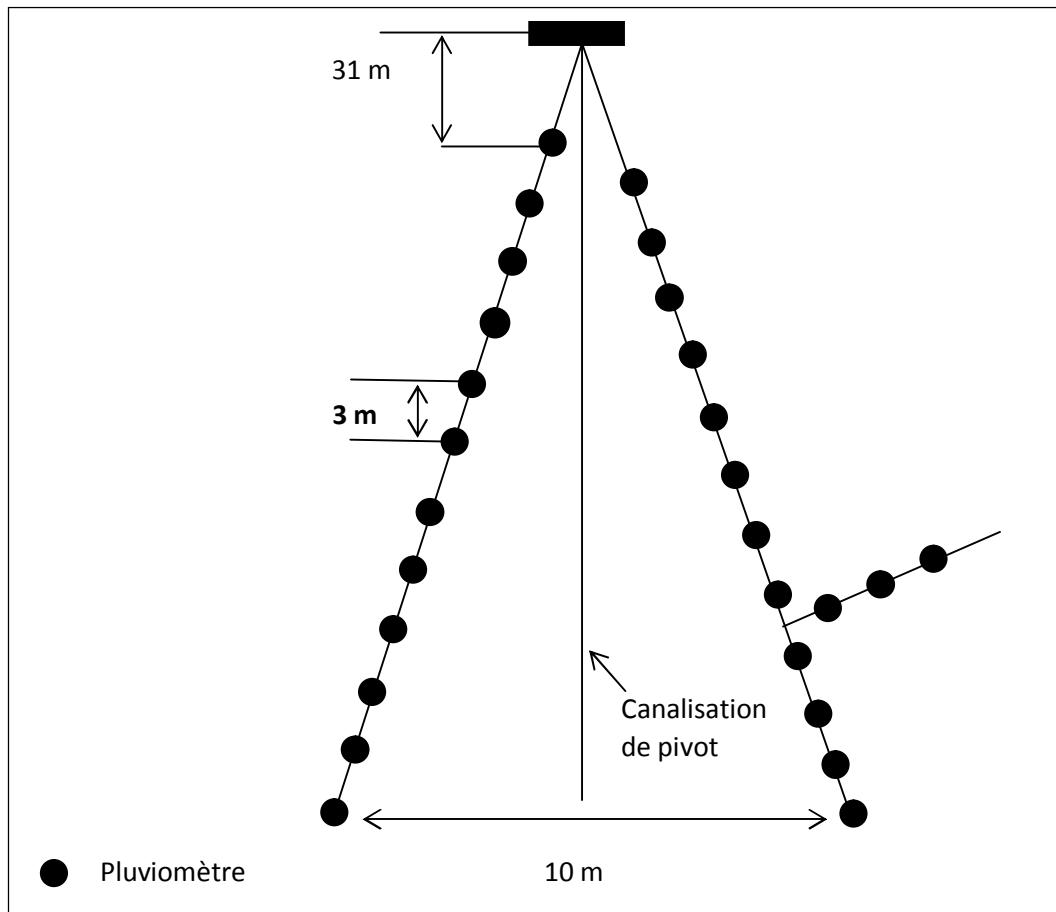
La vitesse moyenne de déplacement du pivot est fixée par le temps de fonctionnement de la tour d'extrémité. Le mouvement de la machine se fait ensuite par corrections angulaires successives entre travées (fig. 3).

L'angle entre deux tours voisines doit rester compris entre deux angles limites :  $A_0$  angle de déclenchement et  $A_1$  angle d'arrêt. Lorsque l'appareil est mis sous tension (temps  $t_0$ ), seule la dernière tour ( $n$ ) démarre, jusqu'à ce que l'angle  $A_n$  atteigne la limite de déclenchement, la tour ( $n-1$ ) se met alors en marche (temps  $t_1$ ). Il en est ainsi de proche en proche jusqu'à l'axe du pivot.

Le fonctionnement du pivot en rotation suppose que la travée la plus éloignée du centre devra, dans le même temps que la première, parcourir une distance et arroser une surface bien plus grande. Ce déplacement plus rapide se traduira par le besoin d'appliquer le volume d'eau nécessaire en un temps très bref, autrement dit, avec une intensité plus grande.

### 1.3.- Appréciation de la répartition pluviométrique

En irrigation par aspersion, une mauvaise répartition, se traduit par des pertes d'eau et de rendement des cultures. De ce fait, on constate que sur une même parcelle, il y a des endroits gorgés d'eau (d'où, asphyxie éventuelle des plantes) et d'autres largement déficitaires (stress hydrique). Ainsi, une bonne uniformité de l'irrigation se traduit par un développement végétatif homogène des cultures à l'échelle du champ.



**Figure 4.-** Disposition expérimentale des pluviomètres sous le pivot suivant la norme ISO 11545

Assurer une répartition uniforme de l'eau, s'avère une tâche assez délicate. En effet, cette uniformité est tributaire des débits des divers asperseurs installés. Or, conformément à la loi des orifices, le débit d'un arroseur dépend de la pression de service, du diamètre de la buse et du régime hydraulique. Par ailleurs, selon TOUNSI (1997) [18], CHRISTIANSEN propose de limiter la longueur de la rampe à une valeur telle que la variation relative à la pression ( $\Delta P/P$ ) n'excède pas 20%, pour circonscrire la variation du débit le long de la rampe dans une gamme acceptable, et SEGUIER a affirmé que la présence des plantes sur la parcelle modifie l'uniformité de la répartition de l'eau. De plus, KELLER et BLEISNER (1990) ont montré que l'angle du jet peut varier d'un poste à un autre, suite à la variation de la verticalité de l'asperseur (terrains accidentés). Aussi, l'uniformité est tributaire du taux de recouvrement, de la direction et de la vitesse du vent [19].

L'uniformité d'arrosage est appréciée moyennant l'installation d'une grille de pluviomètres régulièrement espacés. La dispersion des lames d'eau collectées dans les divers pluviomètres permet d'évaluer la qualité d'arrosage.

Pour conduire les essais de caractérisation du pivot d'irrigation, 270 pluviomètres identiques ont été utilisés, ayant chacun un diamètre de 18 cm et une hauteur de 17 cm. Ils ont été disposés selon deux rayons. Les écartements sont comme indiqués sur la figure 4.

Le volume d'eau récolté dans chaque récipient a été mesuré à l'aide d'une éprouvette, alors que la vitesse du vent a été enregistrée pendant l'essai à l'aide d'un anémomètre installé à une hauteur de 2 m dans un rayon de 200 m du site d'essai.

La pluviométrie moyenne P est déterminée par la formule suivante [20]:

$$P = 10 \frac{V}{S}$$

Avec :

P : pluviométrie (mm)

V : volume d'eau récolté par récipient ( $\text{cm}^3$ )

S : section supérieure du récipient ( $\text{cm}^2$ )

Les pertes par évaporation à partir des bacs d'évaporation ont été évaluées moyennant trois bacs témoins, remplis par un volume ( $V_1 = 500 \text{ ml}$ ). A la fin, on estime les pertes et la moyenne arithmétique sera affectée aux volumes récupérés. Au cours de l'essai, on doit indiquer la vitesse du vent, ainsi que sa direction, toutes les 15 mn.

La vitesse du vent est la moyenne d'une mesure durant 30 s. Aussi, on doit de temps à autre, vérifier les caractéristiques hydrauliques en tête du pivot d'irrigation, surtout la variation de la pression. Enfin, le volume d'eau recueilli (V) a été mesuré au moyen d'une éprouvette.

#### **1.4.- Calcul du coefficient d'uniformité**

L'efficience du système d'irrigation par aspersion est généralement déterminée à partir du coefficient d'uniformité de CHRISTIANSEN [21].

Le coefficient d'uniformité globale sous pivot est le produit de l'uniformité radiale par l'uniformité circulaire. D'après KELLER et BLEISNER (1990), l'uniformité circulaire est appréciée moyennant l'installation de pluviomètres sur le périmètre d'un cercle circonscrit à l'intérieur du rayon arrosé. La meilleure position toujours est le cercle de rayon ( $R_s = 2/3 L$ , avec:  $R_s$ : Rayon arrosé et  $L$  : Longueur du pivot). Les pluviomètres seront disposés tous les 5 m le long du périmètre. Pendant le temps nécessaire à l'essai, qui correspond à une révolution totale, on doit signaler toutes les perturbations climatiques et on doit aussi évaluer les pertes par évaporation à l'aide de bacs d'évaporation témoins [19].

##### **1.4.1.- Coefficient d'uniformité circulaire**

Pour estimer ce paramètre, on a décidé d'opter vers une procédure ajustée aux conditions de l'expérimentation entreprise. Dans ce cadre, on a limité l'étude expérimentale sur un secteur, en installant une douzaine de pluviomètres sur un rayon de 314 m, espacés chacun de 1,5 m (l'espacement entre les pluviomètres n'est pas un critère très important puisque le terme en question est évalué par la formule de CHRISTIANSEN).

L'uniformité de distribution de l'eau conditionne le développement homogène des cultures. CHRISTIANSEN (1942) était le premier à étudier l'uniformité de distribution au moyen du coefficient d'uniformité relaté ci-après [22].

$$Cu (\%) = 1 - \left( \frac{\sum |y_i - y_m|}{N * y_m} \right)$$

Avec :

N : nombre de collecteurs pris en compte dans l'analyse des données

$y_i$  : hauteur (masse ou volume) d'eau recueillie dans l'ième collecteur

$y_m$  : moyenne arithmétique des hauteurs d'eau recueillie par tous les collecteurs pris en compte dans l'analyse des données

La hauteur moyenne d'eau recueillie est exprimée comme suit.

$$y_m = \sum y_i / n$$

#### 1.4.2.- Coefficient d'uniformité radiale

L'uniformité sous pivot est appréciée par la formule de HERMANN et HEIN (1968) [23] selon la norme ISO 11545 (2001) [16].

$$CU_H = 100 \left[ 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V) * S_i}{\sum_{i=1}^n (V_i * S_i)} \right] \right]$$

Avec :

$CU_H$  : coefficient d'uniformité de Hermann et Hein (%)

n : nombre de collecteurs utilisés pour l'analyse des données

i : indice de repérage débutant, en général, par le collecteur situé auprès du point de pivot

$V_i$  : volume d'eau recueillie dans l'ième collecteur

$S_i$  : distance séparant l'ième collecteur du point de pivot

## 2.- Résultats et discussion

### 2.1.- Considérations préalables

Les problèmes rattachés à l'intensité de l'irrigation par pivot ont été considérablement étudiés, afin de prévoir le ruissellement ou l'infiltration, pour déboucher sur des méthodes optimales de conception des machines et/ou de conduite de l'irrigation des cultures.

Les diverses études réalisées ont permis d'affiner les méthodes de conception des pivots, à la fois pour les asperseurs sur la rampe [24] et le canon d'extrémité [25]. En effet, l'utilisation de mesures d'énergie cinétique a autorisé la sélection, en fonction de la nature du sol, du type d'asperseur approprié [26], et sa pression de fonctionnement (trois types d'asperseurs sont distingués en fonction de leur pression de fonctionnement : asperseurs basse pression, asperseurs moyenne pression et asperseurs haute pression).

Pour un couple [asperseur, buse] donné, plus la pression de fonctionnement est élevée, plus la portée est élevée et plus le diamètre moyen des gouttes diminue, et inversement [27].

Pour un couple [asperseur, pression] donné, plus le diamètre de la buse est élevé, plus la portée est élevée et plus le diamètre moyen des gouttes augmente, et inversement [27].

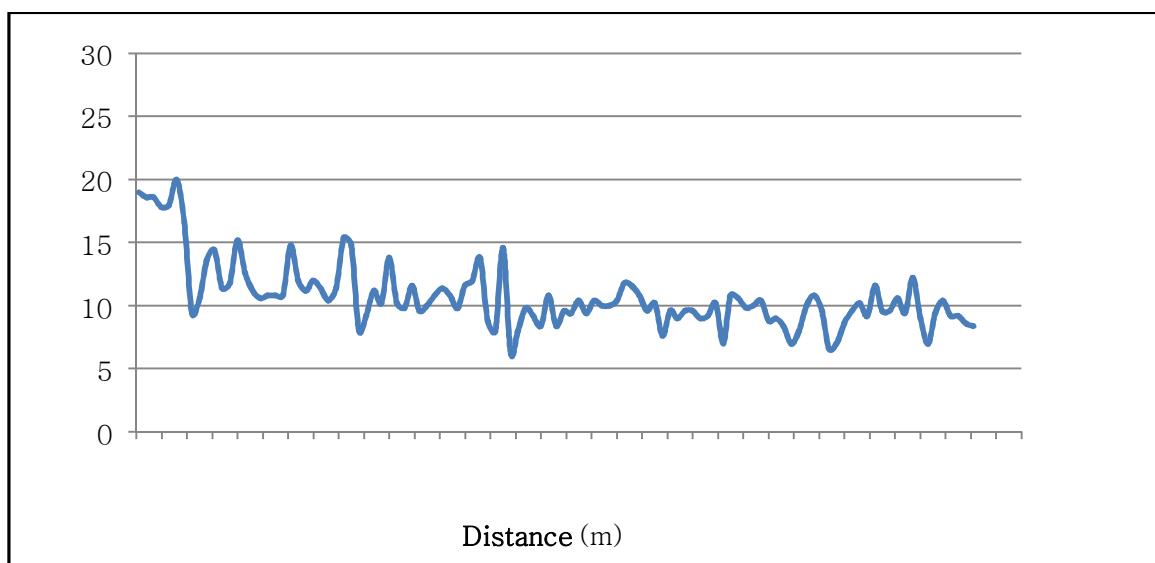
Par ailleurs, le diamètre des gouttes générées dépendant du couple [diamètre de buse, pression], l'effet sur le rendement peut être très important [28]. DE BOER et KOHL (1993) ont confirmé, par des mesures *in situ*, les effets de la pression, de l'angle du jet et

du diamètre de la buse sur la distribution granulométrique des gouttes. Ils ont mis en évidence le fait que le vent n'agit sur la granulométrie qu'à partir d'une vitesse de 4,5 m/s [29].

## 2.2.- Appréciation générale

Pour résoudre les problèmes d'intensité de l'arrosage, les constructeurs d'arroiseurs ont développé une large gamme de tailles de buses qui permettent de délivrer des débits croissants en fonction de la distance au centre du pivot. Lors de la conception, le fournisseur du pivot pourra ainsi garantir une bonne uniformité de répartition du débit. Mais attention, de ne pas confondre uniformité de répartition du débit aux arroiseurs et uniformité de l'arrosage : il peut en effet y avoir une grande différence entre l'uniformité potentielle (calculée) et l'uniformité réelle (mesurée sur le terrain) [27].

La qualité d'irrigation d'un pivot dépend entre autres, de la qualité d'étude hydraulique et du plan de busage proposé par le fournisseur. Que l'étude des pivots soit réalisée par le fournisseur ou par l'utilisateur, il faut des données fiables sur les caractéristiques du terrain, la structure de l'appareil et les données hydrauliques (débit, pression) pour optimiser le plan de busage. Le respect de ce plan au moment du montage est une condition de l'uniformité d'arrosage [30]. Après avoir vérifié le plan de busage du pivot étudié, on a substitué trois buses par d'autres procurées à partir d'autres pivots. En effet, d'après M'SADAK *et al.* (2012.), 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 pivots mis en œuvre, et éventuellement, d'améliorer l'uniformité de la distribution des eaux d'irrigation [30].



**Figure 5.- Répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)**

D'après la figure 5, 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. Généralement, cette portion de terrain, toujours en surdosage, favorise les pertes d'eau par infiltration profonde et par évaporation. Aussi, on constate une forte variabilité de la

pluviométrie à la fin de chaque travée, suite à l'usage d'une buse fonctionnant en secteur ( $< 180^\circ$ ) pour améliorer le recouvrement avec la buse voisine, cette variation est très réduite, juste à proximité des ornières.

On remarque également que malgré la légère augmentation de la pression de fonctionnement (donnée par le constructeur), il y a une chute brutale de la pluviométrie à la fin du pivot (zone irriguée par porte à faux).

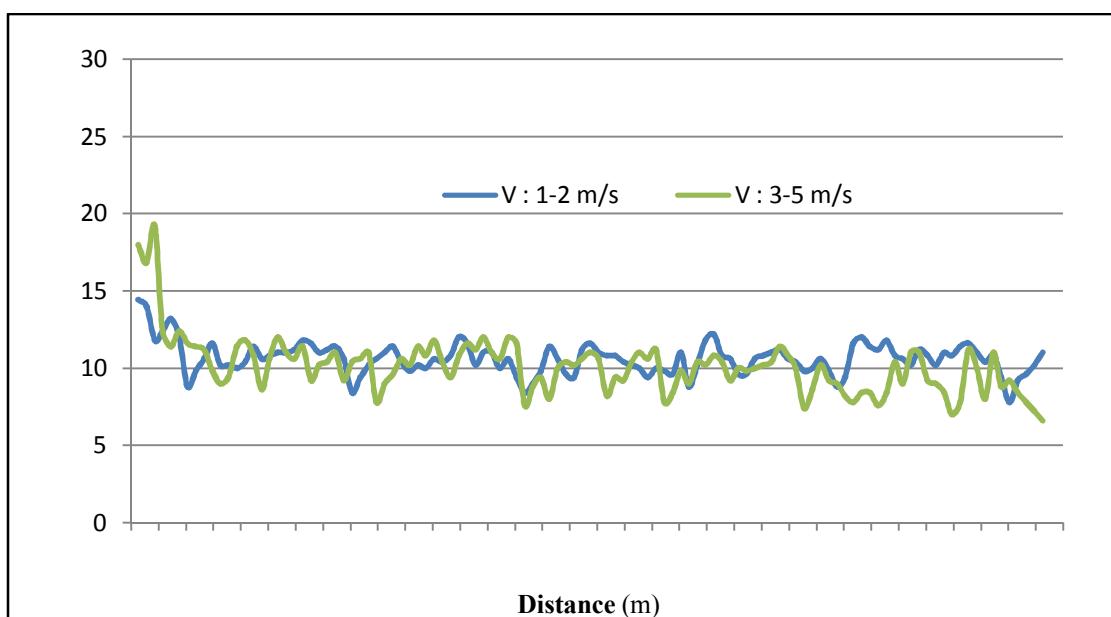
L'augmentation de la perte de charge est l'un des facteurs principaux. En effet, cette perte de charge est dépendante du vieillissement de l'appareil, d'après la formule de HAZEN- WILLIAMS. Rappelons que l'équation de HAZEN-WILLIAMS est une relation empirique, utilisée en hydraulique, pour calculer les pertes de charge dues à la rugosité des conduites.

## 2.3.- Qualité d'arrosage

### 2.3.1.- Effet du vent

Le vent est un facteur de perturbation important. Au niveau d'un aspergeur individuel, la répartition spatiale de l'eau peut être fortement déformée : on observe en général une forte augmentation du maximum de pluviométrie, et une diminution de la surface mouillée [27]. L'examen de la variation de la pluviométrie sous pivot avec différentes vitesses de vent révèle qu'avec une vitesse faible, la variation entre les deux rayons est presque faible, alors qu'une forte dispersion entre ces deux derniers est observée, lorsqu'il s'agit d'un vent fort. D'où, une répartition hétérogène sur toute la parcelle irriguée.

Il est évident de signaler que l'allure des courbes de la figure 6 tend vers une variation en dents de scie avec des amplitudes aigues.



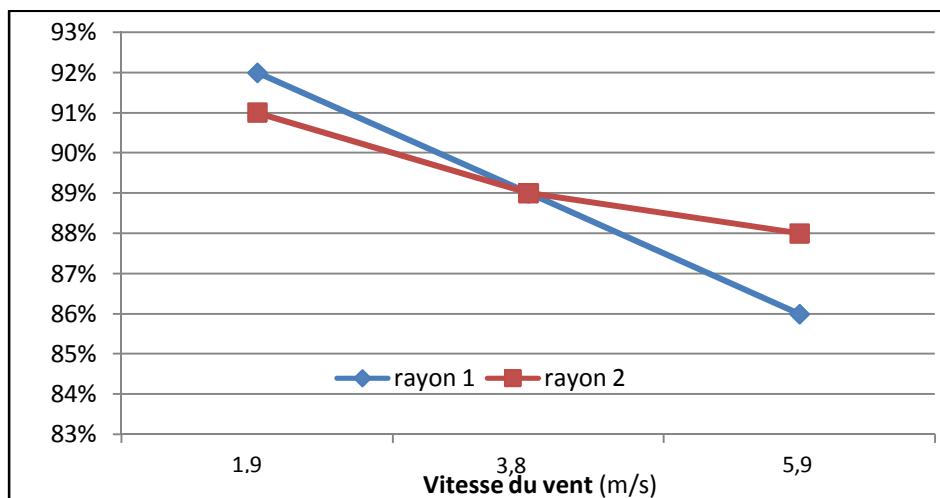
**Figure 6.-** Effet de la variation de la vitesse du vent sur la répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)

L'effet du vent paraît très net sur la deuxième et la troisième travée, où l'on observe que la dose apportée tend vers la dose estimée (10 mm). En effet, les asperseurs à déflecteur projettent l'eau en fines gouttelettes à faible distance. Ces gouttelettes sont très sensibles à l'action du vent (elles sont fréquemment évaporées, déviées ou transportées).

Tandis que pour le reste des travées, l'effet du vent est atténué, pour une même surface la variation de la pluviométrie entre les conditions étudiées est trop faible. Cela est dû à l'effet secondaire de certaines anomalies générées au niveau de la structure globale du pivot (légères cassures engendrant quelques gouttes d'eau) et de l'implantation en alternance des cannes, si la direction du vent intercepte la canalisation.

La figure 7 représente la variation du coefficient d'uniformité radiale en fonction de la vitesse du vent. Les courbes obtenues sont décroissantes et représentent une détérioration lorsque la vitesse du vent augmente. Le meilleur coefficient d'uniformité correspond à une vitesse faible.

Pour réduire la sensibilité au vent, on peut réduire la pression ou utiliser des buses de plus gros diamètres [27].

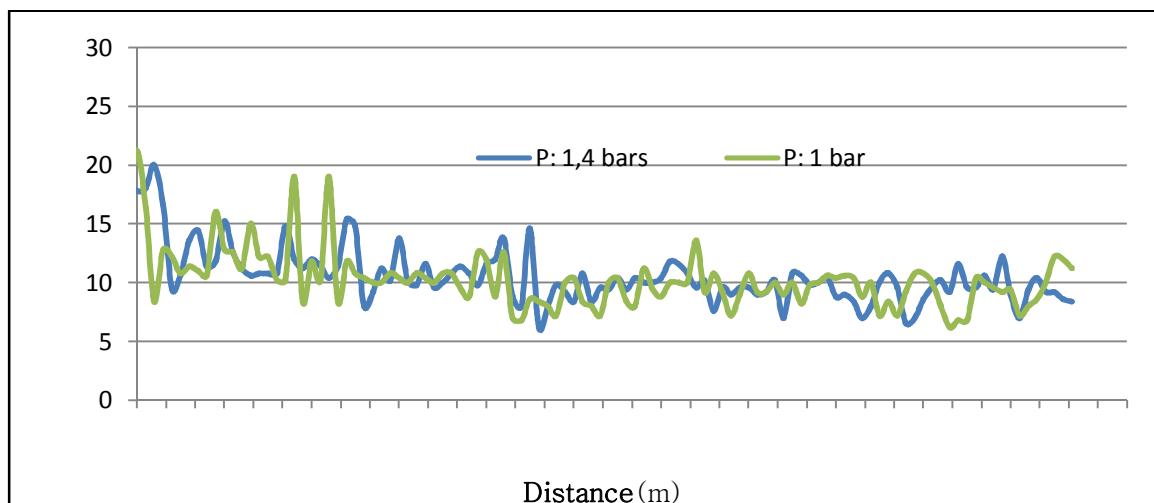


**Figure 7.-** Effet de la variation de la vitesse du vent sur le coefficient d'uniformité radiale de l'irrigation par pivot (LINDSAY ZIMMATIC) à pression constante (1,4 bars)

### 2.3.2.- Effet de la pression

Les conditions extérieures n'ont permis qu'une comparaison réduite pour évaluer l'effet de la pression. La figure 8 représente la variation de la pluviométrie en fonction du cumul de la surface (%) pour une vitesse du vent fixée (3-5 m/s).

Les courbes acquises présentent une diminution des doses délivrées sous les trois premières travées, tandis que la pluviométrie chute au-dessous de la moyenne ( $D = 10 \text{ mm}$ ) vers la fin du pivot. En effet, avec une pression de 1 bar, l'eau est projetée à proximité de l'aspergeur, puisque la portée est réduite.



**Figure 8.-** Effet de la variation de la pression de fonctionnement sur la répartition pluviométrique sous le pivot (LINDSAY ZIMMATIC) avec vitesse du vent (3-5 m/s)

#### 2.4.- Coefficient d'uniformité circulaire

Le tableau II présente les résultats relatifs à la variation du coefficient d'uniformité circulaire sous différentes conditions du vent. Ce tableau montre qu'avec un vent faible, le coefficient d'uniformité est supérieur à 90% (CU = 93%).

**Tableau II.-** Variation du coefficient d'uniformité circulaire en fonction du vent

Pression de service (bars)	1,4			1,0
Vitesse du vent (m/s)	1-3	3-5	4-8	3-5
Coefficient d'uniformité circulaire (%)	93	89	92	84

En se référant aux résultats de KELLER et BLEINSNER (1990), le coefficient d'uniformité circulaire doit être compris entre 90 et 98%, afin d'assurer une bonne répartition [19]. On remarque que ce seuil est assuré, dans tous les cas, à la même pression de fonctionnement. Les systèmes d'aspersion par pivot permettent d'atteindre des rendements hydrauliques nets voisins de 85-90%. Ces rendements peuvent, néanmoins, être bien inférieurs, si les arroseurs sont mal disposés ou encore par vent fort [9].

D'après les résultats obtenus, on peut suggérer, une insensibilité du coefficient d'uniformité circulaire à la variation de la vitesse du vent. En contrepartie, ce coefficient paraît très sensible à la variation de la pression.

Le vent est un facteur de perturbation important. Au niveau d'un aspergeur individuel, la répartition spatiale de l'eau peut être fortement déformée, on observe en général une forte augmentation du maximum de pluviométrie, et une diminution de la surface mouillée [27].

Néanmoins, l'effet sur l'uniformité de l'irrigation est plus faible que pour les autres systèmes d'arrosage par aspersion. Selon JAMES et BLAIR (1984), l'uniformité aurait même tendance à augmenter avec la vitesse du vent, tant qu'elle ne dépasse pas 4 m/s [32].

Selon DOUH *et al.* (2012) une vérification de l'état des buses (obstruction, fuites, colmatage ou usure) et un diagnostic de fonctionnement avec un contrôle de l'uniformité de l'irrigation au moins une fois par an, sont à respecter pour améliorer la rentabilité des systèmes mécanisés d'aspersion de l'eau [33].

Finalement, pour un pivot d'irrigation donné, la répartition radiale est valable théoriquement, quelle que soit la vitesse d'avancement choisie [34]. En effet, en théorie, le réglage de l'avancement ne modifie pas significativement l'uniformité de la distribution.

## **Conclusion**

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie via la conception des systèmes d'irrigation adéquats pour une gestion plus efficace de l'eau. Le choix d'un système par rapport à l'autre dépend généralement des conditions d'exploitation. Un tel choix est devenu difficile devant la multitude de gamme offerte sur le marché par les différents constructeurs. Ainsi, il est nécessaire de connaître les caractéristiques, le principe de fonctionnement, bien maîtriser l'utilisation, et surtout apprécier les performances de chacun par rapport à l'autre.

L'étude entreprise sur un pivot d'irrigation, en cours d'utilisation et en état correct de fonctionnement, a révélé que cette machine d'arrosage assure une bonne qualité d'irrigation même avec un vent très fort dépassant 5 m/s. De même, il reste fonctionnel avec une faible pression à l'entrée. A cet égard, le coefficient d'uniformité relevé est de l'ordre de 84% à faible pression (1 bar) et sous vent fort (3-5 m/s). Dans l'ensemble, cet appareil est capable de produire une irrigation très uniforme. Un des obstacles à l'extension d'un tel système est la très forte intensité de l'arrosage qu'il dispense, pouvant dépasser les capacités d'infiltration de certains sols.

En définitive, les résultats obtenus lors de cette investigation ont dévoilé que l'aspersion mécanisée par rampe pivotante est une méthode efficace pour soutenir une irrigation permanente. En matière d'irrigation à grande échelle, les systèmes du type pivot sont reconnus comme étant les équipements les plus économiques. Grâce à l'uniformité d'arrosage qu'ils prodiguent, et à leur faible besoin en main-d'œuvre, ils proclament le meilleur rapport qualité/ prix, à condition bien sûr de disposer d'un parcellaire et d'une ressource en eau adéquats. A l'heure où l'agriculture irriguée est jurement dénoncée de gâcher l'eau et de favoriser les pollutions diffuses, il faut améliorer les méthodes de conception de tels équipements d'arrosage.

## **Références bibliographiques**

- [1].- 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), Tunisie, 41 p.
- [2].- Mekki H., 2007.- Gestion des ressources en eau en Tunisie. Direction générale des ressources en eau. MARH, INECO- Nabeul, 43 p.
- [3].- Renoux J. P., 2011.- L'irrigation pour une agriculture durable. Fondapol : fondation pour l'innovation politique, mars 2011, 37 p.

- [4].- FAO, 2011.- L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Gérer les systèmes en danger. Rapport de synthèse. Rome, 52 p.
- [5].- Ministère de l'Agriculture, 1994.- Rapport de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), Tunisie, 23 p.
- [6].- Ministère de l'Agriculture, 1997.- IXe plan de développement économique et social (1997-2001): le développement agricole et les ressources naturelles, Tunisie, 37 p.
- [7].- Van Halsema G. E., Vincent L., 2012.- Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. Agric. Water Manage, 108: 9-15.
- [8].- Badji M., Oscar G. M, 1994.- L'irrigation localisée: une méthode plus rationnelle et sa terminologie. Agence de coopération culturelle et technique et la Communauté française de Belgique, n°8, 8 p.
- [9].- Rieul R., 1993.- Les techniques modernes d'irrigation et les économies d'eau. Etat de l'Agriculture en Méditerranée : Ressources en eau : développement et gestion dans les pays méditerranéens. Bari : CIHEAM.: 177-197.
- [10].- Hermi M., 1995.- Etude de l'uniformité en irrigation par aspersion sous différentes conditions de vent, de pression et d'écartement. Cas des périmètres irrigués de Jendouba. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation, INA de Tunisie: 40-97.
- [11].- Messaitfa M., 2007.- Les indicateurs de performances en irrigation gravitaire, localisée, par aspersion à l'échelle de la parcelle de l'exploitation (cas de deux exploitations de périmètre de la Mitidja ouest). Mémoire d'ingénieur, INA El-Harrach, Algérie, 136 p.
- [12].- CEMAGREF, 1992.- Collection Guide Pratique : Irrigation, Ouvrage Collectif, 324 p.
- [13].- Ministère de l'équipement de l'aménagement du territoire et du développement durable, 2012.-Atlas de gouvernorat de Ben Arous. Tunisie, 73 p.
- [14].- MEDD, 2007.- Indicateurs Régionaux d'amélioration des conditions de vie. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), République Tunisienne, 161 p.
- [15].- ISO, 1995.- Agricultural irrigation equipment - Rotating sprinklers - Part 1: Design and operational requirements, 12 p.
- [16].- ISO, 2001.- Agricultural irrigation equipment Center pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles: Determination of uniformity of water distribution, 24 p.
- [17].- LINDSAY, sd.- Solutions d'irrigation : produits. Pivots fixes.  
<http://www.lindsayeuropefr.com/pivots-fixes>

- [18] Tounsi A., 1997.- Irrigation par aspersion : Optimisation du rendement, de l'efficience et de l'équité de distribution. Mémoire du Cycle de Spécialisation, INA de Tunisie, p. 70-75.
- [19].- Keller J., Bleisner R., 1990.- Sprinkler and trickel irrigation. Ed. Keller: 247-385.
- [20].- Saidi M.E., sd.- Pluviométrie et intensités des précipitations. PPT, 19 Diapositives. [www.saidi.ma/gc/5-pluviometrie.pdf](http://www.saidi.ma/gc/5-pluviometrie.pdf)
- [21].- Tiercelin J.R., Granier J., 2006.- L'irrigation par aspersion. Traité d'irrigation. Lavoisier, France: 549-583.
- [22] Christiansen J E., 1942.- Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670, 1942. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA, 124p.
- [23].- Heermann D. F., HEIN R., 1968.- Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system, Transactions of the ASAE 11(1): 11-15.
- [24].- Allen R.G., 1990.- Applicator selection along center pivots using soil infiltration parameters. Visions of the Future, St. Joseph, Mich: ASAE: 549-555.
- [25].- Mohamoud Y., McCarty T.R., Ewing L.K., 1992.- Optimum center pivot irrigation system design with tillage effects. Journal of Irrigation and Drainage Eng 118: 291-305.
- [26].- El Shafei Y. Z., Al Omran, Al Darby A. M., 1993.- Impact of kinetic energy of falling drops up on soil infiltration. ICID Bulletin CIID. 42(2): 57-71.
- [27].- Molle B., Baudequin D., Haidar S., 1998.- Choix du busage et conduite de l'irrigation par pivots - Prise en compte de la capacité d'infiltration du sol. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires (EAT), IRSTEA: 57-69.
- [28].- Undersander D. J., Marek T. H., Clark R. N., 1985.- Effect of nozzle type on runoff and yield of corn and sorghum under center pivot sprinkler systems. Irrigation science: 107-116.
- [29].- De Boer D. W., Kohl R. A., 1993.- Performance characteristics of reduced pressure sprinklers, ICID Fifteenth Congress, The Hague, NLD: 1033-1044.
- [30].- MAPM, 2009.- L'utilisation du centre pivot pour l'irrigation. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA (177), Royaume du Maroc, 6 p.
- [31].- 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 (11): 97-107.

[32].- James L. C., Blair S. K., 1984.- Effect of wind on center pivot application uniformity. ASAE paper (84), 10 p.

[33].- 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 (11): 47-61.

[34].- Bremond B., Molle B., 1995.- Characterization of rainfall under centre pivot : influence of measuring procedure, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, vol. 121 (5): 347-353.